

Indonesia Menuju Energi Bersih

50 Karya Terbaik
Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan
Piala Menteri ESDM RI 2021



RMBooks

Indonesia Menuju Energi Bersih

50 Karya Terbaik Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan
Piala Menteri ESDM RI 2021

© Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan Piala Menteri ESDM RI 2021

Editor : Ratna Susilowati
Desain Sampul : Aldi Septianto Nugroho & Alifa Yudianto
(Society Renewable Energy - SRE)
Tata Letak : Syah Rizal

ISBN : 978-602-5931-52-9
Cetakan I : Juli 2021

Penerbit RM BOOKS

Anggota IKAPI

Graha Pena Jakarta, Lt. 8

Jln. Kebayoran Lama No.12 Jakarta Selatan 12210

Telp. 021-53651495 (Hunting), Fax. 021-53671716

Sanksi Pelanggaran Pasal 113
Undang-undang Nomor 28 Tahun 2014
Tentang Hak Cipta

1. Setiap orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf i untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk penggunaan secara komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

Dilarang mengutip, memperbanyak, dan menerjemahkan sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

Hak cipta dilindungi undang-undang
All Rights Reserved



Daftar Isi

Sekapur Sirih	xv
Sambutan Rakyat Merdeka	xvii
Sambutan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral RI Arifin Tasrif	xx
Catatan Tim Juri	xxv
Sebagian Besar, Kualitas Idenya Keren <i>Oleh: Agus Pambagio (Pakar Kebijakan Publik)</i>	xxvi
Setelah Menang, Dilanjutkan Riset <i>Oleh: Agus Sudibyo (Dewan Pers)</i>	xxxii
Kompetisi Baiknya Dilanjutkan Setiap Tahun <i>Oleh: Mamit Setiawan (Praktisi & Pengamat Energi)</i>	xxxv

Karya-karya Terbaik

Tema I

Potensi Terpendam Energi Baru Terbarukan Indonesia 1

Artikel 1

Lithium: *Hidden Gem* dari Energi Panas Bumi di Indonesia

Karya: Aditya Yuda Kencana (Institut Teknologi Bandung-ITB)

Karya ini menjadi Pemenang 1, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021. 2

Artikel 2

Peningkatan Produktivitas Lipid Mikroalga Tropis dan Kombinasi Hydrothermal Liquefaction Process-Catalytic Hydrothermal Gasification Sebagai Energi Masa Depan Berkelanjutan

Karya: Aldo Hosea Widjaja (Universitas Indonesia) 9

Artikel 3

Menyulap Energi Tersembunyi Bawah Laut Melalui Ocean Geothermal Power Project Berbasis Hybrid System GeoTec Technology Guna Mewujudkan Swasembada Energi 2030

Karya Alip Faturrahman (Universitas Brawijaya, Malang)

Karya ini menjadi Pemenang 10, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021. 18

Artikel 4

Biohidrogen Under Biomass Production: Pemanfaatan Limbah Biomasa Perkebunan, Industri Pertanian dan Hutan Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan dan Ramah Lingkungan

Karya: Faiz Ismail Zulfi

(Teknik Industri Pertanian, 2019 – Institut Pertanian Bogor - IPB) 28

Artikel 5

Potensi Produksi Metanol Berbasis Fotokatalisis TiO₂
Terintegrasi Teknologi Penangkapan Karbon sebagai
Upaya Implementasi Pengembangan Energi Terbarukan
di Indonesia

Karya: Ignatius Dozy Mahatmanto Budi (Institut
Teknologi Bandung – ITB) 36

Artikel 6

“By Pinang Kito-FC (*Biohydrogen* Pinang dengan
Membran Komposit Kitosan *Fuel Cell*)” : Inovasi Limbah
Kulit Pinang Penghasil Listrik Bersistem *Proton Exchange
Membran Fuel Cell* (PEMFC) Dilengkapi Membran
Komposit Kitosan dari Rumput Laut Coklat (*Sargassum
sp.*) Terfosforilasi Guna Mewujudkan *Development of
Renewable Energy*

Karya: Muthia Zahra Mutmainnah (Universitas Gadjah
Mada – UGM)

*Karya ini menjadi Pemenang 6, dalam Kompetisi
Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri
ESDM RI 2021.* 43

Artikel 7

Potensi Sumber Daya Alam Grafena Sebagai
Superkapasitor Bahan Material Baterai Untuk Kendaraan
Listrik Di Indonesia

Karya: Muhammad Najmi Hafiy (Teknik Geologi,
Universitas Gadjah Mada – UGM) 52

Artikel 8

Target 31% Bauran Energi Terbarukan 2050: Elektrifikasi
berbasis *Integrated Grid Net+ Energy Solar Photovoltaic* di
Provinsi D.I Yogyakarta

Karya: Margaretha Nondang Sandy Saragi (Universitas
Gadjah Mada) 60

Artikel 9

Potensi Biji Tembakau (*Nicotiana tabacum*) Temanggung
Sebagai Bahan Baku Pembuatan *Biodiesel*

Karya: Millenia Trias Puspa Rukmi (Universitas Sebelas
Maret – UNS, Surakarta)

69

Artikel 10

Menyingkap *Hidden Treasure* Energi dari Jalan Raya

Karya: Rifky Wahyu Saputra (Institut Teknologi
Bandung)

75

Artikel 11

Indonesia, Listrik, dan Solar PV

Karya: Irma Magfirah (Institut Teknologi Bandung – ITB)

84

Artikel 12

Potensi Limbah Pertanian Sebagai Energi Terbarukan

Karya: Irfan Nugroho (Universitas Muhammadiyah,
Malang)

91

Artikel 13

Benarkah Rumput Laut Menjadi Energi Baru dan
Terbarukan yang Berprospek Cerah di Indonesia?

Karya: Ilham Wahyudi (Teknik Elektro, Universitas Riau)

95

Artikel 14

Minyak Nabati Non-Pangan dari Biji Malapari (*Pongamia
pinnata* (L.) Pierre) Sebagai Alternatif Bahan Baku
Biodiesel

Karya: Afifa Hasna Maristya (Program Studi Kimia,
Fakultas MIPA, Universitas Indonesia)

101

Artikel 15

Pasang Surut gelombang Air Laut (PSGAL) Untuk
Sumber Energi Terbarukan Masa Depan Indonesia

Karya: Ikhwan Wiranata (Institut Teknologi Bandung –
ITB)

108

Tema II

Energi Baru Terbarukan untuk Pengembangan Desa 113

Artikel 1

Ert-Fishboat: Inovasi Kapal Nelayan Terintegrasi Tenaga Hybrid Matahari dan Angin Solusi Preventif Kelangkaan Bahan Bakar Fosil untuk Mendukung Kelestarian Lingkungan

Karya: Arif Waryanto (Universitas Negeri Semarang) 114

Artikel 2

Smart IoT-Agrophotovoltaic System Berlandaskan Energi Berkeadilan sebagai Penunjang Ekonomi Petani di Pedesaan NTB, Jawa Barat, dan Jawa Timur

Karya: Reiner Nathaniel Jabanto (Institut Teknologi Bandung - ITB)

Karya ini menjadi Pemenang 2, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

132

Artikel 3

KAJURI: Kapal Jukung Ramah Lingkungan dengan *Hybrid Energy System* Pelamis - Surya yang dilengkapi *Light Fishing LED* Guna Mewujudkan SDGS 2030

Karya: Muhammad Arif Billah (Mahasiswa Institut Teknologi 10 November - ITS, Surabaya)

Karya ini menjadi Pemenang 3, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

142

Artikel 4

Sugarcane Waste Eco Energy (Suscogy): Inovasi Teknologi Pemanfaatan Limbah Cair dan Padat Pabrik Gula Krebbe Menjadi Sumber Energi Baru Terbarukan di Desa Krebbe Kabupaten Malang Menggunakan Integrasi Sistem Bioreaktor dan *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*

Karya Erina Azahra Amalia (Universitas Brawijaya) 150

Artikel 5

Antara Energi Baru Terbarukan dan Energi Baru Tanpa Harapan; Potensi Sampah Plastik bagi Pembangunan Energi Berkelanjutan

Karya: Glenn Lucas Hendrajaya (Institut Teknologi Nasional – ITENAS, Bandung)

157

Artikel 6

Jelly Green Flame Stove: Inovasi Teknologi Gel Etanol Selulosa Dari Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bakar Nabati Masa Depan Untuk Aplikasi Flowtune Di Desa Humbang Hasundutan, Kabupaten Tanah Karo

Karya: Muhammad Gading Akbar (Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara – USU)

166

Artikel 7

Bioetanol Dari Rumput Laut Sebagai Bahan Bakar Mesin Perahu

Di Kampung Teluk Kadere, Bontang, Kalimantan Timur

Karya: Mpu Alit (Politeknik Negeri Jakarta – LNG Academy)

172

Artikel 8

Renewable Energy dan Sustainable Technology (Rest) Zone dengan Kolaborasi Pentahelix Guna Mewujudkan Desa yang Berkelanjutan

Karya: Riki Purwanto (Universitas Sebelas Maret – UNS, Surakarta)

178

Artikel 9

Implementasi Pembangkit Listrik Terdistribusi (PeLiT) sebagai Langkah Efektif Penyediaan Energi Baru Terbarukan di Daerah 3T Indonesia

Karya: Rudi Chandra Adinugraha (Fakultas Teknik, Universitas Indonesia – UI)

190

Artikel 10

Solar Paint: Solusi Pemanfaatan Potensi Energi Surya di Daerah Padat Penduduk

Karya: Kamila Aghny (Institut Teknologi Sepuluh Nopember)	202
Artikel 11	
Implementasi Institutional Analysis of Development Framework Dalam Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis <i>Octangle Model</i> Guna Mewujudkan Desa Mandiri Energi	
Karya: Sahaya Aulia Azzahra (Institut Pertanian Bogor – IPB)	207
Artikel 12	
Desa Geotermal: Pemanfaatan Maksimal Geotermalnya Indonesia	
Karya: Ilham Ardhi Prasetya (Institut Teknologi Sepuluh November – ITS, Surabaya)	215
Artikel 13	
Energi Terbarukan Desa Gunungpanti	
Karya: Leo Candra Puspito (Politeknik Negeri Semarang)	220
Artikel 14	
A Brief Review: Potensi Pengembangan Community-Based Renewable Energy (CBRE) Projects sebagai Solusi Penciptaan Energi Berkelanjutan di Indonesia	222
Karya: Belinda Azzahra (Universitas Indonesia – UI)	
Tema III	
Energi Baru Terbarukan sebagai Solusi Menghadapi Perubahan Iklim	229
Artikel 1	
Konsep Penerapan Macc-Tree: Microalgae Based CO ₂ Capture Tree, Inovasi CO ₂ Capture dengan Sistem Photovoltaik Sebagai Upaya Mitigasi Perubahan Iklim di Kawasan PLTU Batubara	
Karya: Bernadeta Eka Naftalina (Universitas Diponegoro, Semarang)	230

Artikel 2

Energi Berkelanjutan untuk Indonesia yang Ramah Lingkungan
Karya: Faiky Luthfi Rivade (Universitas Gadjah Mada – UGM) 236

Artikel 3

Menjual Listrik dalam Kondisi Iklim yang Tidak Menentu
Karya: Fitria Khojanni (Universitas Gadjah Mada) 242

Artikel 4

Unlocking Financial Barriers to Accelerate PV Energy Implementation
Karya: Muhammad Husni Abdul Fatah (Universitas Indonesia) 247

Artikel 5

Energi Baru Terbarukan Kurangi Efek Rumah Kaca
Karya: Muhammad Primutomo (Politeknik Negeri Media Kreatif Jakarta) 254

Artikel 6

Pemanfaatan Molases dan *Leptochloa Fusca* Pada Teknologi CW-MFC Terintegrasi Elektroda Carbon Sebagai Pereduksi dan Aplikasi Biosensor Limbah Air Wudhu di Masjid Ulil Albab Universitas Islam Indonesia
Karya: Ari Adrianto (Universitas Islam Indonesia) 257

Tema IV

Inovasi Efisiensi Energi dari Energi Baru Terbarukan 267

Artikel 1

Hybrid Energy Harvesting Solar Cell with Triboelectric Nanogenerator Via Mutual Electrode (Upaya Peningkatan Efisiensi dan Kemampuan Sel Surya Untuk Beroperasi Dalam Kondisi Hujan)
Karya: Agus Abdul Rahmat Fadila (Institut Teknologi Kalimantan – ITK)

Karya ini menjadi Pemenang 7, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021. 268

Artikel 2

K-Rekel: Pemanfaatan Nikel Sebagai Bahan Dasar Inovasi Sistem Hybrid Power Storage Berbasis Tenaga Surya yang Lebih Efisien dan Ramah Lingkungan dengan Konsep Renewable Energy
Karya: Aldy Ramadhan Syahrudin (Institut Teknologi Sepuluh November – ITS, Surabaya) 247

Artikel 3

Konsep *Smart Community Grid* Menggunakan Modular COINT sebagai Upaya Desentralisasi dan Optimalisasi Penggunaan PLTS Atap di Daerah Perkotaan
Karya: Christian Paskah Wilmar (Universitas Gadjah Mada)

Karya ini menjadi Pemenang 9, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021 280

Artikel 4

I-COMVAS (Integration Computer Vision in HVAC System): Integrasi Computer Vision Dalam HVAC System Untuk Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Listrik Pada Gedung Tinggi
Karya: Putu Ayu Narsih Sukmawati (Universitas Prasetiya Mulya)

Karya ini menjadi Pemenang 8, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021. 297

Artikel 5

Inovasi Pembangkit Listrik Turbin Proton Berbasis Bakteri *Rhospirillum rubrum* sebagai Bio-Electricity Dalam Mewujudkan Kemandirian Energi Terbarukan di Indonesia

Karya: Fadhlih Al-Zaki Sitorus (Universitas Gadjah Mada)

Karya ini menjadi Pemenang 4, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021. 305

Artikel 6

Hy-Tech (Hybrid Cultivation Technology): Teknologi Inovatif Budidaya Udang dengan Konsep Renewable Energy Sebagai Inovasi Ramah Lingkungan Guna Mewujudkan SDGS 2030
Karya: Khakam Ma'ruf (Universitas Negeri Yogyakarta)

Karya ini menjadi Pemenang 5, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021. 311

Artikel 7

Implementasi Inovasi Teknologi *Micro Submersible Hydro Power Plant* guna Mewujudkan Kemandirian Energi Listrik Pedesaan Berwawasan Lingkungan
Karya: Marcellinus Gonzaga (Universitas Proklamasi 45, Yogyakarta) 319

Artikel 8

"Air Pollution Filter Treatment" Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Sampah dan Penekan Polusi Udara Perkotaan (Studi PLTSa Sunter Menjadi Pusat Elektifikasi Penyertaan PLTB)
Karya: Ismail Marosy (Universitas Pertamina, Jakarta) 327

Artikel 9

Akselerasi Penyediaan Energi Bersih Melalui Pembentukan Badan Pengelola Energi Terbarukan di Indonesia
Karya: Robi Ginting (Research Assistant at Center for Energy Studies, Universitas Gadjah Mada – UGM) 332

Artikel 10

Efisiensi Produksi Cepat Biodiesel Berbasis Mikroalga Melalui Implementasi Metode Hydrodynamic Cavitation
Karya: Jeessica Hermayanti Pratama (Universitas Sebelas Maret – UNS, Surakarta) 341

Artikel 11

Optimasi Rasio Konsentrasi Pada Receiver Strirling Engine Sebagai Upaya Peningkatan Efisiensi Daya Listrik Pada Concentrating Solar Power (CSP) Tipe Parabolic Dish
Karya: Naufal Baihaqi Al Afkar (Universitas Negeri Semarang) 353

Artikel 12

Material Graphene Sebagai Inovasi dan Efisiensi Energi Panas Bumi Indonesia
Karya: Muhammad Nadhif Rizqia (Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Bandung) 363

Artikel 13

Penerapan *Power Plant Microhydro* untuk Memanfaatkan Air Limbah pada Gedung Bertingkat Menggunakan *Controler Arduino* sebagai Inovasi Energi Terbaru
Karya: Janahtan Firdaus (Universitas Negeri Semarang) 370

Artikel 14

Geo.Lin Application Sebagai Inovasi Penghubung Perusahaan Geothermal Dalam Penyaluran Potensinya Menjadi Sumber Energi Listrik Untuk Daerah yang Sulit Terjangkau Listrik
Karya: Ilma Rafi Muflihatu Yumna (Institut Teknologi 10 Nopember – ITS) 377

Artikel 15

Peningkatan Produksi *Green Hydrocarbon* Berbasis *Fatty Acid Oil* Melalui Variasi Minyak Nabati Guna Mencapai *Transisi Green Fuel Energy*

Karya: Akbil Fikran (Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Jawa Timur)	384
Penutup	389



Sekapur Sirih

Perubahan iklim menjadi masalah global yang harus ditangani. Salah satunya dengan menurunkan emisi gas rumah kaca (GRK) melalui energi bersih. Indonesia berkomitmen menurunkan emisi GRK 29% dengan kemampuan sendiri atau 41% dengan bantuan internasional pada tahun 2030 yang tertuang pada UU No 16/2016 tentang pengesahan *Paris Agreement*. Dari total penurunan GRK yang ditargetkan, 38%-nya berasal dari sektor energi.

Potensi energi terbarukan di Indonesia sangat melimpah. Sehingga, sudah seharusnya digunakan dan ditingkatkan pemanfaatannya. Target Rancangan Umum Energi Nasional (RUEN), persentase energi baru dan terbarukan (EBT) pada bauran energi nasional sebesar 23% di tahun 2025 dan 31% di tahun 2050. Untuk mencapainya, tentu perlu melibatkan multi elemen dan anak-anak muda dalam implementasinya.

Di beberapa negara, sudah banyak inisiasi dengan mengikutsertakan pemuda dalam gerakan ini. Dan dampaknya positif. Di Indonesia, melalui wadah Society of Renewable Energy (SRE), anak-anak muda turut berkontribusi untuk mengembangkan energi alternatif. Sampai saat buku ini dicetak, SRE sudah tersebar di 34 kampus seluruh Indonesia.

SRE dilahirkan untuk mewartakan karya pemuda di sektor energi terbarukan. Ada banyak program, yang dirancang untuk membentuk SDM yang berkualitas dan jaringan di berbagai institusi. Kami menjunjung tinggi kolaborasi antar multi elemen untuk menciptakan pergerakan yang lebih besar lagi.

Salah satu program yang sangat membanggakan adalah kolaborasi dengan Rakyat Merdeka dalam penyelenggaraan Kompetisi Penulisan Artikel mengenai Energi Baru dan Terbarukan. Kegiatan ini terbuka untuk masyarakat Indonesia rentang usia 19-25 tahun. Ada empat tema yang dikompetisikan yaitu: 1) Potensi Terpendam Energi Baru Terbarukan di Indonesia. 2) Energi Baru Terbarukan untuk Pengembangan Desa, 3) Energi Baru Terbarukan sebagai Solusi Menghadapi Perubahan Iklim. Dan 4) Inovasi Efisiensi Energi dari Energi Baru Terbarukan.

Sejak dibuka pendaftaran, tercatat ada 569 pendaftar, dan sebanyak 234 artikel masuk ke meja panitia untuk mengikuti seleksi awal. Juri menilai penulisan, gagasan dan aspek teknis.

Banyak sekali karya yang menarik. Tema potensi terpendam energi baru terbarukan di Indonesia dipilih terbanyak oleh peserta. Seleksi ini menetapkan 50 artikel terbaik untuk dinilai oleh dewan juri untuk selanjutnya dipilih 10 artikel sebagai pemenang. Dan juara pertamanya, berhak meraih Piala Menteri ESDM.

Buku ini, kumpulan 50 artikel terbaik peserta. Saya pribadi selaku pendiri SRE Indonesia sangat berbahagia melihat karya-karya peserta. Semoga karya-karya terbaik ini bisa menjadi sumbangsih pemuda bagi pengembangan EBT di Indonesia. Dan semoga buku ini bermanfaat dan menginspirasi semua pihak yang tertarik dengan pengembangan energi alternatif di tanah air.

Zagy Yakana Berian
Pendiri Society of Renewable Energy (SRE)



Sambutan Rakyat Merdeka

Buku ini adalah kumpulan karya-karya terbaik peserta yang mengikuti Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan untuk Piala Menteri ESDM 2021. Kegiatan ini diinisiasi oleh Rakyat Merdeka bersama Society of Renewable Energi (SRE), yang dimotori oleh sejumlah mahasiswa ITB. Kini organisasi tersebut telah terbentuk di 34 kampus ternama Indonesia.

Kompetisi ini rupanya disambut antusias. Dari 569 pendaftar, ada 234 artikel yang masuk seleksi awal di meja panitia, pada rentang masa pendaftaran yang hanya sekitar dua pekan. Sebanyak 50 karya terpilih sebagai nominator diseleksi oleh Dewan Juri yang kompeten, yakni:

- Agus Pambagio (Pakar Kebijakan Publik, Managing Partner PH&H Public Policy Interest Group)
- Agus Sudibyo (Anggota Dewan Pers)
- Mamit Setiawan (Praktisi dan Pengamat Energi)

Karya-karya dalam buku ini lahir dari sejumlah mahasiswa berprestasi di kampus-kampus ternama dan penggiat energi baru terbarukan Indonesia. Sungguh membanggakan. Membaca tulisan mereka, ini tak sekedar artikel, tapi sebagian besar lebih pas disebut

sebagai karya ilmiah. Karena menyertakan metodologi, rumusan, grafis dan bahkan budgeting untuk merealisasikan.

Rakyat Merdeka selama ini ikut aktif mendorong penggunaan energi alternatif di Indonesia. Sehingga, saat adik-adik yang tergabung dalam SRE menyampaikan keinginannya untuk sumbang saran bagi pengembangan energi baru terbarukan di Indonesia, Rakyat Merdeka menyambut dengan antusias dan menawarkan gagasan digelarnya Kompetisi Penulisan Artikel tentang EBT.

Dan bersyukur, Kompetisi ini bisa berjalan dengan lancar. Bahkan didukung penuh oleh Kementerian ESDM, dengan menyediakan secara khusus Piala Menteri ESDM RI.

Saya memberikan apresiasi yang tinggi kepada Tim Panitia yang digawangi oleh Zagy Yakana Berian, bersama teman-teman SRE di kampus-kampus terbaik Indonesia. Sehingga, kompetisi ini bisa diikuti oleh banyak sekali mahasiswa dan anak-anak muda di tanah air.

Penghargaan juga untuk Tim Juri yang telah bekerja siang malam. Dalam waktu yang pendek, tapi berhasil memilih karya-karya terbaik, secara objektif.

Karya para pemenang ini, beberapa diantaranya dalam katagori gagasan ilmiah yang sangat bagus, dan sangat layak ditindaklanjuti.

Sepuluh karya terbaik ini sudah dimuat di Rakyat Merdeka, baik edisi cetak maupun edisi digital, periode Mei 2021, agar semakin banyak yang membaca dan mengapresiasi gagasan-gagasan yang lahir dari anak-anak muda.

Karenanya, kami berharap, mudah-mudahan hasil kompetisi ini bisa jadi bahan masukan atau pertimbangan Pemerintah. Salah satu tindak lanjutnya, dengan memberi dukungan atau kesempatan kepada para pemenang untuk melakukan penelitian berikutnya.

Apresiasi dan ucapan terimakasih yang setulusnya juga untuk pihak-pihak yang telah mendukung terselenggaranya kegiatan Kompetisi ini, yaitu PT Pertamina (Persero), PT PLN, PT Pupuk Indonesia Holding dan PT Petrokimia Gresik. Perusahaan-perusahaan ini tergolong sangat aktif dan selalu mendorong kegiatan yang terkait dengan pengembangan EBT.

Akhirnya, selamat menikmati karya-karya terbaik anak-anak muda Indonesia tentang pengembangan energi baru terbarukan. Semoga ke depan, penyelenggaraan Kompetisi ini bisa berlangsung lebih baik lagi.

Salam,

Kiki Iswara Darmayana

Direktur Rakyat Merdeka

Sambutan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia



Ir. Arifin Tasrif

Assalamualaikum Warrahmatullahi Wabarakatuh
Salam Sehat

Pertama-tama, kita panjatkan puji syukur kehadiran Tuhan YME. Karena berkat rahmat-Nya, kita diberi kesempatan dan kesehatan melaksanakan kegiatan ini.

Ada empat katagori penulisan dalam kompetisi ini, yaitu:

- Potensi Terpendam Energi Baru Terbarukan Indonesia
- Energi Baru Terbarukan untuk Pengembangan Desa
- Energi Baru Terbarukan Sebagai Solusi Menghadapi Perubahan Iklim
- Inovasi Efisiensi dari Energi Baru Terbarukan

Laporan panitia menyebut, sebanyak 234 tulisan masuk, dari lebih 500-an peserta. Ini artinya cukup banyak yang mendaftar. Padahal, launching kegiatan kompetisi baru dilakukan dua bulan sebelumnya. Dalam tempo singkat, sudah bisa dihasilkan banyak karya tulis dan dilakukan seleksi. Ini berarti, lahir antusiasme luar biasa dari generasi muda dalam merespon isu ini.

Penghargaan setinggi-tingginya kepada tim juri dan tim pendukungnya. Saya merasakan tim juri telah bekerja keras, sampai akhirnya bisa memilih 10 nama pemenang, seperti yang telah diumumkan. Saya kagum dengan kreatifitas dan pemikiran-pemikiran para awarder. Tentu, para awarder ini berhasil terpilih berdasarkan saringan yang luar biasa.

Energi baru terbarukan, saat ini sudah menjadi isu global. Saat ini, iklim bumi terus mengalami kenaikan temperatur sampai 4 derajat Celcius. Warga dunia sama-sama berupaya memenuhi target menurunkan temperatur 1,5 derajat Celcius. Bagaimana caranya? Beberapa negara ada yang mulai deklarasi mencapai zero emisi di tahun 2050.

Bagaimana dengan Indonesia? Memang, ini harus direspon dengan baik. Saya melihat, salah satunya, dengan menindaklanjuti ide-ide dalam karya-karya tulis ini.

Kita harus mendorong, sejumlah ide hasil kompetisi ini bisa dijadikan *pilot project*. Sejumlah teknologi inovasi yang ditulis dalam karya ini, bagus diterapkan dalam skala kecil-kecil dulu. Tujuannya, agar bisa membantu masyarakat yang membutuhkan. Ke depan, diharapkan, gerakan ini bisa bergelombang, membesar dan melebar. Sehingga, masyarakat, sejak generasi dini, bisa memahami, meresapi pentingnya energi bersih sebagai energi masa depan Indonesia.

Negara kita memiliki banyak sumber energi baru terbarukan. Dari perhitungan, yang dilakukan, potensinya mencapai sebesar 400 GW. Kami telah urun rembuk dengan banyak lembaga, dan baru-baru ini dengan ITB yang ternyata bisa mengidentifikasi ada sumber energi bayu dengan potensi cukup besar, berlokasi di utara perairan Indonesia.

Salah satu tulisan pemenang kompetisi ini mengangkat ide tentang under ocean geothermal. Ini menarik. Memang, Indonesia memiliki banyak gunung api di dasar laut yang bisa menjadi sumber energi baru terbarukan. Tetapi saat ini belum bisa di-*develop* karena *cost*-nya besar.

Dunia terus berkembang. Baru-baru ini, kita dikejutkan dengan adanya implementasi photovoltaic atau solar panel. Ini dulu dianggap mahal. Tapi, dengan adanya kemajuan teknologi, sekarang jadi sumber potensial untuk dikembangkan. Dan, kita punya banyak potensi energi dari sumber ini.

Menariknya, saat ini dunia justru berpikir, apa *game changer*-nya untuk mendapatkan *zero emission*? Ada yang berpikir Hidrogen bakal jadi andalan. sejumlah negara, sudah banyak yang sudah mengerjakan program ini. Australia, misalnya, punya rencana produksi Hidrogen besar-besaran. Sehingga bisa dikirimkan ke negara industri. Selain itu, Chili, juga sudah memasuki program khusus untuk menghasilkan Hidrogen. Chili memiliki proyeksi 5 GW menghasilkan Hidrogen. Menurut perkiraan mereka, harganya bisa pada kisaran 1,5 USD perkilogram, dan akan mencapai 1 USD perkilogram ke depannya. Dengan efisiensi dan kapasitas yang lebih ekonomis, maka jika energi ini seharga 1 USD perkilogram, akan bisa bersaing dengan energi lainnya.

Nah, bagaimana Indonesia bisa memproduksi Hidrogen? Kita sedang menjajaki pemanfaatan energi bersumber dari tenaga air berskala besar untuk menghasilkan Hidrogen. Memang handlingnya tidak mudah. Tapi, kita akan melihat ruang yang kita miliki.

Energi yang kita gunakan saat ini, masih banyak yang berasal dari energi fosil. Ini adalah pekerjaan rumah bersama. Kita harus ikut bersaing dan bersama komunitas internasional, berupaya mengurangi energi fosil. Mengapa? Karbondioksida yang berasal dari energi fosil

menyebabkan kerusakan terhadap lingkungan, kenaikan temperatur, perubahan iklim bumi dan sebagainya.

Merespon ini, maka kita harus bisa memanfaatkan sumber-sumber energi baru terbarukan. Sekaligus tantangannya, bagaimana agar energi baru terbarukan juga bisa menarik investasi. Jika investor tertarik membangun industri energi terbarukannya di Indonesia, tentu akan terjadi multiplier effect, yaitu bisa meningkatkan local content dan menyerap tenaga kerja yang besar.

Saya berharap kegiatan kompetisi penulisan tidak dilakukan tahun ini saja. Rakyat Merdeka, dan SRE, mari tahun depan, kita lakukan lagi dengan lebih marak. Agar bisa mendapat lebih banyak ide tentang energi baru terbarukan, dan bisa kita implementasikan ke daerah.

Saat ini, sejumlah daerah terpencil, terluar dan tertinggal di Indonesia, masih menggunakan energi fosil. Bahkan masih ditemukan penggunaan genset diesel. Padahal, mereka yang tinggal di daerah itu, adalah saudara-saudara kita juga. Sama-sama membutuhkan energi, untuk penerangan dan membantu meningkatkan kualitas kehidupannya.

Di daerah-daerah tersebut, Kementerian melalui Badan Litbang, sekarang melakukan identifikasi, potensi-potensi sumber energi baru terbarukan. Jika tiba saatnya dilakukan implementasi dan pemanfaatan, kelak daerah itu bisa mandiri. Mandiri secara energi, sekaligus menjaga lingkungannya.

Pemahaman seperti ini harus ditumbuhkembangkan mulai generasi usia dini, agar ke depannya, memiliki *joint concern*. Di Jepang, misalnya, orang sangat disiplin memisahkan buangan rumah tangga, sehingga bisa memanfaatkan energi yang berasal dari sampah.

Sekali lagi, saya apresiasi kegiatan kompetisi penulisan artikel energi baru terbarukan ini. Rakyat Merdeka, Tim Juri dan SRE, selamat. Ucapan selamat, utamanya juga untuk para pemenang dan para peserta kompetisi.

Saya mengharapkan, anda yang telah berpartisipasi, teruskanlah upaya-upaya untuk bisa menemukan inovasi baru. Teruslah berkreasi dan memberikan kontribusi kepada negara kita.

Semoga kita semua mendapatkan ridho Allah SWT. Mari merapatkan barisan, jalan bersama menuju transisi energi bersih, dalam rangka memajukan dan meningkatkan kesejahteraan bangsa Indonesia.

Sekian.

Terimakasih.

Catatan Tim Juri



Sebagian Besar, Kualitas Idenya Keren



Oleh: Agus Pambagio (Pakar Kebijakan Publik)

Kompetisi Esai Energi Terbarukan Piala Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) RI merupakan bagian dari acara *International Youth Summit of Renewable Energi (IYSRE) 2021*. IYSRE merupakan ajang anak-anak muda atau milenial menyampaikan ide kreatif dalam bentuk tulisan atau esai yang terkait dengan energi baru terbarukan (EBT) yang saat ini banyak menjadi topik bahasan dunia setelah ditandatanganinya *Paris Agreement* saat Sidang UNFCCC pada akhir tahun 2015 di Paris.

Sejak itu isu EBT terus menjadi bahan pembicaraan di kalangan politisi, regulator, para ilmuwan dan publik di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), sebagai *vocal point* di Indonesia juga terus menjalin koordinasi dengan

lintas sektor, termasuk dengan Kementerian ESDM. Untuk lebih memperluas jangkauan kompetisi, Kementerian ESDM menggandeng RM.id melaksanakan kompetisi ini supaya gaungnya di publik optimal.

Yang membanggakan dari 50 Esai yang sudah terseleksi dan masuk ke meja Dewan Juri, sebagian besar berkualitas “keren” baik dari sisi ide maupun tujuan yang ingin dicapai. Memang hampir semua esai masih bersifat konsep atau percobaan dalam kelas laboratorium, belum diproduksi secara masal dan mempunyai nilai keekonomian yang efisien serta menguntungkan dari sisi investor dan publik.

EBT yang tadinya hanya berbasis pada mikro hidro, tenaga surya, bayu atau angin, geothermal, dan biomas; di tangan para milenial kreatif bisa di kembangkan menggunakan berbagai teknologi, seperti aplikasi, penggunaan bio hidrogen, pengembangan rumput laut dan sebagainya, sehingga diharapkan efektivitas EBT lebih berkelanjutan.

Selain itu juga muncul ide penggunaan mikro organisme dan lithium sebagai sumber EBT. Tentu ini usulan menarik dan keren. Seperti kita tahu bersama bahwa hutan Indonesia merupakan tempat yang sangat baik untuk pengembangan mikro organisme. Jika ini dapat dikembangkan, maka Indonesia akan *leading* pada penggunaan bakteri atau mikro organisme sebagai sumber EBT yang berkelanjutan.

Diharapkan berbagai ide yang telah dituliskan oleh para peserta kompetisi IYSRE ini dapat dikembangkan secara serius dengan dukungan penuh Pemerintah dalam program pengurangan efek gas rumah kaca tanah air. ***

- Nama : **AGUS PAMBAGIO**
- Pendidikan :
- S1 Teknologi Kimia Tekstil dari **Institut Teknologi Tekstil Bandung** – 1984
 - S2 Engineering Management dari School of Engineering & Applied Science-**The George Washington University**, Washington, DC, USA – 1990.
 - Certified Professional Negotiator dari Paska Sarjana Fakultas Hukum, **Universitas Tarumanegara**, 2008
 - Certified US Lobbyist, from **American Lobby League**, Washington, DC 2008
 - Certified Mastering Lobbyist, from **European Training Institute**, Brussels, Belgium 2010
 - Certified Public Service Policy Development, **SNCF France** 2013
 - Berbagai pelatihan International dan nasional di bidang Kebijakan Publik, Community Development dan CSR, Manajemen Konflik, Transportasi, Energi, Komunikasi, dan Advokasi
- Keahlian khusus : Selama lebih dari 35 tahun berpengalaman di bidang, kebijakan publik dan pemberdayaan masyarakat, komunikasi krisis, lobby/advokasi serta negosiasi untuk kepentingan publik
- Pengalaman Kerja :
- 2021 – Sekarang **Anggota Tim Pakar bAdminduk**, Kementerian Dalam Negeri
- Agustus 2019 - Sekarang **Anggota Dewan** Pengawas Kementerian Lingkungan Hidup dan kehutanan untuk Penanganan Tailing PT Freeport Indonesia
- Desember 2019 - Sekarang **Komite Nominasi dan Remunerasi** PT Pelindo 3 (Persero). Menseleksi pegawai korporasi untuk dimasukkan dalam talent pooling untuk dicalonkan menjadi BOD induk dan anak perusahaan

Oktober 2019 – sekarang	Anggota Dewan Pertimbangan Proper Nasional, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan
Januari 2017 – Desember 201	Anggota Team Ahli Cyber Pungli, Kementerian Koordinator Politik dan Keamanan RI
2016 – 2017	Anggota Tim Revitalisasi Texmaco Group , Kementerian Keuangan RI
2014 – Desember 2016	Anggota Komite Kebijakan Publik Kementerian Perhubungan. Mendampingi Menteri Perhubungan dalam pembahasan berbagai kebijakan
2015 – Desember 2016	Anggota Oversight Committee untuk LRT Jabodebek dan LRT Palembang di Kementerian Perhubungan
2014 – sekarang	Panitia Seleksi Pejabat Eselon 1 dan 2 dari beberapa Kementerian dan Lembaga, seperti: Kementerian ATR/BPN, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kerhutanan, Kementerian Komunikasi dan Informasi, Kementerian Perhubungan (KNKT), Badan Restorasi Gambut dan Mangrove (BRGM), Ombudsman Republik Indonesia (ORI), Dewan Pengawas TVRI, Kementerian PUPR (LPJK), Komisi Penyiaran Indonesia (KPI) dan sebagainya.
2014 – sekarang	Anggota Tim Penasehat Senior Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI untuk Permasalahan Kebijakan Dewan Penasehat Program Perpuseru yang diusung oleh Yayasan Coca Cola Indonesia bersama Bill & Melinda Gates Foundation, USA
2013 – Mei 2018	
2010 – 2014	Anggota Team Penasehat Direktur Utama PT KAI pada Pembenahan Total Pelayanan dan Transformasi PT Kereta Api Indonesia (KAI). Mendampingi Direktur Utama Kereta Api

- 2010 – sekarang **Anggota Dewan Penasehati,**
Masyarakat Transportasi Indonesia
(MTI)
- 2005 – sekarang **Founder and Managing Partners**
PH&H *Public Policy Interest Group*.
Terlibat langsung dalam beberapa
lobby domestik dan International,
seperti : Proses Pembebasan Pelarangan
Terbang Maskapai Penerbangan
Sipil Indonesia ke Uni Eropa, Kasus
Rencana Penghentian Impor Cacao
Indonesia oleh USA terkait produk
coklat bermelamin M & M (Mars),
ASEAN Open Sky Policy, Pemboikotan
produk sawit Indonesia oleh Uni
Eropa, dan berbagai kebijakan publik
dan penanganan krisis atau konflik di
Indonesia.
- Melakukan advokasi – lobby ke
pemerintah terkait dengan beberapa
sektor industri barang dan jasa yang
terhambat pertumbuhannya karena
kurang baiknya paket peraturan
perundangan dan kebijakan pemerintah
RI.
- 2005 – 2011 **Advisory Board** dari Institute for
Transportation and Development
Policy (ITDP) Indonesia terkait dengan
pembangunan Trans Jakarta
- 2001 - 2008 **Koordinator Koalisi LSM** untuk
pembahasan berbagai RUU
- 1991 – 2000 **Partner dan Direktur Utama** PT
Intermatrix Indonesia, Management
and International Communication
Consulting Group

1984 – Juli 2001

Wakil Ketua Pengurus Harian Yayasan Lembaga Konsumen Indonesia (YLKI)
(dengan lingkup tugas sebagai *fund raiser* dan *spokeperson* organisasi yang terlibat langsung pada ratusan proses lobby, negosiasi, dan advokasi dengan berbagai badan dunia dan Pemerintah Indonesia

1988 – 1990

Public Policy Volunteer Greenpeace International untuk Kawasan Asia Pasifik, di Washington DC, USA

Aktivitas lain

:

1. Dosen tamu di beberapa Perguruan Tinggi, seperti Paska Sarjana Komunikasi dan Paska Sarjana Fakultas Ekonomi Universitas Indonesia, Swiss German University, Paska Sarjana Perkotaan Universitas Indonesia, MPKP FE UI, dll
2. Pendiri beberapa LSM
3. Kolumnis Kebijakan Publik dan Perlindungan Konsumen di Detik.com, Kompas, Investor Daily, Kumparan, Koran Tempo dan beberapa media penyiaran Nasional lainnya
4. Host untuk beberapa acara TV terkait kebijakan publik, seperti UANG ANDA di Metro TV (2008 - 2009) dan Dinamika Publik di Jak TV (2007 - 2009)
5. Penulis tiga (3) buku terkait dengan kebijakan publik yang diterbitkan oleh Kelompok Gramedia dan Rakyat Merdeka

Setelah Menang, Dilanjutkan Riset



Oleh: Agus Sudibyo (Dewan Pers)

Kompetisi Penulisan Esai Piala Menteri ESDM akan lebih bermakna dan bermanfaat apabila tidak berakhir pada penyerahan hadiah dan piagam untuk para pemenang.

Menurut saya, yang lebih berharga bagi para pemenang dan juga publik adalah tindak lanjut dari hasil kompetisi ini. Hendak diapakan atau dikemanakan gagasan gagasan bagus sebagaimana tertuang dalam karya tulis para pemenang?

Ini pertanyaan mendasarnya. Maka saya mengusulkan Menteri ESDM bekerja sama dengan Rakyat Merdeka memberikan fellowship penelitian kepada para peserta yang masuk 10 besar dalam kompetisi ini. Mereka seyogyanya diberi beasiswa untuk melakukan riset lanjutan.

Ibaratnya karya tulis yang dilombakan adalah proposal awal penelitian, sangat disayangkan jika hanya berhenti sebagai proposal. Riset untuk menindaklanjuti proposal itu menjadi sangat penting. Riset ini memberi kesempatan kepada para peserta untuk meneliti dan mengeksplorasi lebih jauh ide ide orisinal yang telah mereka milik. Hasil riset tersebut kemudian dibahas atau diuji dalam konferensi atau seminar yang lebih komprehensif. Sebelum akhirnya menghasilkan rencana-rencana program yang lebih aplikatif dalam konteks pengembangan energi terbarukan. ***

BIODATA AGUS SUDIBYO

Agus Sudibyo, saat ini menjabat sebagai Ketua Komisi Hubungan Antar Lembaga dan Internasional Dewan Pers. Merupakan Peneliti media dan komunikasi, Head of New Media Research Center Akademi Televisi Indonesia (ATVI).

Menyelesaikan pendidikan S-1 di Fisipol UGM tahun 1998. Melanjutkan S-2 dengan thesis tentang “Pemikiran Politik Hannah Arendt” dan S-3 dengan disertasi tentang “Keadaan darurat (state of exception) dalam negara demokrasi” seperti didedahkan pemikir Italia, Giorgio Agamben dengan cum laud; dari program Magister Filsafat and Program Doktor STF Driyarkara Jakarta pada 2011 and 2018.

Buku berjudul “Jagat Digital, Pembebasan dan Penguasaan” diterbitkan oleh Kepustakaan Populer Gramedia 2019 baru saja di launching oleh Agus Sudibyo. Sebagai peneliti media pada Institut Studi Arus Informasi (ISAI) pada 1999-2006, dan Deputi Direktur Yayasan Sains Estetika dan Teknologi (SET) 2006-2011.

Pertama kali terpilih Anggota Dewan Pers untuk periode 2010-2013, kembali terpilih sebagai wakil unsur tokoh masyarakat untuk Periode 2019-2022.

Kompetisi Baiknya Dilanjutkan Setiap Tahun



Oleh: Mamit Setiawan (Praktisi & Pengamat Energi)

Essay Writing Competition yang diselenggarakan oleh IYSRE 2021 dengan dukungan dari media nasional Rakyat Merdeka dan Kementerian ESDM merupakan kegiatan yang positif dan harus terus dilanjutkan dalam rangka menemukan inovasi-inovasi baru dari para anak muda yang peduli akan perkembangan Energi Baru dan Terbarukan di Indonesia.

Di tengah upaya pemerintah dalam rangka mencapai bauran energi 23% pada tahun 2025, ide dan penelitian sangat diperlukan agar bisa tercapai target yang sudah dicanangkan. Para generasi muda sebagai tulang punggung pembangunan bangsa Indonesia ke depan ditantang untuk mengeksplorasi ide dan gagasan serta kondisi sekitar mereka dalam pengembangan EBT ke depannya.

Animo peserta untuk kompetisi ini begitu besar, hal ini di buktikan dengan banyak esai yang diterima oleh panitia. Dewan juri yang menyeleksi 50 esai hasil kurasi dari panitia cukup sulit dalam menentukan pemenang, karena ide dan inovasi yang ditawarkan sangat bagus dan bisa menjadi secercah harapan perkembangan EBT di masa depan.

Ide dan gagasan yang orisinal yang di sampaikan oleh peserta menjadi nilai lebih dalam menentukan pemenang. Saya harap, ide dan gagasan yang disampaikan oleh para pemenang bukan hanya menjadi ide dalam kompetisi ini saja, tetapi ditindaklanjuti menjadi sebuah produk yang bisa diimplementasikan.

Dukungan dari stakeholder dalam hal ini Kementerian ESDM sangat penting agar inovasi dan ide dari para pemenang bisa di wujudkan. Dukungan tersebut bisa berupa materil melalui pembiayaan riset berkelanjutan maupun immateril berupa pendampingan ke para pemenang.

Saya juga mengharapkan agar kompetisi seperti ini bisa terus dilakukan setiap tahun, karena saya yakin perkembangan EBT akan semakin maju. Ide, inovasi, explorasi dan riset dari anak muda akan semakin maju dan berkembang.

Akhir kata, saya ucapkan selamat kepada para pemenang lomba esai tahun ini, jangan pernah puas atas capaian yang kalian peroleh, terus berinovasi dan explorasi setiap potensi yang di miliki. Untuk sahabat-sahabat yang belum berhasil, tetap semangat dan terus melakukan inovasi-inovasi lain dalam rangka pengembangan EBT di Indonesia. Apa yang kalian sampaikan bukan berarti tidak bagus, tapi perlu ditingkatkan dan di perdalam lagi ide-ide tersebut.

Seperti yang di sampaikan oleh Ir Soekarno: “Beri aku 10 pemuda niscaya akan ku guncangkan dunia. Seribu orang tua bisa bermimpi, satu orang pemuda bisa mengubah dunia.” ***

- Name** : **MAMIT SETIAWAN**
- Personal Profile** : I have good skills, knowledge, and technical in oil and gas industry. I have a good management project, communication and external relations networking.
- Education** :
 - Universitas Trisakti, 2000
Teknik Perminyakan
 - SMA Negeri 67, 1997
IPA
- Skills** :
 - Technical: Drilling, production, well Testing.
 - Management, good communication and networking skills.
 - Hard worker, team Work, dynamic and humorous.

Work Experience :

- Consultant For Management Drilling Project
MARCH 2016 – PRESENT
- PT Energy Drilling Indonesia | **Manager Operation**
APRIL 2013 – FEBRUARY 2016
- PT Energy Drilling Indonesia | **Manager Operation**
APRIL 2013 – FEBRUARY 2016
- PT Energy Drilling Indonesia | **Manager Operation**
APRIL 2013 – FEBRUARY 2016
- PT Energy Drilling Indonesia | **Drilling Engineer**
DECEMBER 2012 – MARCH 2013
- PT Daqing Petroleum Services | **Pressure Engineer**
AUGUST 2012 – NOVEMBER 2012
- PT Exlog Sarana Indonesia, PT Mitra Mandala,
PT Mustika Petrotech | **Mud Logger**
APRIL 2012 – JULY 2012
- PT Adimas Kertajaya | **Chief Operator Well Testing Barge**
AUGUST 2008 – DECEMBER 2012

- PT Ravindo Mega Persada | **Marketing Engineer**
SEPTEMBER 2006 – JULY 2008

Organization Experience :

- ENERGY WATCH | **Director Executive** 2008 – PRESENT
- Ikatan Alumni Perminyakan Trisakti(IAPT) | **General Secretary**
DECEMBER 2015 – JUNI 2019
- Student Government Trisakti University |
Ministry of Social and Politic
JULY 2005 – JUNI 2006
- Indonesian Islamic Student Movement (PMII) Jakarta |
Head Of External Relations
JANUARY 2005 – JANUARY 2006

Tema I

Potensi Terependam Energi Baru Terbarukan Indonesia





Artikel 1

Lithium: *Hidden Gem* dari Energi Panas Bumi di Indonesia

Aditya Yuda Kencana

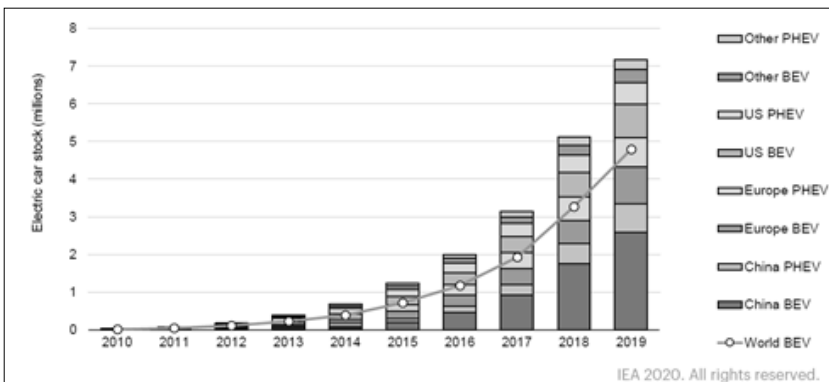
Institut Teknologi Bandung (ITB)

Karya ini menjadi Pemenang 1, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

Baterai lithium merupakan kunci bagi pemerintah untuk desentralisasi energi baik pada sektor pengembangan energi terbarukan maupun kendaraan listrik. Pertanyaannya, apakah Indonesia memiliki sumber dayanya?

Energi fosil masih menjadi sumber energi utama bagi kebutuhan manusia saat ini. Namun penggunaan energi fosil terus-menerus menyebabkan cadangannya semakin berkurang. Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral, Arifin Tasrif, menyebutkan bahwa cadangan minyak bumi di Indonesia bisa habis dalam waktu sembilan tahun (Tempo, 2020). Penggunaan berkelanjutan dari energi fosil telah menyebabkan peningkatan emisi karbondioksida (CO₂) di atmosfer. Berdasarkan data *International Energy Agency* (IEA), pada tahun 2018 total emisi CO₂ yang dihasilkan yaitu sebesar 33.513,3 juta metrik ton (Mt), dengan 25% diantaranya berasal dari sektor transportasi. Semakin berkurangnya sumber daya minyak serta meningkatnya emisi karbondioksida, masyarakat dunia diharuskan untuk beralih dari ketergantungan terhadap energi fosil menuju pemanfaatan energi terbarukan. Salah satu diantaranya adalah perubahan skema sektor transportasi dari berbasis energi fosil menuju energi listrik.

Narasi mengenai kendaraan listrik sudah dimulai sejak tahun 1970-an akibat adanya krisis minyak pertama di California (Ajanovic, 2015). Akan tetapi, perkembangan dari kendaraan listrik yang cepat dan eksponensial terjadi sejak tahun 2010. Hal tersebut dapat dilihat pada grafik jumlah kendaraan listrik dunia sejak tahun 2010 hingga 2019 pada Gambar 1.



Gambar 1 Grafik jumlah kendaraan listrik dunia sejak tahun 2010 hingga 2019 (IEA, 2020).

Berdasarkan *Sustainable Development Scenario* (SDS), yang sejalan dengan *Paris Agreement*, pada tahun 2030 dicanangkan akan ada 245 juta kendaraan listrik atau sekitar 30 kali lipat dari jumlah kendaraan listrik pada tahun 2019 (IEA, 2020). Rencana tersebut sejalan dengan Presiden Joko Widodo yang ingin menjadikan Indonesia sebagai salah satu pusat industri kendaraan listrik dunia (Kompas, 2019). Sementara itu, Muhammad Ikhsan Asaad, Direktur Mega Proyek dan Energi Baru Terbarukan PT. PLN (Persero) mengatakan bahwa sekitar 40 – 50% komponen kendaraan listrik ada pada baterai. Berkaitan dengan hal tersebut, IEA menyebutkan bahwa hingga tahun 2030, baterai lithium akan mendominasi pasar kendaraan listrik di dunia. Sehingga eksplorasi dan ekstraksi lithium perlu dijadikan agenda pemerintah guna mendukung hal tersebut.

Lithium (Li) merupakan logam yang paling elektronegatif dan memiliki konduktivitas listrik yang sangat baik. Lithium merupakan logam yang penting, karena bersama dengan nikel (Ni) dan kobalt (Co) merupakan bahan utama dalam pembuatan baterai, khususnya untuk kendaraan listrik. Pada awal tahun 2019, pabrik baterai kendaraan listrik telah dibangun di Morowali, Sulawesi Tengah. Sehingga sumber Ni, Co dan terutama Li perlu ditemukan di Indonesia.

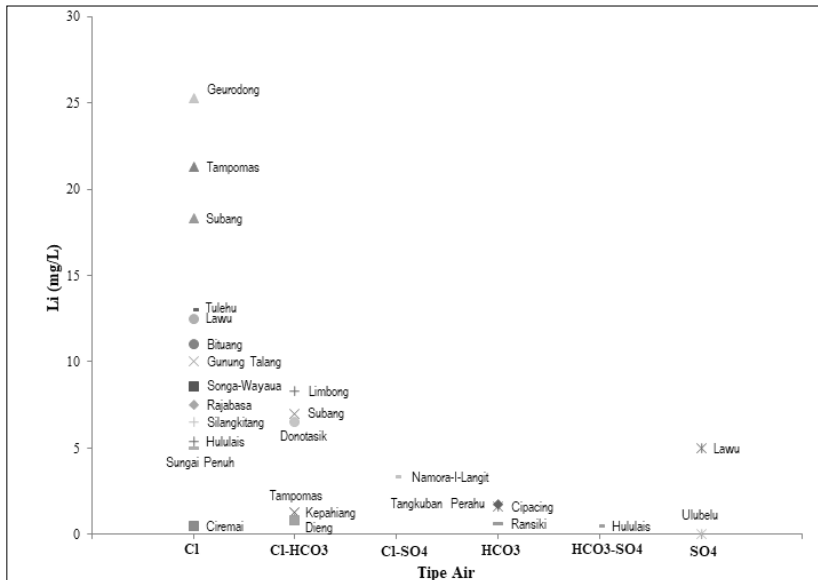
Sejumlah kecil lithium ditemukan dalam fluida panas bumi di beberapa daerah. Reservoir panas bumi di lapangan Salton Sea, California Selatan adalah contoh paling terkenal dari keberadaan endapan lithium dari fluida panas bumi. Konsentrasi lithium di beberapa lapangan panas bumi termasuk Reykjanes, Iceland; Wairakei, New Zealand; Cesano, Italia; Alsace, Prancis; Kyushu, Jepang; dan Salton Sea, AS, dalam kisaran 12 hingga 350 ppm (Garrett, 2004).

Indonesia yang terletak pada zona *ring of fire*, memiliki potensi panas bumi yang besar yaitu sekitar 26 GW atau 40% dari total potensi panas bumi dunia (PSDMP, 2017). Selain pemanfaatannya untuk pembangkit listrik tenaga panas bumi (PLTP) yang saat ini telah membangkitkan sekitar 2.130 MW, fluida panas bumi juga mengandung lithium yang berpotensi untuk diekstraksi. Sebagai contoh meskipun bukan di Indonesia, fluida panas bumi dari PLTP Bruschal, Jerman mengandung lithium sekitar 200 mg/L yang kemudian dapat diekstraksi hingga 70%-nya (Thomas Koelbel, komunikasi tertulis, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa terdapat potensi tersembunyi yang cukup besar dari energi panas bumi, selain untuk pembangkit listrik. Riset mengenai potensi lithium dari fluida panas bumi memang belum banyak dilakukan di Indonesia, akan tetapi beberapa peneliti satu suara bahwa Indonesia memiliki potensi lithium dari fluida panas bumi yang tinggi.

Berdasarkan riset yang penulis lakukan (terpublikasi dalam Herdianita dkk., 2019), kandungan lithium pada sistem panas bumi yang sudah dieksploitasi di Indonesia cukup tinggi, yaitu mencapai 70 mg/L. Sementara itu, pada lapangan yang belum dieksploitasi (*greenfield*), kandungan lithiumnya dapat mencapai 10 – 25 mg/L. Gambar 2 dan 3 menunjukkan kandungan lithium di beberapa lapangan panas bumi di Indonesia.



Gambar 2 Kandungan lithium dari reservoir panas bumi di beberapa lapangan panas bumi yang sudah dieksploitasi (data pribadi).



Gambar 3 Kandungan lithium di lapangan panas bumi yang belum dieksploitasi (data pribadi).

Lapangan panas bumi Dieng yang terletak di Jawa Tengah memiliki kandungan lithium sekitar 68 mg/L pada fluida panas buminya (Herdianita dkk., 2019). Sementara riset terbaru dari Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi (PSDMBP) pada tahun 2019 menyebutkan bahwa kandungan lithium dari sumur panas bumi di Dieng mencapai 99 mg/L. Di antara lapangan panas bumi lain di Indonesia, lapangan Dieng memiliki kandungan lithium tertinggi. Hal ini dikarenakan sistem panas bumi yang hadir merupakan sistem dominasi air. Selama proses produksi fluida menjadi energi listrik di PLTP, lithium menjadi terkonsentrasi karena sirkulasi air yang cenderung tertutup pada sistem panas bumi Dieng.

Lain halnya dengan lapangan panas bumi Kamojang dan Darajat yang memiliki kandungan lithium kurang dari 2 mg/L. Kondisi tersebut disebabkan karena kedua lapangan tersebut merupakan sistem dominasi uap, mengingat lithium merupakan unsur yang terlarut dalam air, sehingga kandungan lithium di kedua lapangan tersebut akan kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa lapangan dominasi air cenderung akan memiliki kandungan lithium terlarut yang lebih tinggi dibandingkan dengan lapangan dominasi uap.

Pada lapangan panas bumi yang belum dieksploitasi, terdapat beberapa lapangan yang menunjukkan anomali kandungan lithiumnya meskipun tidak setinggi pada sistem yang sudah dieksploitasi. Hal tersebut dikarenakan data yang penulis sajikan pada lapangan *greenfields* berasal dari mata air panas di permukaan yang sudah mengalami proses pengenceran dengan air tanah, sehingga konsentrasinya akan lebih kecil. Secara umum, kandungan lithium yang tinggi berasosisasi dengan tipe mata air berupa air klorida, seperti di Geurodong, Tampomas, dan Subang. Selain itu, sistem dengan reservoir batuan sedimen juga akan memiliki kandungan lithium yang tinggi, seperti di Bittuang dan Tampomas.

Akan tetapi, jika dibandingkan dengan beberapa lapangan panas bumi di dunia, kandungan lithium pada sistem panas bumi di Indonesia memang lebih kecil. Lapangan panas bumi Upper Rhine Graben (ORG) di Jerman misalnya, kandungan lithium di lapangan tersebut dapat mencapai 200 mg/L (Thomas Koelbel, komunikasi tertulis, 2021). Faktor

yang mempengaruhi hal tersebut, selain aktualitas data dan riset, juga dipengaruhi oleh kondisi geologi suatu lapangan panas bumi. Anomali kandungan lithium dapat disebabkan oleh tipe sistem panas bumi, tipe fluida reservoir, dan tipe batuan reservoir. Sehingga pada dasarnya masih banyak ruang untuk riset dan mengungkap potensi lithium dari energi panas bumi di Indonesia.

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, saat ini kebutuhan akan lithium berkembang pesat terutama untuk kendaraan listrik. Oleh karena itu, lithium dari fluida panas bumi di Indonesia merupakan potensi yang sangat menjanjikan. Pertanyaan selanjutnya adalah bagaimana mengekstrak lithium terlarut dalam fluida panas bumi hingga menjadi padatan lithium?

Ekstraksi lithium dari fluida panas bumi telah mendapatkan perhatian cukup serius dan banyak perusahaan yang menjajaki opsi tersebut di wilayah yang diketahui memiliki potensi lithium yang tinggi. Aspek teknis untuk mengekstraksi lithium dari fluida panas bumi masih banyak diteliti. Salah satu teknik yang sudah diterapkan dinamakan *Direct Lithium Extraction* atau DLE. Pada dasarnya, teknik tersebut menggunakan sistem pertukaran ion yang bertindak sebagai saringan kimiawi untuk secara selektif hanya mengumpulkan lithium klorida. Lithium klorida kemudian dimurnikan dan dipekatkan untuk menghasilkan lithium hidroksida, yang kemudian digunakan untuk baterai (Early, 2020).

Dengan harga sekitar \$12.000 per ton (Early, 2020), jelas nilai industri lithium luar biasa. Selain berdampak ekonomis, produksi lithium dari fluida panas bumi juga dapat memberikan dorongan untuk pengembangan energi panas bumi, khususnya di Indonesia yang digadang-gadang memiliki 40% dari total panas bumi dunia. Oleh karena itu, tidak mengherankan jika perusahaan panas bumi merencanakan proyek yang menggabungkan pembangkit listrik dan produksi lithium secara bersamaan (misalnya di PLTP Bruchsal, Jerman).

Dalam rangka mendukung atmosfer kendaraan listrik yang akan menjadi *trend* di masa depan, potensi lithium dari fluida panas bumi di Indonesia cukup menjanjikan. Selain itu, produksi lithium dari fluida

panas bumi juga akan meningkatkan nilai tambah energi panas bumi selain untuk energi listrik. Meskipun hal tersebut terdengar cukup sulit, namun bukan berarti tidak mungkin. Perlu adanya dukungan dari pemerintah, industri, dan akademik agar Indonesia dapat menjadi pusat kendaraan listrik dan baterai lithium di dunia.

REFERENSI

- Ajanovic, A. (2015): The Future of Electric Vehicles: Prospects and Impediments, *Wiley Interdisciplin Reviews (WIREs) Energy & Environment*, 4(6), 521–536.
- Early, C. (2020): What is Geothermal Lithium and Why It Can Revolutionize Clean Energy, <https://www.bbc.com>, 10 April 2021.
- Garrett, D.E. (2004): Handbook of Lithium and Natural Calcium Chloride, their deposits, processing, uses, and properties. Elsevier Academic Press, 476.
- Herdianita, N. R., Sucipta, I. G. B. E., Kencana, A. Y. (2019): Lithium in Brine Waters from The Indonesian Geothermal Systems: Could It Meet The National Needs of Making Lithium Batteries?, *Proceedings*, Indonesia International Geothermal Convention & Exhibition (IIGCE) 2019, Jakarta, Indonesia.
- IEA (2020), Global EV Outlook 2020, IEA, Paris, <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2020>.
- Kompas. (2019): Cita-cita Jokowi: Jadikan Indonesia Pusat Industri Mobil Listrik Dunia, <https://money.kompas.com>, 10 April 2021.
- PSDMBP (Pusat Sumber Daya Mineral, Batubara, dan Panas Bumi). (2017): Potensi Panas Bumi Indonesia. Jakarta: Direktorat Jendral EBTKE.
- PSDMBP (Pusat Sumber Daya Mienral, Batubara, dan Panas Bumi). (2019): Potensi dan Keterdapatan Lithium di Indonesia. Jakarta: Direktorat Jendral EBTKE.
- Tempo. (2020): Menteri ESDM: Cadangan Minyak Bumi di Indonesia Hanya Cukup untuk 9 Tahun, <https://bisnis.tempo.co>, 21 April 2021.



Artikel 2

Peningkatan Produktivitas Lipid Mikroalga Tropis dan Kombinasi Hydrothermal Liquefaction Process-Catalytic Hydrothermal Gasification Sebagai Energi Masa Depan Berkelanjutan

Aldo Hosea Widjaja

(Universitas Indonesia – UI)

Salah satu gangguan skala besar yang telah menyerbu industri kimia global adalah preferensi masyarakat yang tumbuh untuk produk yang lebih cerdas dan lebih hijau. Selain itu, industri energi juga menghadapi pertumbuhan permintaan yang lebih lambat, peningkatan harga minyak dan gas, dan komoditas. Dengan masalah ini, datang kebutuhan untuk bahan baku alternatif yang tidak hanya berkelanjutan dan hijau, tetapi juga ekonomis dan layak secara geopolitik.

Produksi *biofuel* dari mikroalga dapat memberikan beberapa keuntungan yang berbeda di bidang keberlanjutan dengan tingkat pertumbuhan yang cepat karena memiliki sifat siklus pertumbuhan yang singkat, emisi karbon dioksida nol, dan sifatnya yang bersatu dengan alam. Parameter pertumbuhan mikroalga juga dapat diubah untuk menghasilkan mikroalga tertentu dengan komposisi kimia *biofuel* yang berbeda. Mikroalga menghasilkan metabolit primer, yaitu lipid dan karbohidrat, yang tergantung pada spesies dan kondisi pertumbuhan. Karbohidrat dapat difermentasi untuk menghasilkan etanol sementara lipid dapat diekstraksi menjadi *biofuel* dalam bentuk etilena dan propilena yang merupakan bahan baku industri energi dan petrokimia. Produktivitas dan kandungan lipid-karbohidrat yang tinggi membuat potensi mikroalga penting untuk masa depan *biofuel*.

Mikroalga adalah organisme fotosintesis air yang mampu memproduksi minyak dan bahan biokimia lainnya. Mikroalga sangat

baik dalam fotosintesis sehingga siklus pertumbuhannya lebih cepat daripada tanaman tanah. Hanya memerlukan tiga komponen utama untuk budidaya, seperti air, karbon dioksida, dan banyak sinar matahari membuat mikroalga cocok untuk iklim tropis Indonesia. Dengan demikian, mikroalga sebagai energi alternatif di Indonesia dapat memberikan keuntungan dibandingkan dengan pilihan lain.

Hanya membutuhkan tiga komponen utama untuk budidaya: air, CO₂ dan banyak sinar matahari, menunjukkan bahwa mikroalga sangat cocok di iklim tropis Indonesia. Mikroalga tumbuh lebih cepat, membutuhkan lebih sedikit ruang, dan dapat menghasilkan hingga 60 kali lebih banyak minyak daripada tanaman berbasis lahan lainnya. Media pertumbuhan mikroalga juga dapat diubah untuk menghasilkan lipid mikroalga dengan komposisi kimia yang berbeda.

Spesies Mikroalga: Tidak ada batasan yang tegas dalam memilih spesies alga. Namun demikian, untuk keperluan analisis khusus dalam tulisan ini, perhitungan dan pengamatan didasarkan pada produksi *biofuel* dari *Nannochloropsis* sebagai mikroalga tropis yang tersebar luas di Indonesia. **Sistem Kultivasi Mikroalga:** Metode yang umum digunakan untuk menumbuhkan alga adalah dalam sistem kultivasi terbuka atau dalam sistem produksi fotobioreaktor tertutup. Sistem kultivasi terbuka dianggap lebih baik karena kemampuannya menerima sinar matahari yang kuat dan menangkap karbon dioksida di atmosfer. Dua sistem kultivasi terbuka untuk menghasilkan alga yang dievaluasi di sini adalah *Algal Turf Scrubber* (ATS) dan *Open Raceway Ponds* (ORP).

Kombinasi *hydrothermal liquefaction* (HTL) dan *catalytic hydrothermal gasification* (CHG) dipilih sebagai proses ekstraksi minyak dari mikroalga setelah dibandingkan dengan metode lain (pirolisis, penekanan mekanik, ekstraksi pelarut kimia, dan ekstraksi superkritis) karena efisiensi energi yang tinggi (85-90%). *Mechanical Press* umumnya membutuhkan pengeringan ganggang, yang intensif dari sisi energi. Di sisi lain, *Supercritical Extraction* membutuhkan peralatan tekanan tinggi yang mahal dan intensif dari sisi energi. Kedua metode ini membutuhkan lebih banyak energi dibandingkan dengan HTL, yang pada akhirnya akan dikenakan lebih banyak biaya operasional. Selain itu, HTL juga

dapat menghasilkan produk bernilai tambah seperti daur ulang nutrisi, dan bahan baku untuk produksi *syngas* yang membantu meningkatkan pendapatan keseluruhan proses. Sistem HTL-CHG gabungan dapat mencapai hasil *Bio-Crude* terbaik dengan meminimalkan risiko dan pengorbanan dalam bidang kesehatan dan keselamatan jika dibandingkan dengan ekstraksi pelarut kimia.

Proses ekstraksi minyak yang paling banyak diteliti untuk bahan baku berbasis alga adalah HTL dan pirolisis. Kriteria keputusan untuk metode ekstraksi minyak adalah hasil, biaya, dan efisiensi. Konsensus menyatakan bahwa hasil saham dari *biocrude* berbasis mikroalga lebih tinggi ketika menggunakan HTL daripada pirolisis (Hognon, et al., 2015). Penting untuk dicatat bahwa dalam kasus pakan *lignocellulosic*, kebalikannya adalah benar: hasil dari pirolisis lebih tinggi dari HTL. HTL memproduksi *biocrude* dengan kandungan oksigen yang lebih rendah - kadang-kadang juga disebut sebagai 'kualitas yang lebih baik'. Kandungan oksigen yang lebih rendah setelah proses ekstraksi minyak dapat meringankan proses *hydrotreatment* pada tahap selanjutnya (Tews, et al., 2014). Biaya operasional untuk HTL secara signifikan lebih rendah daripada pirolisis. Proses pengeringan ekstensif yang diperlukan untuk pirolisis membuatnya mahal. Proses pengeringan yang ekstensif untuk pirolisis membuatnya intensif dalam energi dan karenanya menimbulkan biaya operasional yang lebih tinggi. HTL dapat memulihkan lebih dari 70% kandungan karbon dari bahan baku yang dapat digunakan untuk prosedur penangkapan karbon. Keunggulan teknis lainnya dari proses ini adalah *biocrude* mentah yang diperoleh dari proses ini tidak memerlukan banyak prosedur perawatan / peningkatan untuk pemanfaatan komersial.

Campuran mikroalga dan air dimasukkan ke dalam reaktor aliran kontinu pada 350°C, 20 MPa, dan waktu retensi 30 menit untuk menghasilkan *biocrude* dan biomassa dengan kandungan air yang tinggi. *Biocrude* yang dihasilkan terdiri atas: Aromatika, *phenolics*, *heterocycles*, *alkanes*, asam lemak dan senyawa alifatik untuk rentang C15-C22. Setelah menjalani *catalytic hydrothermal* untuk hidredeoksigenasi, hidredenitrogenasi, dan hidrodiesulfurisasi, *biocrude* siap untuk digunakan sebagai prekursor untuk produksi energi menggunakan

peralatan *cracking* yang ada. Biomassa dapat dikonversi menjadi *syngas* dan air yang kaya nutrisi dengan proses gasifikasi hidrotermal. *Syngas* selanjutnya diubah menjadi rantai hidrokarbon menggunakan proses FischerTropsch, sementara air kaya nutrisi mengalir kembali ke kolam mikroalga untuk daur ulang nutrisi.

Proses *cracking hydrotreated biocrude* bersih dapat disesuaikan untuk menggeser hasil ke hidrokarbon atau olefin tertentu sesuai dengan kebutuhan industri. Misalnya, proses *cracking* dapat disesuaikan dengan hasil dalam *yield* yang lebih tinggi dari etilena dan propilena. Selain strategi ini, *hydrotreated biocrude* bersih juga dapat diperlakukan sama seperti minyak mentah bahan bakar fosil, sehingga dapat dilakukan *cracking* menggunakan peralatan *cracking* yang ada, tanpa perlu berinvestasi pada unit *cracking* baru.

Di sisi lain, produk dari proses FischerTropsch juga dapat disesuaikan dengan kebutuhan industri. Reaksi FischerTropsch pada dasarnya dapat membuat rantai hidrokarbon yang lebih panjang dari CO dan H₂. Jumlah karbon dalam rantai dapat disesuaikan menggunakan katalis yang berbeda, merasiokan H₂ terhadap CO, dan mengubah parameter operasi. Mekanisme proses FischerTropsch dalam esai ini disesuaikan dengan minyak dan gas yang diproduksi secara khusus sebagai produk akhir.

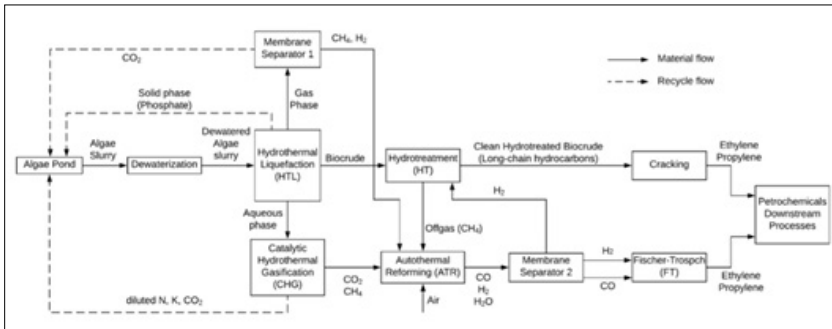
Ketika menyertakan unit pemrosesan hilir, capex dan opex berubah untuk kedua sistem. Sistem ATS secara signifikan lebih murah daripada ORP dalam hal biaya bahan baku tetapi hampir dua kali lipat biaya untuk produksi bahan bakar (Hoffman, dkk., 2017). Biaya keseluruhan adalah \$8.34/galon dan \$6.27/galon untuk masing-masing sistem ATS dan ORP. Meskipun biaya ini tinggi, ada kemungkinan jalan yang dapat diambil seseorang untuk mencapai \$3 galon setara bensin (GGE). Hoffman et al (2017) melakukan analisis sensitivitas dalam TEA-nya dan mengidentifikasi bahwa faktor-faktor utama yang berkontribusi dalam biaya model adalah konten lipid dan tingkat pertumbuhan. Perbaikan kecil dalam variabel ini dapat menyebabkan pengurangan biaya yang signifikan untuk membuat ganggang menjadi alternatif yang lebih layak secara ekonomi.

Kesimpulannya, mikroalga dengan lipid tinggi dan proses HTL-CHG gabungan memenuhi semua dasar untuk menjadi energi alternatif yang berkelanjutan, hijau, ekonomis dan layak secara geopolitik untuk memenuhi permintaan energi masa depan. Untuk meningkatkan daya jual mikroalga, tingginya biaya ekstraksi minyak dapat dikurangi dengan skala produksi dan modifikasi genetik mikroalga. Solusi ini layak secara ekonomi dan berdampak secara geopolitik, tetapi membutuhkan komitmen dan dukungan dari para pemangku kepentingan.

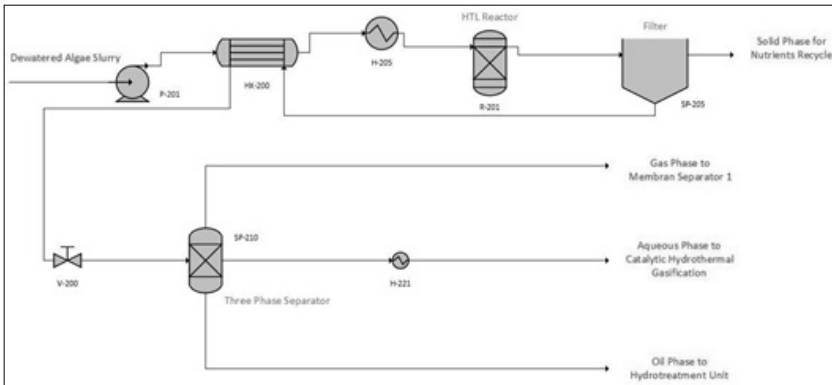
Daftar Pustaka

- Elliott, D. C., Hart, T. R., Schmidt, A. J., Neuenschwander, G. G., Rotness, L. J., Olarte, M. V., Zacher, A. H., Albrecht, K. P., Hallen R. T., Holladay, J. E. (2013a). Process development for hydrothermal liquefaction of algae feedstocks in a continuous-flow reactor. *Algal Research*,2(4), 445-454.
- Elliott, D.C., Neuenschwander, G.G, Hart, T.R. (2013b). Combined hydrothermal liquefaction and catalytic hydrothermal gasification system and process for conversion of biomass feedstocks, U.S. Patent Application 2013/041412.
- Park, S., Nguyen, T.H.T, and Jin, E.S. 2019. Improving Lipid Production By Strain Development In Microalgae: Strategies, Challenges And Perspectives. *Journal of Bioresource Technology*, 292 (2019) 121953, 1–11.
- PwC Oil and Gas Contacts. 2018. *Oil and Gas in Indonesia: Investment and Taxation Guide*, 9th Edition. Indonesia: PwC Indonesia.
- Rinanti, A. and Purwadi, R. 2018. Increasing Carbohydrate and Lipid Productivity in Tropical Microalgae Biomass as a Sustainable Biofuel Feed Stock. *Journal of Energy Procedia*, 158 (2019), 1215–1222.
- Tews, I.J., Zhu, Y., Drennan, C.V., Elliott, D.C., Snowden-Swan, L.J., Onarheim, K., Solantausta, Y., Beckman, D. 2014. Biomass direct liquefaction options: techno-economic and life cycle assessment. PNNL-23579, Pacific Northwest National Laboratory, Richland, Washington, USA.

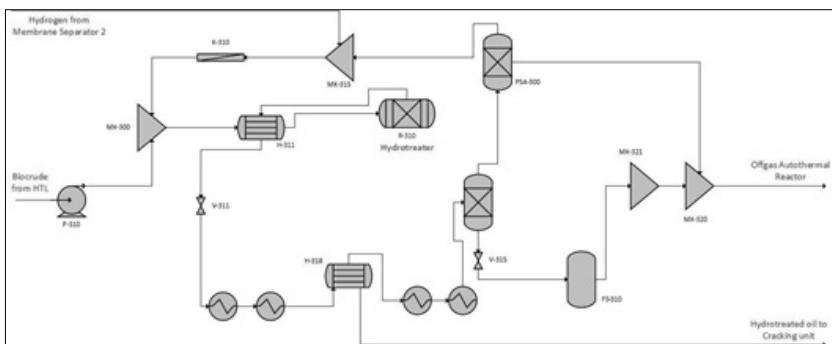
Lampiran



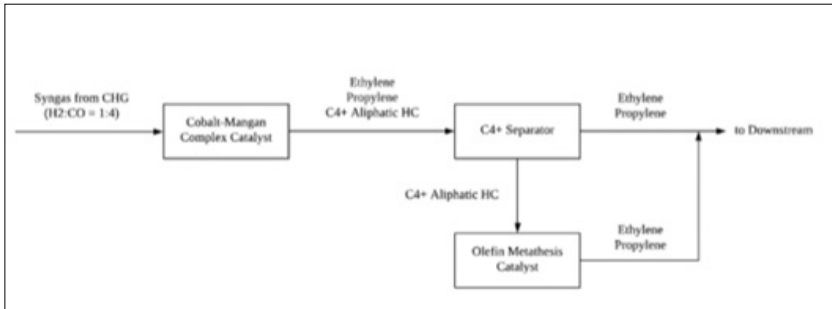
Gambar 1. Diagram Alir Proses yang Diajukan



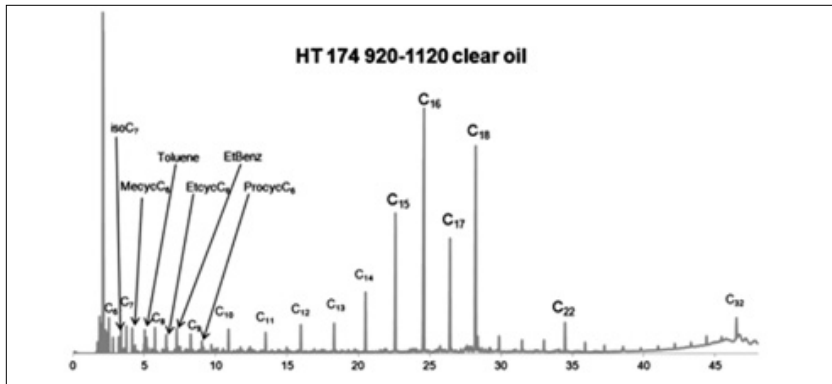
Gambar 2. Diagram Alir Proses untuk Unit Ekstraksi Minyak oleh Tews, et al. (2014)



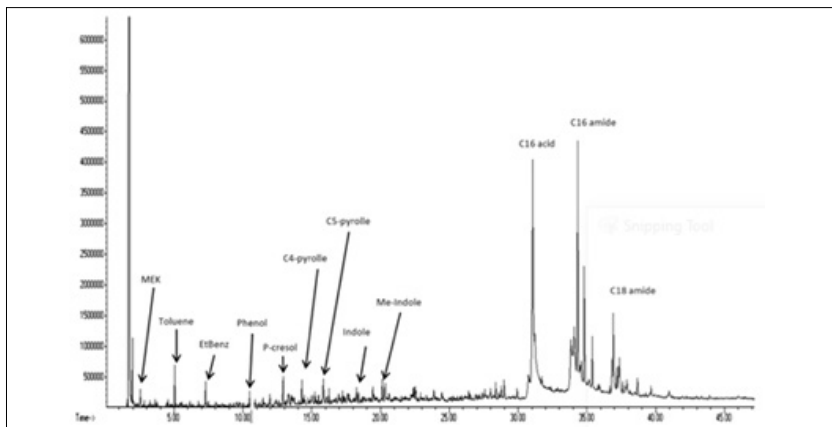
Gambar 3. Diagram Alir Proses untuk Unit *Hydrotreatment*, dimodifikasi dari Tews, et al. (2014)



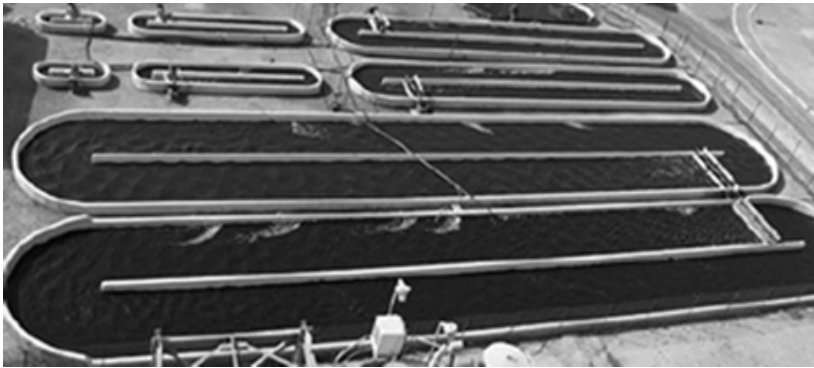
Gambar 4. Proses Fischer-Tropsch untuk produksi Etilena dan Propilena



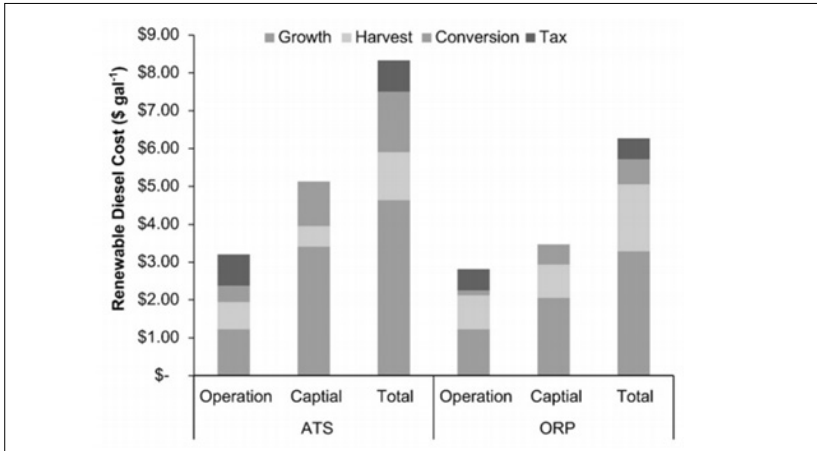
Gambar 5. Total ion chromatograph dari Biocrude Terhidroterapi oleh Elliott et al. (2013)



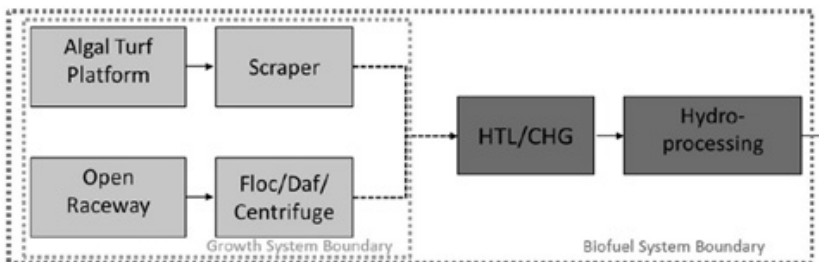
Gambar 6. Total ion chromatograph dari Biocrude Alga HTL oleh Elliott et al. (2013)



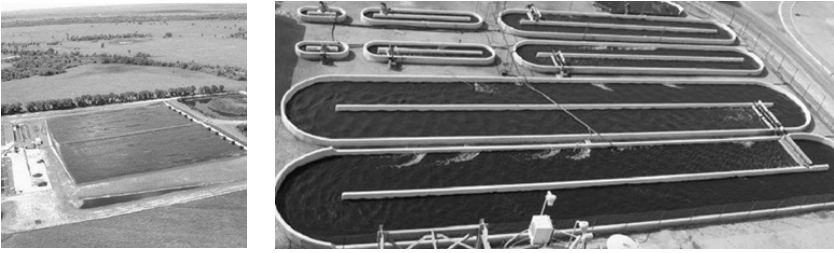
Gambar 7. *Open Raceway Ponds Growth System*



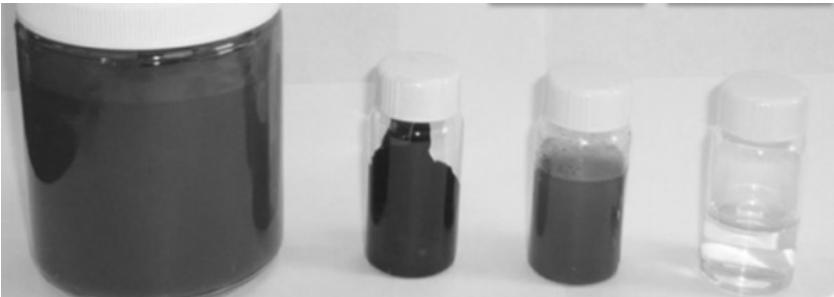
Gambar 8. *Biofuel production boundary broken down by growth, harvest and conversion cost (Hoffman, et al., 2017)*



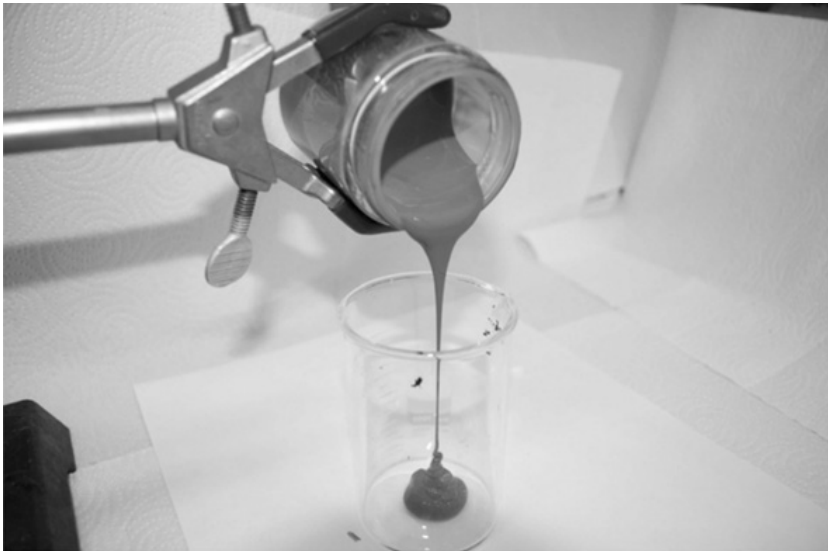
Gambar 9. *System Boundaries for Comparisons of ATS and ORP (Hoffman, et al., 2017)*



Gambar 10. Visualisasi Sistem Kultivasi Mikroalga (a) Algal Turf Scrubber (ATS) dan (b) Open Raceway Ponds (ORP).



Gambar 11. Lumpur Bahan Baku Alga dan Produk Proses Hidrotermal



Gambar 12. Lumpur Bahan Baku Alga untuk *Hydrothermal Liquefaction*



Artikel 3

Menyulap Energi Tersembunyi Bawah Laut Melalui Ocean Geothermal Power Project Berbasis Hybrid System GeoTec Technology Guna Mewujudkan Swasembada Energi 2030

Alip Faturrahman

(Universitas Brawijaya, Malang)

Karya ini menjadi Pemenang 10, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

“The Nation That Leads in Renewable Energy, Will be The Nation That Leads The World”

Kebutuhan energi di dunia terus mengalami peningkatan. Menurut proyeksi Badan Energi Dunia (*International Energy Agency-IEA*), hingga tahun 2030 permintaan energi dunia meningkat sebesar 45% atau rata-rata mengalami peningkatan 1,6% per tahun dimana sekitar 80% energi dunia tersebut dipasok dari bahan bakar fosil. Akibatnya, peningkatan kebutuhan energi ini merupakan suatu tantangan untuk terus meningkatkan sektor produksi energi. Pengoptimalan produksi energi juga tidak dapat dilakukan begitu saja. Hal ini diakibatkan karena jumlah bahan bakar fosil yang terbatas. Keterbatasan tersebut dikarenakan bahan bakar fosil yang dieksplorasi dan dikonsumsi setiap hari lambat laun akan habis, sedangkan proses terbentuknya memakan waktu sangat lama. Ketersediaan minyak bumi ini saat ini diperkirakan hanya mencukupi beberapa tahun saja seiring makin meningkatnya konsumsi. Seluruh cadangan minyak di dunia saat ini diyakini hanya bertahan sampai 300 tahun lagi dan Indonesia hanya memiliki 0,3% dari keseluruhan cadangan minyak dunia dan diperkirakan akan habis dalam 1 atau 2 dekade ke depan (KESDM, 2015).

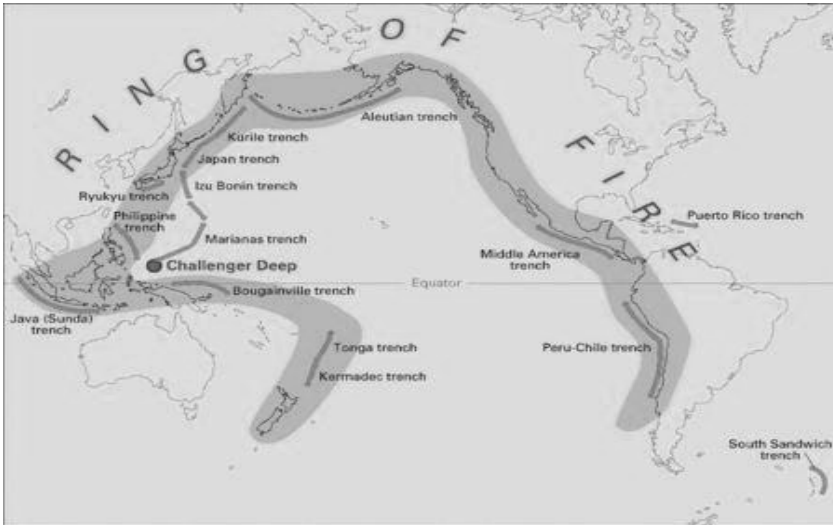
Ketersediaan antara penggunaan dan produksi energi dari bahan bakar fosil tersebut, menyebabkan krisis energi yang kian lama kian mengancam keberlangsungan kehidupan. Hal ini mengakibatkan negara-negara di dunia termasuk Indonesia berupaya mencari solusi melalui berbagai terobosan guna mengatasinya. Energi alternatif yang tersedia di alam merupakan langkah bijak untuk mengatasi masalah krisis energi saat ini. Berdasarkan penemuan yang ada, terdapat berbagai energi alternatif di alam yang bisa dijadikan pilihan, diantaranya Matahari, Air, Angin, Nuklir, dan Panas Bumi (*geothermal*) (KESDM, 2015).

Berdasarkan beberapa energi alternatif tersebut, panas bumi (*geothermal*) menjadi pilihan terbaik yang bisa digunakan. Sebab, energi panas bumi memiliki beberapa kelebihan yaitu sebagai salah satu sumber energi terbersih dikarenakan tidak menghasilkan emisi karbon seperti halnya bahan bakar fosil. Kelebihan lainnya yaitu energi terbarukan yang relatif tidak akan habis karena sumber energi ini bersifat konstan sepanjang tahun (Regina dkk, 2017). Sehingga, energi panas bumi merupakan pilihan yang tepat untuk digunakan sebagai sumber energi alternatif.

Saat ini, sumber energi utama di Indonesia berasal dari batu bara (Gunara, 2017). Batu bara merupakan sumber energi yang paling murah dan paling kotor. Eksplorasi dan eksploitasi batu bara di daratan mengalami kecaman akibat isu kerusakan lingkungan. Eksploitasi batu bara melalui pertambangan terbuka atau *open pit mining* akan berdampak pada perubahan secara total baik iklim dan tanah akibat seluruh lapisan tanah di atas deposit bahan tambang disingkirkan. Keadaan ini akan berdampak pada hilangnya vegetasi yang juga ikut menghilangkan fungsi hutan sebagai pengatur tata air, pengendalian erosi, penyerap karbon, pemasok oksigen, dan pengatur suhu.

Indonesia sendiri merupakan negara yang beruntung sebab memiliki cadangan panas bumi terbesar di dunia. Potensi panas bumi yang terkandung di Indonesia mencapai 28,617 Megawatt atau 40% dari total cadangan panas bumi dunia. Sayangnya dari total jumlah tersebut baru sekitar 1,341 Megawatt (4,7%) yang dimanfaatkan (Regina dkk, 2017). Sehingga, diperlukan pengoptimalan pemanfaatan energi panas bumi yang ada di Indonesia. Indonesia menjadi negara yang dilalui oleh

jalur *Ring of Fire*. Letaknya yang strategis di antara lempeng mayor (Asia dan Pasifik) dan lempeng minor (Filipina) memungkinkan panas bumi dapat ditransfer ke permukaan melalui sistem rekahan (Ashat dkk, 2017).



Gambar 1. Ring of Fire (Sumber: Kompas.com, 2015)

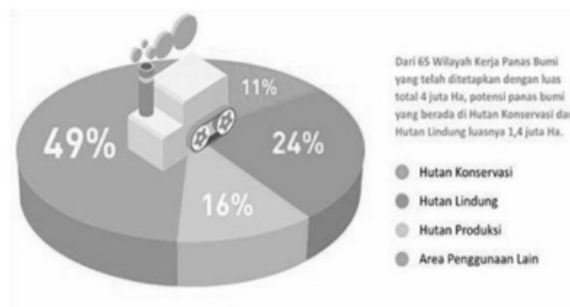
Panas bumi atau *Geothermal* merupakan sumber energi terbarukan yang dapat menyediakan listrik secara kontinu dan ramah lingkungan dengan dampak negatif kecil terhadap lingkungan. Salah satu indikatornya dapat dilihat dari tingkat emisi gas rumah kaca (*greenhouse effect*) yang dihasilkan sangat kecil oleh pembangkit listrik panas bumi (PLTP). Tingkat CO₂ yang dihasilkan dari PLTP jauh lebih kecil (mendekati nol) dibandingkan dengan pembangkit listrik yang bersumber dari energi batubara, minyak, atau gas.

Sumber Energi	Jenis Pembangkit	Investasi Ribu\$/MW	Biaya Produksi \$ cent/kWh	CF %	Pembebanan	Emisi GHG	Catatan dan Dampak
Coal	PLTU Conv	1700-2000	5-9	80-90	Beban Dasar	Besar	Kualitas Udara
	PLTU SC	2200-2600	6-10	80-90	Beban Dasar	Sedang	
	PLTU CCS	3600-4000	11-14	80-90	Beban Dasar	Kecil	
Gas	PLTGU	1000-1200	6-7	60-90	Beban Dasar	Sedang	
Uranium	PLTN	6600-9000	11-12 *	80-90	Beban Dasar	Tak ada	Kecelakaan Radiasi Nuklir
ET Biomasa	PLTU Bakar	800-4500	3-22	25-90	Semi Dasar	"Sedang"	
ET Hidro	PLTA Besar	1000-2500	2-8	20-80	Semi Dasar	Tak ada	
	PLTA Kecil	1000-4000	3-23	50-80	Beban Dasar	Tak ada	
ET Geotermal	PLTP	2000-3800	4-14	70-90	Beban Dasar	Tak ada	
ET Angin	PLTB	1000-2000	4-16	20-50	Intermitten	Tak ada	Tanpa SG
ET Surya	PLTS	1200-3000	10-30	10-25	Intermitten	Tak ada	Penetrasi
ET Laut	PLTL	5300-6000	21-28	23-29	Intermitten	Tak ada	Maks.15%

Tabel 1. Pembangkit Listrik Berbagai Sumber Energi

(Sumber: Seminar Nasional EBT UNS, 2016)

Namun, di lain sisi pemanfaatan *geothermal* juga menyebabkan kerusakan lingkungan yang perlu dipertimbangkan. Eksploitasi *geothermal* di daratan mengalami kecaman akibat isu kerusakan lingkungan. Contoh nyatanya dapat dilihat dari kasus penolakan dibangunnya PLTP di gunung Lawu, Karanganyar, Jawa Tengah. Hal ini diakibatkan karena PLTP dianggap dapat merusak aliran mata air yang dapat berguna bagi pengairan sawah, merusak cagar budaya disekitar lereng dan dapat mengganggu ekosistem alam di sekitar gunung Lawu yang juga menyebabkan berkurangnya hutan lindung dan penurunan permukaan tanah (Suhamdani, 2018).

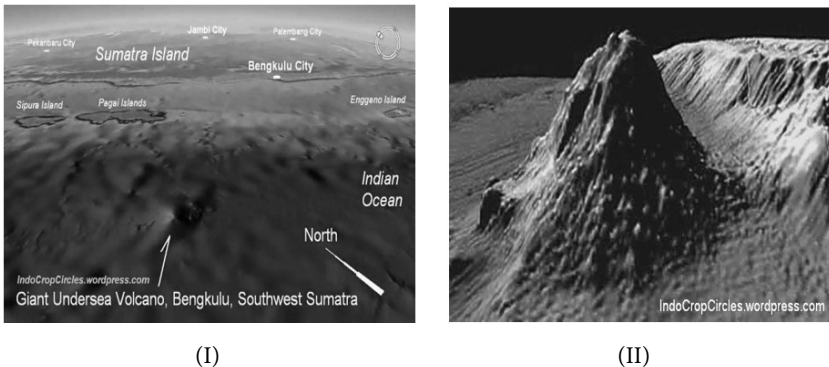


Grafik 1. Potensi Geothermal Hutan Indonesia (Sumber : EBTKE, 2015)



Gambar 2. PLTP Tengah Hutan (Sumber: EBTKE, 2017)

Adanya problematika terkait kerusakan lingkungan dan kebutuhan energi dalam pemanfaatan dan eksploitasi *geothermal* di daratan, sehingga diperlukan solusi untuk mengatasi permasalahan tersebut. Maka dari itu, dibuatlah suatu inovasi *Ocean Geothermal Power Project* berbasis *ocean geothermal* bawah laut, guna meminimalisir penebangan hutan lindung dan mencegah terjadinya krisis mata air sebagai akibat degradasi ketinggian permukaan tanah, serta untuk mewujudkan swasembada dan pembangunan berkelanjutan dibidang energi. Hal ini didukung dengan temuan ahli geologi yang berasal dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI), dan *CGG Veritas* dan IPG (*Institute de Physique du Globe*) Paris telah menemukan beberapa gunung berapi bawah laut di Indonesia. Salah satunya terletak di Bengkulu, Sumatera (IndoCropCircle, 2015).

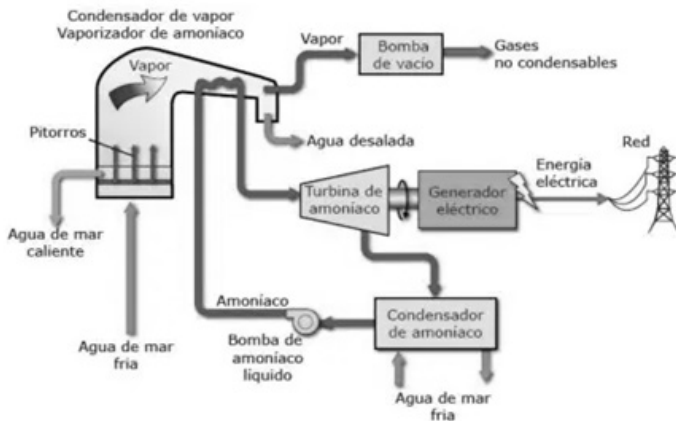


Gambar 3. (I) Peta Lokasi Seamout (II) Gunung Api Bawah Laut Sumatera
(Sumber: IndoCropCircle, 2015)

Ocean Geothermal Power Project merupakan sebuah gagasan solutif untuk masalah energi terbarukan yang ramah lingkungan. Gagasan ini ialah sebuah model pembangkit listrik berbasis *Geo-Ocean Thermal Energy Conversion (GeO-TEC)* dengan *Hybrid System* yang sangat potensial dikembangkan di wilayah perairan dengan gunung api bawah laut. *GeO-TEC* merupakan metode untuk menghasilkan energi listrik menggunakan perbedaan temperatur yang berada di antara laut dalam (800 m - 1000 m) dan perairan dekat permukaan untuk menjalankan mesin kalor (Jouanne dkk, 2017). Prinsip kerja *GeO-TEC* memanfaatkan perbedaan temperatur akibat termoklin yang terjadi pada permukaan lapisan air yang lebih hangat dan lebih sejuk (Jouanne dkk, 2017). Wilayah laut dengan gunung api bawah laut berpotensi besar dalam penerapan *GeO-TEC* karena menghasilkan termoklin yang tinggi akibat sumber uap panas dari lubang fumarole di sekitar gunung api yang dihasilkan sangat besar yaitu 300°C-400°C dengan faktor kapasitas mencapai 90 %-95 % (Idrus dkk, 2018)

Diketahui bahwa, *Geo-Ocean Thermal Energy Conversion (GeO-TEC)* dapat diterapkan dengan *Hybrid System*. Pada *hybrid system*, air laut hangat yang akan masuk dalam *vacuum chamber* (ruang vakum) dan kemudian akan mengalami penurunan tekanan pada *flash evaporator*. Air laut kemudian akan terpisah menjadi dua fasa yaitu uap jenuh dan cair jenuh. Uap jenuh dari air laut akan dimanfaatkan untuk memanaskan

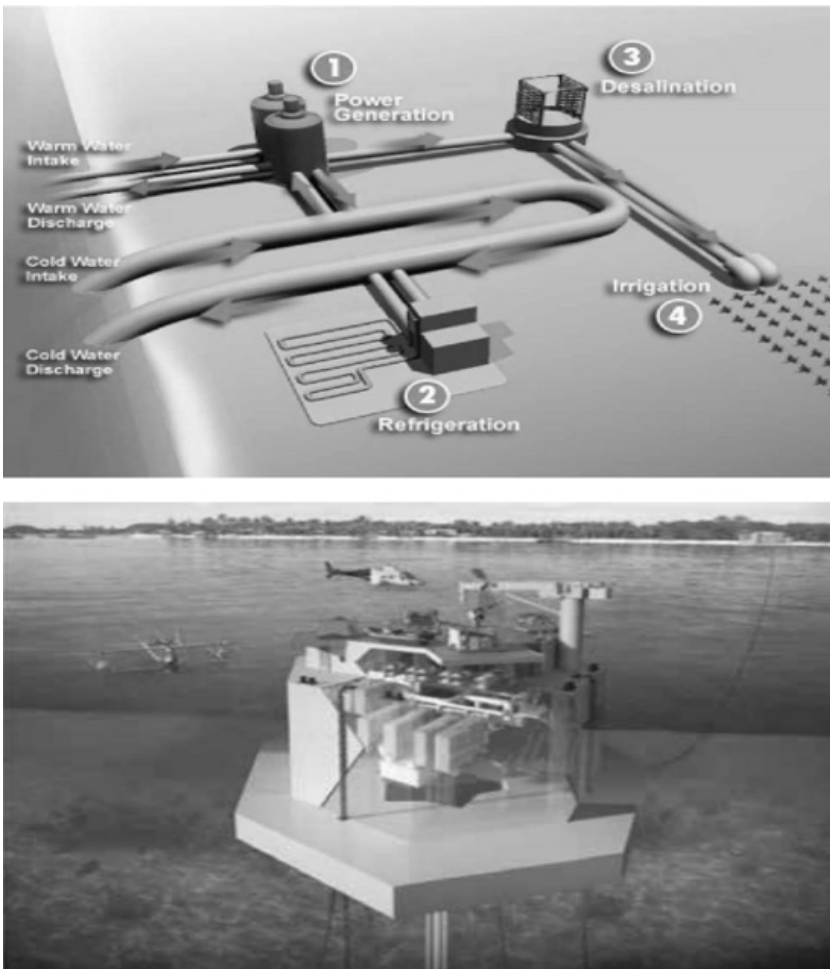
ammonia menjadi uap dan kemudian akan dikondensasikan kembali menjadi air desalinasi. Sedangkan uap ammonia akan menuju turbin untuk menggerakkan sudu-sudu pada turbin yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik oleh generator listrik. Dengan temperatur air laut 26°C dan temperatur air laut dalam $4,5^{\circ}\text{C}$ serta laju volume air laut dingin sebesar $13,9 \text{ m}^3 / \text{s}$ dan air laut hangat $26,4 \text{ m}^3 / \text{s}$ dapat diperoleh *gross power output* sebesar 7920 kW (Albert dan Ju Kim, 2020). Sehingga dengan menggunakan uap panas fumarole dengan suhu 300°C - 400°C disekitar gunung api bawah laut dapat menghasilkan output sebesar 131,8 MW. Output yang diperoleh tersebut tentunya lebih besar jika dibandingkan 3 WKP di Pulau Sulawesi yaitu Lahendong, Bora-Pulu, dan Laenia dengan total kapasitas terpasang sebesar 120 MW (EBTKE, 2019). Sehingga *Ocean Geothermal Power Project* sangat potensial dan efisien untuk dikembangkan dibandingkan dengan eksploitasi panas bumi di daratan.



Gambar 4. Cara Kerja Hybrid System (Sumber: Albert dan Ju Kim, 2020)

Teknologi *GeOTEC* dengan *Hybrid System* menghasilkan produk lain berupa air desalinasi dalam jumlah yang cukup besar yakni mencapai 2,28 juta liter per MW listrik yang dihasilkan (Kempener dan Neuman, 2017) . Air desalinasi ini dapat dimanfaatkan untuk industri air minum, sarana irigasi areal pertanian di sekitar tambang, serta untuk

budidaya perairan (akuakultur). Selain itu, juga dimanfaatkan sebagai *seawater air conditioning (SWAC)* untuk sistem AC, produksi hydrogen dan ekstraksi mineral (Kempener dan Neuman, 2017). Dengan berbagai keunggulan *GeOTEC Hybrid System* yang diterapkan dalam *Ocean Geothermal Power Project* akan mendatangkan keuntungan bagi Indonesia khususnya dalam bidang energi. Berikut grand desain *Ocean Geothermal Power Project* berbasis *Ge-OTEC Hybrid System*,



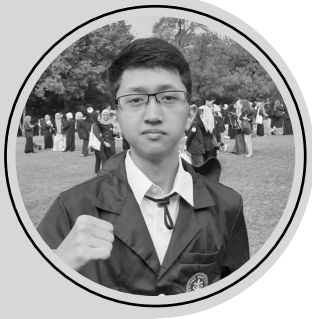
Gambar 5. Grand Desain *Ocean Geothermal Power Project* dengan *Ge-OTEC Hybrid System*

Fakta tentang ditemukannya cadangan potensi energi panas bumi yang tersebar di Indonesia, khususnya daerah laut merupakan ladang yang potensial bagi pengembangan energi terbarukan. Namun, kurangnya pemanfaatan energi terbarukan menjadikan Indonesia terancam mengalami krisis energi. Bahkan pemanfaatan yang masih belum optimal tersebut juga mengalami penolakan dan menimbulkan kerusakan lingkungan yaitu merusak hutan, degradasi tanah, berkurangnya habitat alam, penurunan kualitas udara, dan sebagainya. Hal ini menimbulkan sebuah kebingungan, Indonesia terjebak dalam pilihan yang sama-sama tidak enak. Apabila mengeskploitasi panas bumi di daratan maka terpaksa harus menebang hutan untuk pembukaan lahan. Apabila hutan diselamatkan, maka krisis energi akan menjadi bom waktu. Hal ini sungguh miris, Indonesia bak tikus yang menunggu mati dilumbang padi. Sebagai solusinya, *Ocean Geothermal Project* adalah gagasan visioner yang diajukan untuk memberikan pilihan ketiga yang mampu menjawab permasalahan tersebut. Konsepnya yaitu dengan mengalihkan eksplorasi panas bumi di darat kearah eksplorasi laut berbasis *Geo-Ocean Thermal Energy Conversion (GeOTEC)* melalui *Hybrid System*. Sehingga konsep ini secara tidak langsung menjawab permasalahan tersebut. Keselarasan berbagai pihak mulai dari pemerintah, ilmuwan, *engineer*, dan masyarakat sangatlah diperlukan untuk mengoptimalkan gagasan ini dan menjadikan Indonesia mampu menjadi negara mandiri energi tanpa harus sepenuhnya bergantung kepada energi fosil.

DAFTAR PUSTAKA

- Ashat, dkk. (2017). *Igniting the Ring of Fire: A Vision of Developing Indonesia's Geothermal Project*. Jakarta: WWF.
- EBTKE. (18 Oktober 2017). Diakses pada 19 April 2021, dari <https://ebtke.esdm.go.id/post/2017/10/18/.indonesia.jadi.produken.panas.bumi.terbesar.di.dunia>
- Gunara, Muhamad. (2017). Potensi Batu Bara Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Mengembangkan Industri Logam. *TEKNOKA*, 22-27.

- Idrus, dkk. (2018). Geo-Ocean Thermal Energy Conversion (GeOTEC) Power Cycle/Plat. *Journal Science and Tech*, 373-380.
- IndoCropCircle. (2015, Januari 27). Diakses pada 2 April 2021, dari <https://indocropcircles.wordpress.com/ditemukan-gunung-raksasa-sumatra-diameter-50-km-tinggi-46-km/>
- Jouanne, dkk. (2017). Ocean and Geothermal Energy System. *Proceedings of The IEEE* (pp. 2147-2165). Chicago: Elsevier Inc.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM). (2 Oktober 2013). Diakses pada 2 April 2021, dari <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/cadangan-minyak-kita-cuma-1-100-venezuela>
- Kemenpaner dan Neuman. (2017). Ocean Thermal Energy Conversion Technology Brief. *Journal IRENA*, 3-20.
- Albert dan Ju Kim. (2017). *Ocean Thermal Energy Conversion (OTEC)-Past, Present, and Progress*. London: Intech Open Inc.
- Kompas.com. (2015, September 26). Diakses pada 19 April 2021, dari <https://www.kompas.com/ahmadamiruddin/550bcc5aa333112d1c2e39d8/panas-bumi-berkah-cincin-api>
- Regina, dkk. (2017). Panas Bumi Sebagai Harta Karun Untuk Menuju Ketahanan Energi. *Jurnal Ketahanan Nasional Vol. 23*, 217-237.
- Suhamdani. (15 Mei 2018). Diakses 2 April 2021, dari <https://www.karanganyarkab.go.id/20190730/ancaman-mengintai-gunung-lawu/>



Artikel 4

**Biohidrogen Under Biomass
Production: Pemanfaatan
Limbah Biomasa Perkebunan,
Industri Pertanian dan Hutan
Sebagai Sumber Energi Alternatif
Terbarukan dan Ramah Lingkungan**

Faiz Ismail Zulfi

Teknik Industri Pertanian, 2019 – Institut Pertanian Bogor (IPB)

Misbalance Alam Akibat Kerusakan Lingkungan

Energi listrik merupakan kebutuhan pokok untuk menjalankan aktifitas industri, bisnis, dan berbagai kegiatan sosial masyarakat lainnya. Ketersediaan energi listrik yang cukup akan memengaruhi produktivitas, dan memacu pertumbuhan ekonomi, sehingga akan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Saat ini 54,5% kebutuhan energi di Indonesia dipenuhi dari eksploitasi cadangan minyak bumi, berikutnya gas bumi 26,5% dan batubara 14,4%, selebihnya dipenuhi dari sumber energi lainnya (Fauzi, 2019). Namun penggunaan sumber energi fosil tersebut sangat berdampak terhadap perubahan iklim global.

Perubahan iklim global terjadi disebabkan eksploitasi dan penggunaan yang berlebihan dari bahan bakar fosil pada pembangkit tenaga listrik, transportasi, bangunan, dan industri. Pada tahun 1995, sebanyak 6,5 miliar ton karbon terlepas ke atmosfer sebagai CO₂ (Astra, 2010). Konsentrasi CO₂ di atmosfer saat ini berkisar 360 ppm (atau 0,36%). Konsentrasi ini adalah 20% lebih tinggi dari satu abad yang lalu, dan diperkirakan akan meningkat sampai lebih dari 700 ppm pada tahun 2100 (Astra, 2010).

Sistem penggunaan energi saat ini didasari pada pemanfaatan bahan bakar fosil melalui proses oksidasi, dan memproduksi gas rumah kaca. Gas rumah kaca yang dihasilkan akan mengacaukan

keseimbangan (*misbalance*) siklus karbon yang berlangsung di atmosfer. *Misbalance* tersebut akan menimbulkan efek bencana iklim yang risiko dari dampaknya tidak hanya pada lingkungan daratan (permukaan laut, gletser, hutan, dan sebagainya), tetapi juga pada lingkungan manusia seperti pertanian (aliran udara, kenaikan suhu, nasib ekosistem) (Sutarno & Malik, 2016).

Masalah lingkungan tentang perubahan iklim dan ketersediaan bahan bakar fosil yang terbatas di masa depan memaksa transformasi sistem energi dari skema terutama yang berbasis pembakaran bahan bakar fosil dengan suatu sumber energi berbasis bebas CO₂ berkelanjutan (Sutarno & Malik, 2016). Namun tidak bisa dipungkiri, bahwa salah satu tantangan manusia yang paling penting adalah bagaimana mencukupi kebutuhan energi yang diperlukan untuk mempertahankan standar hidup dan perkembangan masa depan. Oleh karenanya, dibutuhkan energi alternatif yang meliputi sumber dan proses produksi yang ramah lingkungan, tidak menghasilkan emisi CO₂, serta berkelanjutan.

Biomasa: Energi Terpendam Indonesia

Indonesia sebagai negara tropis mempunyai keanekaragaman hayati yang besar, termasuk jumlah biomasa, baik yang berupa limbah dan non limbah yang berpotensi untuk dikonversi menjadi energi. Biomasa merupakan produk fotosintesis yang menyerap energi surya dan mengubah karbondioksida, dengan air ke campuran karbon, hidrogen, dan oksigen. Selain itu, biomassa dapat digunakan sebagai sumber bahan bakar, baik secara langsung maupun setelah diproses melalui serangkaian proses yang dikenal sebagai konversi biomassa.

Lebih dari 14 persen energi primer dunia adalah energi biomassa yang digunakan oleh lebih dari 2 miliar penduduk. Potensi energi biomassa Indonesia, secara teori diperkirakan mencapai sekitar 49.810 MW (Pranoto et al., 2013). Angka ini diasumsikan dengan dasar energi dari produksi tahunan sekitar 200 juta ton biomassa dari residu pertanian, kehutanan, perkebunan, dan limbah padat perkotaan. Jumlah potensi yang besar tidak sebanding dengan kapasitas terpasang sebesar 302,4 MW atau 0,64 persen yang dimanfaatkan.

Saat ini, energi biomassa, seperti kayu bakar, arang, limbah perkebunan, dan limbah industri pertanian relatif diabaikan dalam sistem pengelolaan hutan dan lingkungan Indonesia. Padahal, potensi energi yang dihasilkan cukup potensial untuk dikembangkan. Berikut nilai kalor yang dihasilkan berdasarkan limbah biomassa:

Tabel 1. Nilai kalor biomassa (Pranoto et al., 2013)

Limbah Biomasa	Kalor Jenis
Padi	
Sekam	3.052,9 Ton Kal/Ton
Jerami	2.914,5 Ton Kal/Ton
Merang	3.205,4 Ton Kal/Ton
Jagung	
Boggol	3.523,9 Ton Kal/Ton
Batang-daun	3.674,6 Ton Kal/Ton
Kelobot	3.620,6 Ton Kal/Ton
Singkong	
Batang	3.894,5 Ton Kal/Ton
Kelapa Sawit	
Serabut	11,40 Ton Kal/Ton
Tempurung	15,21 Ton Kal/Ton
Tandan	3.700 (k. kal/kg)
Kelapa	
Serabut	4.004,8 k.kal
Tempurung	4.128,9 k.kal
Hasil hutan	
Kayu	3.992,6 Ton Kal/Ton

Berikut peta potensi energi biomasa Indonesia untuk memperjelas:



Gambar 1. Peta Potensi Energi Limbah Biomassa Indonesia (Pranoto et al., 2013)

Sampai saat ini, pemanfaatan biomasa menjadi produk bernilai tambah dan berdaya komersial tinggi yang memanfaatkan bioteknologi, masih terjebak pada produk alkohol, aseton, metan, pakan, pulp, biogas, pelet karbon, media tanam kapang, polipot dan pengembangan media cacing. Dari penelusuran pustaka dan referensi, masih sedikit ditemukan pemanfaatan biomasa dalam negeri sebagai agen produksi energi gas hidrogen. Gas hidrogen sendiri merupakan energi yang mudah dikonversikan menjadi listrik dan bahan bakar, aman untuk lingkungan, karena tidak menyisakan limbah beracun, dan bersih

Konversi Biomassa Menjadi Energi Biohidrogen

Penggunaan limbah biomassa untuk memproduksi biohidrogen maupun bioenergi lain mempunyai prospek yang menjanjikan, karena dapat menyelesaikan permasalahan konversi energi, pengelolaan limbah, dan permasalahan lingkungan secara bersamaan. Senyawa hidrogen melimpah di alam baik dalam gas maupun dalam bentuk komponen yang mengandung hidrogen seperti biomassa, bahan bakar fosil, dan air. Hidrogen dapat dihasilkan dari berbagai bahan baku biomassa atau substrat yang bisa menghasilkan hidrogen. Produksi hidrogen saat ini banyak dikembangkan sebagai alternatif energi bersih,

karena mempunyai *yield* energi yang tinggi (122 kJ/g), non-polutif dan dapat diperbarui (Han et al., 2012). Dibanding gas hidrogen non-bio yang diproduksi melalui proses kimia/fisik, biohidrogen dipandang lebih ramah lingkungan karena di dalam proses produksinya tidak memerlukan energi yang besar serta tidak ada emisi karbon yang dihasilkan (Rahman & Dewi, 2016).

Biohidrogen dapat diproduksi dari limbah organik dan hasil samping industri pertanian, seperti lignosellulosa dari limbah kayu, gliserol kasar dari industri, tetes tebu (*cane molasses*), dan gula hidrolisat dari bahan berkarbohidrat seperti gula singkong dengan menggunakan mikroorganisme. Bahan-bahan tersebut bersifat mudah diperbarui (*renewable*), melimpah dan mudah didapat. Karakteristik yang berbeda dari berbagai jenis bahan di atas diperkirakan akan mempengaruhi metabolisme mikroorganisme yang digunakan untuk produksi biohidrogen. (Rahman & Dewi, 2016). Mikroorganisme penghasil biohidrogen umumnya berasal dari kelompok bakteri, yang dapat diklasifikasikan menjadi tiga kelompok yaitu: (i) obligat anaerob (*clostridia*, *thermofilik*, bakteri rumen, *methanogen*); (ii) fakultatif anaerob (*enterobacter*, *E. coli*, *Citrobacter*) dan (iii) aerob (*Alcaligene* dan *Bacillus*) (Rahman & Dewi, 2016).

Telah banyak peneliti yang mengeksplorasi gas biohidrogen. Biomassa dan proses yang dilakukanpun beragam mulai dari bahan baku, proses, serta efisiensi. Proses yang dipilih untuk tetap menghasilkan energi yang ramah lingkungan adalah dengan hidrolisa secara biologis. Walaupun residu yang dihasilkan lebih banyak dibanding dengan hidrolisa secara kimia, hidrolisa secara kimia juga tidak ekonomis dan bukan merupakan teknologi yang aman terhadap lingkungan (Susilaningsih et al., 2010). Berikut penelitian-penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya untuk mendapatkan biohidrogen.

Tabel 2. Penelitian terkait konversi biomasa menjadi biohidrogen.

Substrat Biomasa	Agen pendegradasi	Efisiensi	Sumber
Tandan kosong kelapa sawit, tebu, sekam, dan kayu	Jamur	10-90%	(Susilaningih et al., 2010)
Limbah biodiesel, tetes tebu (<i>cane molasses</i>), gula singkong, glukosa, dan glierol	<i>Bacillus pumilus</i> ASP-8 dan <i>Enterobacter aerogenes</i> ADH43	88,27%	(Rahman & Dewi, 2016)
Ampas tahu	<i>Sludge</i> buangan instalasi pengolahan limbah cair tahu	-	(Husin et al., 2014)
Sampah melon	<i>Slude</i> biodister bio-gas	-	(Sarlinda et al., 2018)

Biohidrogen yang dihasilkan kemudian langsung disalurkan ke fuel cell untuk menghasilkan listrik. Pada prinsipnya fuel cell adalah suatu peralatan yang bekerja berdasarkan proses elektrokimia, yang mampu mempertemukan antara hidrogen dengan oksigen untuk menghasilkan energi listrik menjadi air dan panas. Penggunaan teknologi fuel cell untuk pembangkit listrik dari sumber terbarukan telah berkembang secara cepat. Berikut beberapa data kalor pembakaran dari bahan bakar yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari. Energi hasil pembakaran biohidrogen dengan mudah disalurkan dalam teknologi fuel cell menjadi energi listrik yang dapat disimpan.

Simpulan

Peningkatan pemanfaatan energi biohidrogen dari biomassa, dalam rangka diversifikasi energi dan mengatasi perubahan iklim sangat strategis untuk diwujudkan. Produksi hidrogen yang berbasis teknologi bebas CO₂ adalah harapan besar untuk pelaksanaan masa depan ekonomi hidrogen berkelanjutan dan ramah lingkungan. Bagaimanapun, teknologi ini masih dalam tahap pengembangan.

Walaupun secara komersil masih bersaing dengan produk energi dari sumber bahan baku lain, namun tahap transisi ini akan membuka perubahan pasar produksi hidrogen yang besar. Pengembangan biohidrogen harus dilakukan dengan tepat melakukan riset terhadap berbagai bahan baku dan sumber mikroorganisme agar dihasilkan produksi yang efisien dan berkelanjutan tinggi. Untuk mendorong energi terbarukan yang bebas CO₂, yang kemudian akan mendorong ekonomi berbasis hidrogen di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Astra, I. M. (2010). Energi Dan Dampaknya Terhadap Lingkungan. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 11(2), 127–135. <https://doi.org/10.31172/jmg.v11i2.72>
- Fauzi. (2019). Potensi Limbah Perkebunan Kelapa Sawit Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbarukan Di Wilayah Kalimantan Barat. *Elkha*, 9(2), 22. <https://doi.org/10.26418/elkha.v9i2.24356>
- Han, H., Wei, L., Liu, B., Yang, H., & Shen, J. (2012). Optimization of biohydrogen production from soybean straw using anaerobic mixed bacteria. *International Journal of Hydrogen Energy*, 37(17), 13200–13208. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2012.03.073>
- Husin, A., Sarto, S., Syamsiah, S., & Prasetyo, I. (2014). Produksi Biohidrogen Dari Hidrolisat Ampas Tahu Secara Fermentasi Anaerob Menggunakan Kultur Campuran. *Reaktor*, 15(2), 87. <https://doi.org/10.14710/reaktor.15.2.87-96>
- Pranoto, B., Pandin, M., Rahma Fithri, S., & Nasution, S. (2013). Biomass Potential Map As a Database of National Scale Biomass Energy Development. *Ketenagalistrikan Dan Energi Terbarukan*, 12(2), 123–130.
- Rahman, M. A., & Dewi, E. (2016). Inovasi Teknologi Biohidrogen Dari Limbah Biomasa Ke Energi Listrik Dengan Teknologi Fuel-Cell. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 10(3), 319. <https://doi.org/10.29122/jtl.v10i3.1478>

- Sarlinda, F., Sarto, S., & Hidayat, M. (2018). Kinerja dan kinetika produksi biohidrogen secara batch dari sampah buah melon dalam reaktor tangki berpengaduk. *Jurnal Rekayasa Proses*, 12(1), 32. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.33611>
- Susilaningsih, D., Harwati, T. U., Anam, K., & . Y. (2010). Preparasi Substrat Limbah Biomasa Kekayuan Tropika Untuk Produksi Biohidrogen. *MAKARA of Technology Series*, 12(1), 38–42. <https://doi.org/10.7454/mst.v12i1.521>
- Sutarno, & Malik, A. (2016). Kajian Produksi Energi Hidrogen Menuju Transisi Ekonomi Bebas CO₂ : Sebuah Tinjauan Pustaka. *Teknoin*, 22(7), 534–539. <https://doi.org/10.20885/teknoin.vol22.iss7.art7>

Artikel 5

Potensi Produksi Metanol Berbasis Fotokatalisis TiO₂ Terintegrasi Teknologi Penangkapan Karbon sebagai Upaya Implementasi Pengembangan Energi Terbarukan di Indonesia

Ignatius Dozy Mahatmanto Budi

(Institut Teknologi Bandung – ITB)

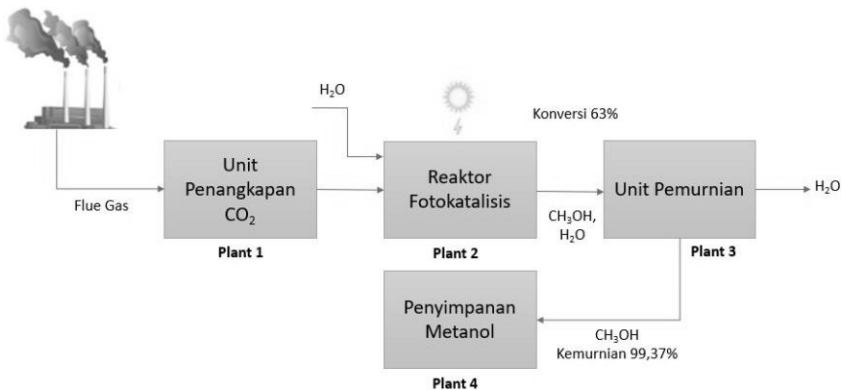
Polusi udara merupakan salah satu permasalahan utama pada lingkungan yang dihadapi oleh masyarakat global dewasa ini. Karbon dioksida sebagai gas hasil reaksi pembakaran bahan bakar fosil pada berbagai industri menjadi fokus tersendiri. Hal ini harus menjadi perhatian mengingat konsentrasi karbon dioksida yang semakin meningkat di atmosfer sehingga meningkatkan suhu bumi. Padahal, karbon dioksida berpeluang untuk dapat dikonversi langsung menjadi senyawa kimia yang lebih bernilai melalui berbagai metodologi, seperti biokimia, elektrokimia, termokimia, dan fotokatalisis.

Berbagai penelitian terbukti telah berhasil mengonversi karbon dioksida menjadi karbon monoksida, asam format, metanol, etilena, propilena, formaldehida, etanol, dan metana. Dari produk senyawa kimia berbasis karbon dioksida ini, metanol menjadi produk yang sangat menjanjikan untuk dipelajari karena metanol memiliki densitas energi yang baik dan dapat menjadi bahan utama dalam produk industri kimia yang bernilai ekonomi tinggi, seperti DME (dimetil eter) dan sebagai reaktan pada reaksi transesterifikasi biodiesel.

Saat ini, metanol masih diproduksi berbasis gas sintesis (*syngas*) atau CO dan H₂ yang berlangsung pada suhu 360-380°C dengan tekanan 25-30 MPa (Dalena dkk., 2018). Kebutuhan metanol tercatat juga terus mengalami peningkatan sehingga suplai metanol masih perlu dicukupi dengan impor. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (2018), kebutuhan impor metanol terhitung meningkat setiap tahun. Pada tahun 2016, jumlah kebutuhan impor metanol di Indonesia mencapai 350.026,05 ton, meningkat sekitar dua kali lipat dari tahun 2015, yaitu 219.413,82

ton. Selain itu, Indonesia hanya memiliki satu pabrik metanol dengan kapasitas

660.000 megaton per tahun dan kemurnian sebesar 99,85%. Bahan baku pabrik ini bersumber dari gas alam. Masalah lain yang timbul adalah pasokan gas alam yang terus menurun. Rata-rata kinerja lifting migas di Kalimantan Timur, tempat industri metanol tersebut mendapat pasokan gas, menurun sebesar 13,41 persen (yoy) per tahun dalam satu dekade terakhir. Selain itu, harga gas di Indonesia yang relatif lebih tinggi dibandingkan dengan negara lain membuat biaya produksi industri metanol secara keseluruhan menjadi kurang ekonomis. Karena pentingnya metanol sebagai bahan baku berbagai industri, produksi metanol dari sumber daya terbarukan menjadi penting dilakukan untuk memenuhi kebutuhan metanol di Indonesia sekaligus menekan laju impor. Konversi karbon dioksida menjadi metanol secara fotokatalisis memiliki prospek yang sangat menjanjikan dibandingkan metode konversi lainnya karena teknologi ini menggunakan sumber daya energi terbarukan dan berkelanjutan berupa sinar matahari dalam kondisi ambien, yakni temperatur ruang dan tekanan atmosferik. Skema yang diusulkan tercantum pada gambar berikut.



Gambar 1. Skema industri metanol berbasis fotokatalisis TiO₂

Proses produksi metanol berbasis fotokatalisis reduksi dimulai dari penangkapan karbon dioksida atau lebih dikenal dengan *Carbon Capture Utilization and Storage* (CCUS). CCUS adalah sebuah teknologi

yang digunakan untuk menangkap karbon dioksida dari berbagai sumber, seperti hasil pembakaran bahan bakar di industri sebelum dibuang ke atmosfer. Teknologi ini sangat penting dalam mengurangi emisi karbon dioksida, mengingat sector industri merupakan salah satu penyumbang emisi CO₂ terbesar yakni sebesar 31% (Enerdata, 2019). Teknologi CCUS sendiri melibatkan sistem penangkapan, pemisahan, pengangkutan, pemanfaatan dan penyimpanan karbon dioksida (Ozin, 2019). Selanjutnya, karbon dioksida yang telah ditangkap dan disimpan perlu dibersihkan. Terdapat beberapa teknologi yang telah umum digunakan, seperti absorpsi berbasis amina, absorpsi dengan zat padat, membran, dan pemisahan hibrida. Absorpsi berbasis larutan amina merupakan teknologi yang paling umum digunakan saat ini. Sumber air yang digunakan dalam rancangan ini dapat berasal dari air laut maupun air sungai yang telah diolah pada unit pengolahan air.

Jenis fotokatalis yang digunakan adalah titanium dioksida (TiO₂). TiO₂ adalah semikonduktor yang paling umum digunakan sebagai fotokatalis karena memiliki beberapa kelebihan. TiO₂ memiliki indeks reaksi dan transmisi yang baik pada sinar UV dan sinar tampak, stabilitas kimia dan cahaya yang baik, tidak beracun, harganya terjangkau, dan aktivitas terjaga pada konsentrasi yang tinggi (Tama, 2014). Berdasarkan struktur kristalnya, TiO₂ terbagi menjadi tiga bagian, yaitu *rutile* (tetragonal), *anatase* (tetragonal), dan *brookite* (orthorombic). TiO₂ dengan struktur kristal *anatase* memiliki luas permukaan yang lebih besar sehingga menghasilkan sifat fotokatalis yang lebih aktif dibandingkan dengan kedua tipe lainnya. Struktur anatase ini memiliki celah pita (*band gap*) sebesar 3,2 eV dengan energi yang setara dengan panjang gelombang 388 nm.

Fotokatalis akan menyerap iradiasi matahari dan memfasilitasi konversi karbon dioksida dan uap air menjadi metanol. Sumber sinar matahari digunakan sebagai sumber energi dengan energi yang lebih besar atau sama dengan celah pita fotokatalis. Hal ini memungkinkan proses eksitasi elektron dari pita valensi menuju pita konduksi. Selanjutnya, elektron yang tereksitasi ini akan bereaksi dengan karbon dioksida untuk kemudian direduksi menjadi metanol. Secara lebih

mendetail, reaksi fotokatalis terdiri dari lima tahapan utama. Foton diserap untuk selanjutnya terjadi pembentukan muatan pasangan *electron-hole*. Setelah pasangan ini terbentuk, proses transfer *electron-hole* pada permukaan semikonduktor akan terjadi dan diikuti oleh penyerapan molekul reaktan. Selanjutnya, reaksi reduksi-oksidasi akan terjadi pada material katalis.

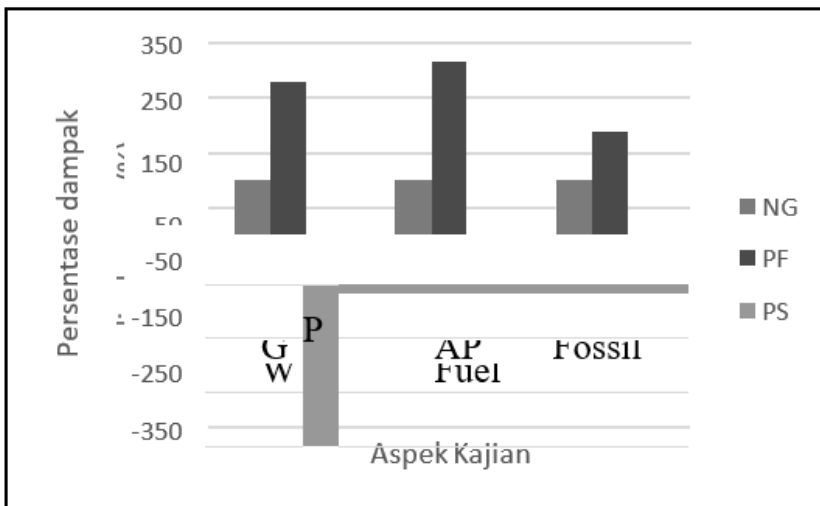
Untuk meningkatkan kualitas produk metanol, proses distilasi perlu dilakukan dalam pemurnian produk. Teknologi distilasi merupakan teknologi proses separasi yang umum digunakan pada industri. Pada proses pemisahan campuran metanol dan air, distilasi merupakan teknologi yang telah lazim digunakan dan sudah komersial. Selain itu, metanol dan air tidak membentuk azeotrop sehingga campuran dapat dipisahkan dengan distilasi sederhana.

Analisis teknoekonomi dari industri ini dapat dilihat melalui analisis neraca massa dan energi serta *cost-to-benefit ratio*. Energi matahari yang dikonsumsi untuk menghasilkan metanol dengan kapasitas 82.700 ton/tahun adalah 439.584 kW dengan efisiensi energi bersih sebesar 9,3%. Berdasarkan asumsi-asumsi ini, modal pengeluaran untuk proyek ini ditaksir sekitar 614,5 juta USD dengan biaya operasi termasuk bahan baku dan utilitas sebesar 45,7 juta USD / tahun (Kim dkk., 2011).

Terdapat beberapa skenario peluang untuk meningkatkan nilai keekonomian dan performa dari pabrik ini. Peluang pertama adalah mekanisme perdagangan karbon (*carbon trading*) yang memungkinkan industri pengguna karbon dioksida mendapat stimulus tertentu sehingga akan meningkatkan nilai ekonomi dari teknologi yang diusulkan. Harga metanol juga perlu penyesuaian untuk mencapai titik impas, yakni sebesar 1,22 USD / kg. Inovasi pada katalis juga perlu dilakukan. Katalis yang digunakan harus dapat memberikan perolehan produk yang lebih tinggi pada produk yang diinginkan, dalam hal ini adalah metanol. Performa katalis yang semakin baik ini dapat dicapai dengan penambahan material lain, seperti *doping* logam atau nonlogam, serta pembuatan cacat (*defect*) pada material katalis.

Kim dkk. (2011) menjabarkan studi lingkungan pada mekanisme fotokatalisis dengan menggunakan pendekatan *cradle-to-gate*, yakni

dari ekstraksi sumber daya (*cradle*) ke produk metanol sebelum pengangkutan. Tiga aspek yang menjadi kajian dampak lingkungan adalah potensi penyebab pemanasan global (GWP), potensi asidifikasi (AP), dan penggunaan bahan bakar fosil pada proses produksi. Semua aspek ini menunjukkan nilai lebih rendah dibandingkan dengan mekanisme konvensional berbasis *syngas* (NG) dan fotokatalis yang masih menggunakan energi fosil sebagai utilitasnya (PF). Bahkan, pada aspek potensi penyebab pemanasan global, mekanisme fotokatalis menunjukkan nilai negatif mengingat proses ini justru sama sekali tidak menghasilkan karbon dioksida, tetapi sebaliknya mengutilisasi CO₂ di atmosfer untuk dikonversi menjadi metanol seperti gambar berikut.



Gambar 2. Analisis dampak lingkungan

Inovasi produksi metanol berbasis fotokatalis reduksi karbon dioksida akan mendukung SDG 7,8, dan 9 yang mendorong pertumbuhan ekonomi berkelanjutan Indonesia. Energi yang lebih bersih dapat diperoleh dengan biaya terjangkau. Pertumbuhan ekonomi juga dapat lebih ditingkatkan mengingat terjadi perputaran ekonomi, baik di dalam maupun sekitar industri berada. Selain itu, inovasi pada industri sendiri juga menjadi aspek penting untuk menciptakan industri yang berkelanjutan bagi *triple bottom line*, yakni *people*, *planet*, dan *profit*.

Teknologi konversi karbon dioksida menjadi metanol dengan energi berbasis matahari merupakan teknologi yang visioner. Dengan penelitian dan pengembangan lebih jauh, teknologi surya sangat dimungkinkan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan menjamin adanya produksi bahan kimia yang terbarukan serta berkelanjutan. Industri kimia ke depannya harus dapat menjadi pendukung peningkatan kesejahteraan masyarakat dengan adanya inovasi model dan proses bisnis yang mendorong mesin pertumbuhan serta mengedepankan kepemimpinan teknologi agar industri kimia Indonesia semakin berada di depan.

Referensi

- Badan Pusat Statistik. (2018). Statistik Perdagangan Luar Negeri. [http://perpustakaan.bappenas.go.id/lontar/file?file=digital/155135\[_Konten_\]](http://perpustakaan.bappenas.go.id/lontar/file?file=digital/155135[_Konten_])-
Buletin%20Impor_1213.pdf. (Diakses: 18 Februari 2021) Enerdata, 2019 dalam Executive Summary Climate Transparency, 2019
- Dalena, F., Senatore, A., Marino, A., Gordano, A., Basile, M., & Basile, A. (2018). Methanol production and applications: An overview. *Methanol*, 3-28.
- Ganesh, I., Kumar, P. P., Annapoorna, I., Sumliner, J. M., Ramakrishna, M., Hebalkar, & Sundararajan, G. (2014). Preparation and characterization of Cu-doped TiO₂ materials for electrochemical, photoelectrochemical, and photocatalytic applications. *Applied Surface Science*, 293, 229-247.
- Kato, M., Nakagawa, K., Essaki, K., Maezawa, Y., Takeda, S., Kogo, R., & Hagiwara, Y. (2005). Novel CO₂ absorbents using lithium-containing oxide. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, 2(6), 467-475.
- Kim, J., Henao, C. A., Johnson, T. A., Dedrick, D. E., Miller, J. E., Stechel, E. B., & Maravelias, C. T. (2011). Methanol production from CO₂ using solar-thermal energy: process development and techno-economic analysis. *Energy & Environmental Science*, 4(9), 3122-3132.

- Ozin, Geoffrey. 22 Februari 2019. <https://www.advancedsciencenews.com/industrial-carbon-dioxide-photocatalysis/>
- Tama, Sofyurrizal Adi. (2014). Sintesis Fotokatalis TiO_2 -S dan Kinetika Degradasi Metilen Biru. Program Sarjana. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.



Artikel 6

“By Pinang Kito-FC (Biohydrogen Pinang dengan Membran Komposit Kitosan Fuel Cell)” - Inovasi Limbah Kulit Pinang Penghasil Listrik Bersistem *Proton Exchange Membran Fuel Cell* (PEMFC) Dilengkapi Membran Komposit Kitosan dari Rumput Laut Coklat (*Sargassum sp.*) Terfosforilasi Guna Mewujudkan *Development of Renewable Energy*

Muthia Zahra Mutmainnah
(Universitas Gadjah Mada)

Karya ini menjadi Pemenang 6, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

Pengantar

“Apa pun yang dilakukan oleh seseorang itu, hendaknya dapat bermanfaat bagi dirinya sendiri, bermanfaat bagi bangsanya, dan bermanfaat bagi manusia di dunia pada umumnya”

-Ki Hajar Dewantara

Negara Indonesia dengan identitasnya sebagai tanah surga juga dikenal sebagai raja dari Tenggara karena memiliki flora dan fauna yang melimpah. Setidaknya, Indonesia telah memiliki 8.000 spesies tumbuhan dan 2.215 spesies hewan. Salah satu flora yang kali ini disorot penulis adalah pinang (*Areca catechu*) atau buah yang berbentuk telur berwarna oranye kemerahan yang lazim ditemukan di Indonesia. Sejak pemutakhiran teknologi yang meningkat secara gramatikal, pinang tidak lagi digunakan hanya untuk aktivitas menyirih. Kini, pinang menjadi primadona ekspor pertanian di beberapa wilayah Indonesia. Akan

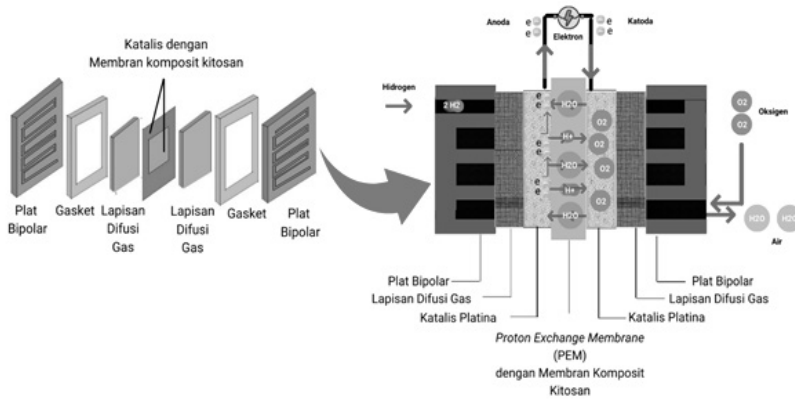
tetapi, di balik permintaan ekspor pinang yang meningkat, tingginya volume pinang yang diekspor berbanding lurus dengan limbah kulit pinang yang dihasilkan. Hal tersebut terjadi karena sebagian besar pinang yang diekspor hanya berupa biji dan bagian kulitnya dibiarkan begitu saja (Lazulva & Utami, 2017). Kulit pinang yang dibuang tersebut berakhir di tempat pembuangan dan menjadi limbah. Sampai saat ini, belum ada pengoptimalan limbah kulit pinang karena masih banyaknya kulit pinang yang berserakan dan dibakar di sekitar tempat pengelolaan buah pinang (Tamlogy, et al., 2019). Tentunya, hal ini menyebabkan polutan lingkungan dan penyumbang gas rumah kaca. Maka dari itu, permasalahan ini menjadi petunjuk awal bagi penulis untuk menggali lebih dalam mengenai limbah kulit dari buah yang dikenal sebagai herbal Nusantara.

Sangat disayangkan jika kulit pinang hanya menjadi sumber polutan lingkungan karena perlu diketahui bahwa kulit pinang mengandung selulosa yang tinggi, yaitu sekitar 34.18%, diikuti dengan 20.83 % hemiselulosa, serta 31.6% lignin (Chandra C.S., et al., 2016). Kandungan selulosa yang tinggi tersebut berpotensi untuk diolah menjadi sumber biomassa terbarukan. Limbah biomassa seperti kulit pinang yang mengandung selulosa dapat digunakan dalam produksi biohidrogen dengan memanfaatkan agen mikroba (Susilaningsih, et al., 2008). Pemanfaatan limbah biomassa menjadi produk biohidrogen dapat menghasilkan gas hidrogen sebesar 1-1,8 liter/liter substrat dengan kemurnian gas hidrogen berkisar 70-80% (Susilaningsih, 2020). Selanjutnya, apabila ditinjau lebih dalam, biohidrogen dari pinang berpotensi menjadi bahan bakar *fuel cell* dalam menghasilkan energi listrik yang dapat disimpan (Rahman & Dewi, 2009). Tentunya hal ini dapat menjadi solusi untuk mengurangi hamparan limbah kulit pinang dan sekaligus menjadi angin segar bagi proyek eksplorasi biohidrogen penghasil energi listrik terbarukan.

fuel cell merupakan perangkat elektrokimia yang dapat mempertemukan hidrogen dengan oksigen untuk menghasilkan energi listrik, beserta panas dan air. Ada beberapa jenis *fuel cell* yang saat ini sedang dikembangkan, yaitu *Proton Exchange Membrane*

Fuel Cell (PEMFC), *Molten Carbonate Fuel Cell* (MCFC), dan *Solid Oxide Fuel Cell* (SOFC). Di antara jenis *fuel cell* yang ada, jenis yang paling efektif digunakan adalah *Proton Exchange Membrane Fuel Cell* (PEMFC) karena efisiensi konversinya mencapai 50 %, operasionalnya yang mudah dan relatif cepat, menggunakan membran elektrolit yang dapat menghindari proses korosi, dapat dioperasikan pada temperatur rendah, dan bebas polusi (Peng, et al., 2014).

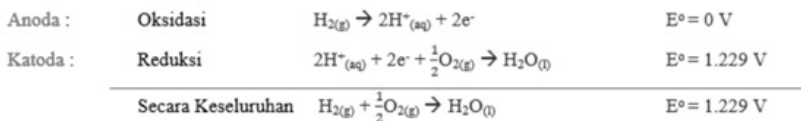
Berdasarkan pemaparan tersebut, penulis mencoba untuk menciptakan gagasan futuristik berupa biohidrogen dari limbah kulit pinang sebagai prekursor utama yang dapat menghasilkan energi listrik terbarukan. Produk tersebut bernama *By Pinang Kito-FC* (*Biohydrogen Pinang dengan Membran Komposit Kitosan- Fuel Cell*). *By Pinang Kito-FC* merupakan salah satu jenis perangkat elektrokimia dengan sistem PEMFC yang menggunakan membran komposit kitosan dari rumput laut (*Sargassum sp.*) terfosforilasi. Sejatinya, membran yang umum digunakan dalam PEMFC adalah nafion. Nafion mempunyai konduktivitas proton yang tinggi sebesar $4,7 \times 10^{-2} \text{ S/cm}$ di bawah $100 \text{ }^\circ\text{C}$, stabilitas termal yang tinggi sebesar $280 \text{ }^\circ\text{C}$, dan persentase penyerapan air yang rendah 15,2% (Smitha, et al., 2005). Namun demikian, penggunaan membran komposit kitosan rumput laut (*Sargassum sp.*) terfosforilasi dinilai jauh lebih terjangkau dari sisi harga, memiliki nilai kapasitas pertukaran ion yang lebih tinggi dari nafion, serta memiliki kinerja yang hampir sama dengan nafion (Wafiroh, et al., 2016). Adapun komponen *By Pinang Kito-FC* tersusun atas membran komposit kitosan-sodium alginat terfosforilasi sebagai membran atau elektrolit pertukaran ion, elektroda yang mengandung katoda dan anoda dengan lapisan katalis platina, lapisan difusi gas, gasket sebagai penyegel gas dan isolasi listrik, serta plat bipolar untuk mengirimkan bahan bakar biohidrogen dan oksidan ke dalam komponen reaktif.



Gambar 1. Ilustrasi komponen dan prinsip kerja PEMFC

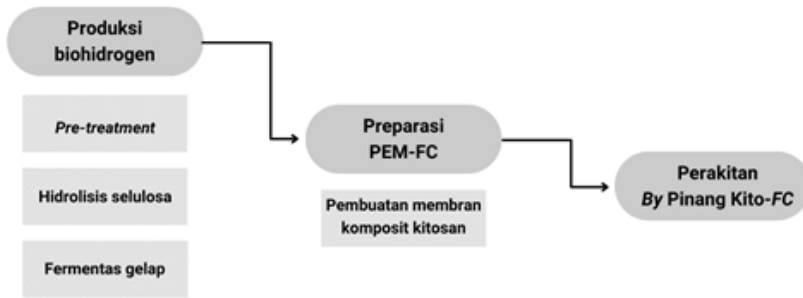
Sumber: Penulis

Sama seperti PEMFC lainnya, perangkat *By Pinang Kito-FC* membutuhkan bahan bakar yang berasal dari oksidasi biohidrogen di anoda dan reduksi oksigen di katoda. Dengan adanya membran komposit kitosan atau elektrolit, gas hidrogen tersebut tidak akan bercampur dengan oksigen. Atom hidrogen yang masuk ke anoda akan teroksidasi oleh katalis platina menjadi proton dan elektron. Selanjutnya, Proton mengalir melewati membran dan akan berikatan dengan oksigen di lapisan katoda menghasilkan air dan panas dengan bantuan katalis platina. Sementara itu, elektron yang menumpuk di anoda akan bergerak menuju *current collector* untuk mengalirkan elektron ke katoda sehingga menghasilkan arus listrik searah. Secara umum, reaksi yang terjadi dalam sistem PEMFC adalah sebagai berikut



Terdapat 3 proses utama dalam pembuatan Perangkat *By Pinang Kito-FC*, yaitu proses produksi gas biohidrogen yang meliputi persiapan (*pre-treatment*) secara fisik dan kimiawi, hidrolisis selulosa, dan

fermentasi gelap, lalu dilanjutkan dengan proses pembuatan membran komposit kitosan dari rumput laut (*Sargassum sp.*) terfosforilasi, serta perakitan Perangkat By Pinang Kito-FC. Secara ringkas proses tersebut ditunjukkan pada gambar berikut:



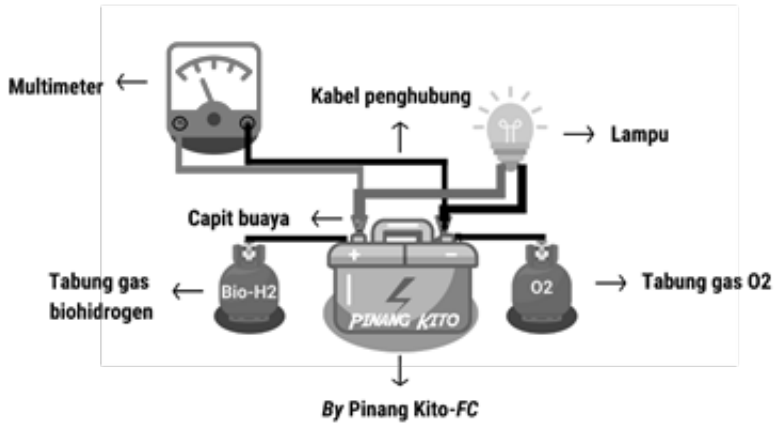
Gambar 2. Proses pembuatan By Pinang Kito-FC

Produksi biohidrogen dari limbah kulit pinang diawali dengan proses *pre-treatment* yang dilakukan secara fisik dan kimiawi dengan tujuan memecah struktur lignin yang kompleks menjadi struktur yang lebih sederhana. Persiapan secara fisik dilakukan dengan pembersihan kotoran dan pengovenan dengan suhu 100 °C selama 8 jam untuk mengurangi kadar air (Susanto, et al., 1995), lalu hasil dari pengovenan digunting kecil-kecil sebesar 1cm dan diayak dengan ayakan 100 *mesh* untuk mendapatkan substrat berbentuk bubuk (Kodri, et al., 2013). *Pre-treatment* dengan alkalisasi menggunakan larutan NaOH 0.5 M untuk memisahkan residu lignin (Pradana, et al., 2017). Hasil alkalisasi dibilas dengan akuades dan dikeringkan kembali menggunakan oven dengan suhu 100 °C selama 6 jam. Proses *pre-treatment* ini dapat menurunkan kandungan lignin secara optimal dari 7.93% menjadi 3.29% (Kodri, et al., 2013). Selanjutnya, hidrolisis selulosa secara enzimatik menggunakan enzim selulase dari mikrofungi *Trichoderma reseei* dan *Aspergillus niger* (1:1) yang akan menghasilkan glukosa dari hasil gula reduksi (Kodri, et al., 2013). Setelah itu, glukosa akan melalui tahapan fermentasi gelap untuk menghasilkan biohidrogen menggunakan bakteri *Enterobacter aerogeneses* secara *batch stirred tank reactor* selama 24 jam dengan

pengontrolan suhu 37 °C dan agitasi 40 rpm, serta penambahan urea konsentrasi 3% sebagai sumber nitrogen tambahan (Rahman & Dewi, 2009). Biohidrogen yang dihasilkan akan dialirkan menggunakan selang ke dalam penampungan berupa tabung *gas trap* yang dilengkapi dengan *water trap* untuk memisahkan uap air yang ikut mengalir. volume biohidrogen yang ada di tabung dapat diketahui menggunakan Instrurment GC-TCD (Permana, et al., 2018).

Proses selanjutnya adalah pembuatan membran komposit kitosan dari rumput laut (*Sargassum sp.*) terfosforilasi dengan menggunakan metode gabungan pada penelitian Smitha, et al. (2005) dan Wafiroh, et al. (2016). Langkah pertama diawali dengan ekstraksi sodium alginat dari *Sargassum sp.* hingga menghasilkan sodium alginat berupa bubuk. Setelah itu, sodium alginat dicampurkan dengan kitosan (8:1) untuk menghasilkan larutan *dope* yang dapat yang dapat dicetak menjadi membran komposit kitosan-sodium alginat dengan nilai modulus young sebesar 0,901 kN/cm² dan nilai *swelling* air sebesar 19,14%. Selanjutnya, membran difosforilasi dengan sodium tripolifosfat (STPP) 2N. Hasil akhir berupa membran optimal yang memiliki konduktivitas proton sebesar 4,7 x 10⁻⁵ S/cm², permeabilitas metanol sebesar 72,7x10⁻⁷ kg/cm²s, serta nilai kapasitas penukar ion sebesar 0,91 m_{eq}/g yang lebih baik dari nafion 117 untuk meneruskan proton dari anoda ke katoda.

Proses terakhir adalah perakitan Perangkat *By Pinang Kito-FC* dengan menempatkan membran komposit kitosan terfosforilasi di antara ruang yang berisi elektroda berupa katoda dan anoda yang mengandung katalis platina, lalu, diikuti dengan pemasangan seluruh komponen perangkat beserta *gas bag* biohidrogen. Selanjutnya elektroda dihubungkan dengan rangkaian kabel pada alat multimeter. Setelah itu, arus listrik dan tegangan diukur menggunakan multimeter. Apabila seluruh tahapan telah dilaksanakan, *By Pinang Kito-FC* dapat dicoba untuk diaplikasikan pada lampu LED dengan daya 3 watt.



Gambar 3. Rangkaian Alat By Pinang Kito-FC dengan lampu

Sumber: Penulis

Pencemaran lingkungan semakin meningkat secara eksponensial sehingga menyebabkan banyaknya permasalahan lingkungan yang harus dihadapi. Sekecil apapun perubahan yang dilakukan mulai hari ini, diharapkan dapat membantu keseimbangan lingkungan agar tetap terjaga. Salah satu upaya menjaga lingkungan dapat dilakukan melalui penggunaan *By Pinang Kito-FC* dalam mengurangi hamparan limbah kulit pinang di sekitar wilayah perkebunan pinang. Perangkat elektrokimia ini juga dirancang dengan menggunakan membran komposit kitosan dari rumput laut coklat (*Sargassum sp.*) terfosforilasi yang jauh lebih efisien dalam menekan biaya produksi karena tidak memerlukan katalis impor dengan harga yang selangit. Harapannya, dengan hadirnya gagasan futuristik konstruktif berupa *By Pinang Kito-FC* ini, dapat mendorong masyarakat luas untuk ikut berkontribusi menyampaikan ide dan gagasannya mengenai Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam rangka mewujudkan *renewable energy development* di Indonesia secara komprehensif.

“Kalau biaya energi murah, produk akan dapat bersaing dan industri pun bisa berkembang”

- Arifin Tasrif, Menteri ESDM, 2020

Daftar Pustaka

- Chandra C.S., J., George, N. & Narayanankutty, S. K., 2016. Isolation and characterization of cellulose nanofibrils from arecanut husk fibre. *Carbohydrate Polymers*, pp. 158-166.
- Kodri, Argo, B. D. & Yulianingsih, R., 2013. Pemanfaatan Enzim Selulase dari *Trichoderma Reseei* dan *Aspergillus Niger* sebagai Katalisator Hidrolisis Enzimatik Jerami Padi dengan *Pretreatment Microwave*. *Jurnal Bioproses Komoditas Tropis*, 1(1), pp. 36-43.
- Lazulva & Utami, L., 2017. Biosorpsi Ion Logam Cd (Ii) Dari Larutan. *Journal of Sainstek*, pp. 85-93.
- Peng, A. Z. et al., 2014. Asymmetric bi-layer PFSA membranes as model. *Physics Chemistry*, 24 Agustus, pp. 20941-20956.
- Permana, E. et al., 2018. Optimasi Produksi Biohidrogen dari Palm Oil Mill Effluent dengan Metode Suppressing Mikroba Metagenomik pada Inkulum Kotoran Sapi. Yogyakarta, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Kejuangan.
- Pradana, A. M., Ardhyanta, H. & Farid, M., 2017. Pemisahan Selulosa dari Lignin Serat Tandan Kosong Kelapa Sawit dengan Proses Alkalisasi untuk Penguat Bahan Komposit Penyerap Suara. *Jurnal Teknik ITS*, VI(2), pp. 413-416.
- Rahman, M. A. & Dewi, E., 2009. Inovasi Teknologi Biohidrogen Dari Limbah Biomassa ke Energi Listrik dengan Teknologi Fuel-Cell. *Jurnal Teknik Lingkungan*, X(3), pp. 319-327.
- Smitha, B., Devi, A. D. & Sridhar, S., 2005. Chitosan-Sodium Alginate Polyion Complexes as Fuel Cell Membranes. *European Polymer Journal*, Volume XLI, pp. 1859-1866.
- Sultoni, Yusuf, M. & Alvian, T. W., 2017. Pengaruh Proses Alkali dan Fraksi Massa Serat terhadap Sifat Fisik dan Sifat Mekanik Komposit Polyurethane/Coir Fiber, Surabaya: ITS.
- Susanto, E., Syahril & Wasposito, P., 1995. Pengaruh Suhu Pengeringan Buah Pinang (*Areca catechu L.*) Terhadap Jumlah Biji Pinang Utuh. *Journal of Agro-base Industry*, XII(1), pp. 36-40.

- Susilaningsih, D., 2020. *Energi Generasi Tigaberbasis Mikrob Fotosintetik Dan Mikroalga Mendukung Solusi Krisis Energi Ramah Lingkungan*. 1nd penyunt. Jakarta: LIPI Press.
- Susilaningsih, D., Harwati, T. U., Anam , K. & Yopi, 2008. Preparasi Substrat Limbah Biomasa Kekayuan Tropika. *Makara Journal of Technology* , XII(1), pp. 38-42.
- Tamlogy, W. R., Kardisa, A., Hisbullah & Aprilia, S., 2019. Pemanfaatan Selulosa dari Limbah Kulit Buah Pinang sebagai. *Jurnal Rekayasa Kimia dan Lingkungan*, XIV(1), pp. 63-71.
- Wafiroh, S., Suyanto & Yuliana, 2016. Pembuatan Dan Karakterisasi Membran Komposit Kitosan-Sodium Alginat Terfosforilasi Sebagai Proton Exchange Membrane Fuel Cell (PEMFC). *Journal Kimia Riset*, I(1), pp. 14-21.



Artikel 7

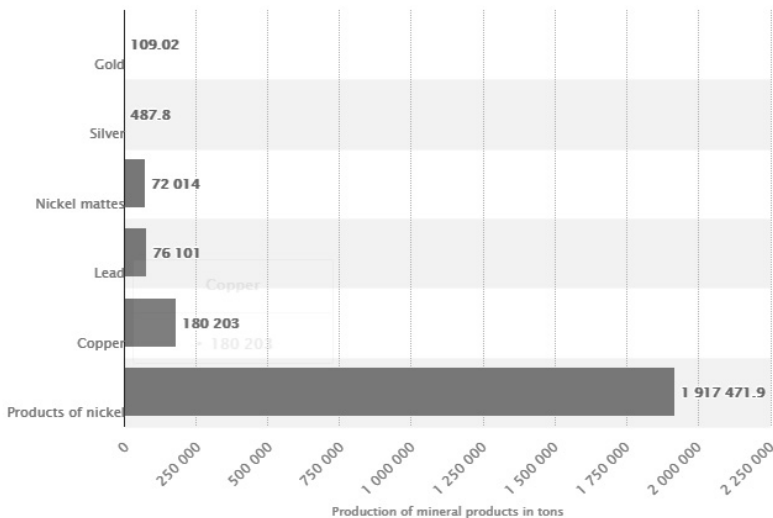
Potensi Sumber Daya Alam Grafena Sebagai Superkapasitor Bahan Material Baterai Untuk Kendaraan Listrik Di Indonesia

Muhammad Najmi Hafiy

(Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada – UGM)

I. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara yang sangat spesial, spesial di sini meliputi segala aspek baik letak secara geografis yakni, di antara dua samudera dan dua benua, letak astronomis di 6°LU - 11°LS dan 95°BT - 141°BT , dan bahkan kekayaan sumber daya alam yang membuat takjub. Menurut data yang dihimpun oleh Statista pada tahun 2021 menunjukkan bahwa produksi bahan sumber daya alam di Indonesia meningkat drastis.



Gambar 1. Produksi Produk Mineral di Indonesia 2019 (Sumber: Statista, 2021)

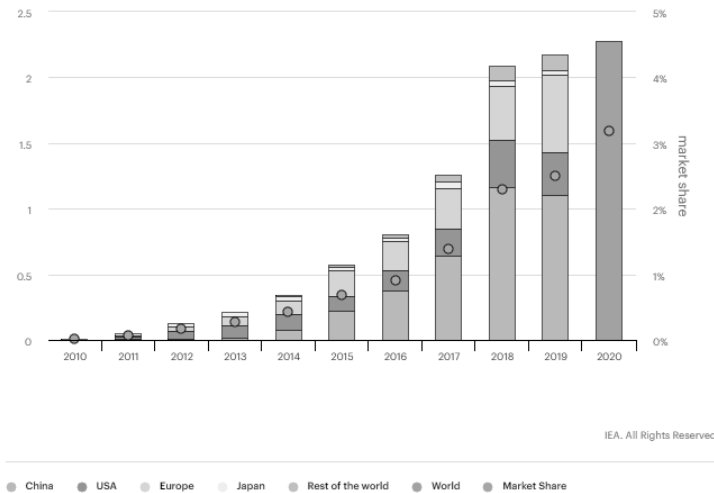
Di tahun 2019 diperkirakan 180 ribu ton tembaga telah diproduksi di Indonesia. Sektor pertambangan menjadi sektor kunci dalam kontribusi pertumbuhan ekonomi di Indonesia selama beberapa dekade. Hal itu terlihat dari perjuangan Pemerintah Indonesia melakukan penyempurnaan birokrasi di sektor pertambangan untuk meningkatkan persaingan ekonomi dari beberapa negara dan ramah terhadap investasi.

Eksplorasi demi eksplorasi dilakukan tiap tahunnya. Perusahaan pertambangan di Indonesia telah mulai melihat masa depan baru sekarang dan menaruh perhatian khususnya dari meningkatkan produksi dan pengembangan menuju pemotongan biaya operasional terlebih selama masa pandemi seperti ini dan mulai fokus untuk mempermudah melakukan penambangan deposit mineral. 10 tahun lamanya, ada hal menarik dalam industri pertambangan di Indonesia yakni peningkatan produksi nikel bahkan hingga 8 kali lipat. Tak lain tak bukan, hal ini dikarenakan permintaan pasar global terhadap nikel naik signifikan dan nikel menjadi bahan utama dalam pembuatan baterai di kendaraan listrik. *Shifting* menggunakan kendaraan listrik ini diperkirakan akan mengalami kenaikan cukup besar, terlebih semenjak Perjanjian Paris diadakan dan pembuatan poin-poin *SGDs (Sustainable Development Goals)* menjadikan seluruh negara berkomitmen dan bergerak mencari sumber energi yang ramah lingkungan guna mengurangi dampak GRK (Gas Rumah Kaca) dan menuju *net-zero carbon footprint*. Maka dari itu, inovasi dibidang energi terbarukan khususnya kendaraan listrik gencar dilakukan. Keberadaan baterai di kendaraan listrik menjadi sangat krusial dan bahkan merupakan “nyawa” bagi kendaraan listrik itu sendiri.

II. PEMBAHASAN

Energi konvensional berupa minyak bumi dan gas di dunia makin lama mengalami penurunan. Solusi yang bisa ditawarkan dalam energi dan bisa dipercaya yaitu dengan menggunakan kendaraan berbahan bakar listrik. Beberapa negara khususnya negara maju telah melakukan akselerasi dalam penggunaan kendaraan bahan bakar listrik. Sayangnya di Bumi Pertiwi yang kita tinggali masih bisa dikatakan jauh dari akses

dan infrastruktur penggunaan kendaraan bahan bakar listrik seperti halnya, jarak antar tempat pengisian bahan bakar listrik yang jauh.



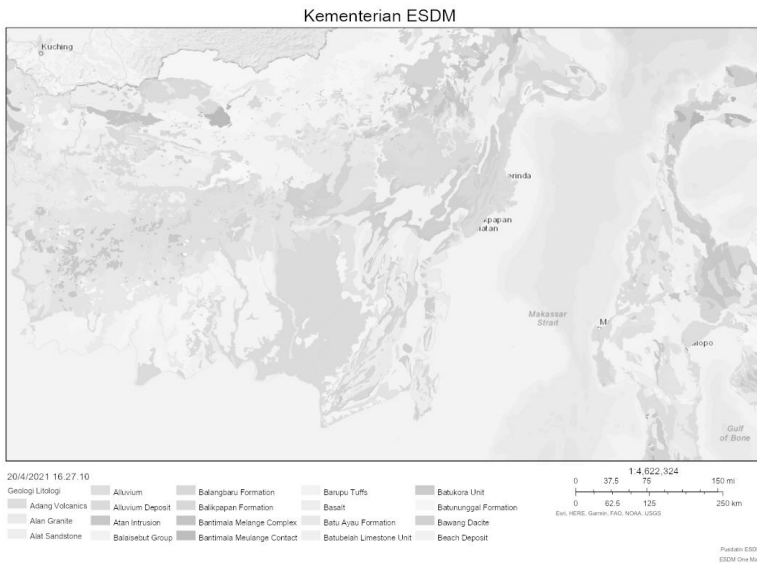
Gambar 2. Tingkat Penjualan Mobil Listrik secara Global 2010-2020

(Sumber: IEA, 2020)

Kendaraan listrik menggantikan mesin berbasis *combustion* dengan motor yang dialiri oleh arus listrik. Oleh karena itu komponen yang paling penting dari kendaraan listrik adalah baterai sebagai penyimpan energi yang mana akan digunakan dalam proses kendaraan listrik. Baterai yang lazimnya dipakai dalam kendaraan listrik adalah Li-Ion (*lithium-ion*), *nickel metal hydride*, dan SLA. Sayangnya baterai yang berbasis lithium yang digunakan masih memiliki beberapa isu yang akhirnya membuat keraguan tersendiri untuk pindah hati ke kendaraan listrik. Kendala yang ditemui berupa kapasitas penyimpanan energi dari baterai Li-Ion yang berpengaruh terhadap jarak tempuh dari kendaraan listrik dan durasi untuk pengecekan kendaraan listrik. Jawaban dari permasalahan tersebut adalah dengan munculnya sebuah inovasi dalam bidang baterai yakni baterai grafena. Grafena ternyata hanyalah satu lapisan atom dari mineral grafit, lapisan atom karbon terikat dan disusun sedemikian rupa di dalam kisi heksagonal. Grafena sering ditemui di dalam mineral grafit, grafit menjadi salah satu dari

tiga alotrop karbon yang terjadi secara alami dan terbentuk di batuan metamorf.

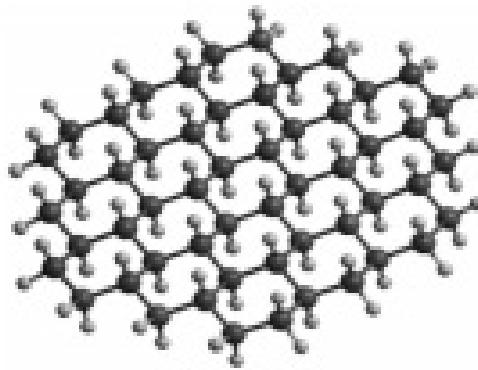
Walaupun hanya berupa satu lembaran setipis atom, grafena memiliki sifat yang sangat unik. Bahkan grafena menjadi bahan terkuat yang pernah ditemukan. Bahan grafena diklaim mampu 40 kali lebih kuat dari berlian dan 300 kali lebih kuat dari baja struktural. Grafena memiliki mobilitas elektron yang sangat tinggi dan konduktor listrik yang baik, dikarenakan adanya elektron bebas disetiap atom karbon yang ada. Potensi bahan baku masa depan baterai ini ternyata dapat ditemui di Indonesia.



*Gambar 3. Peta Geologi Litologi Pulau Kalimantan dan Sulawesi
(Sumber: Kementerian ESDM, 2020)*

Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Mineral dan Batubara (Ditjen Minerba) pada tahun 2014-2016 terdapat satu konsensi pertambangan mineral grafit di Kalimantan Barat. Keprospekan bahan unik ini di Indonesia juga sempat dilakukan uji di Pulau Kalimantan dan Sulawesi. Hasilnya mengejutkan berdasarkan hasil litologi terdapat mineral grafit yang merupakan bahan dari grafena ada di Kabupaten

Kolaka, Sulawesi Tenggara dan di Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat. Berdasarkan kesebandingan regional, batusabak yang ditemukan berada di Kompleks Mekongga (Pzm), berumur Karbon-Perm (T.O Simandjuntak,dkk. 1993). Hasil yang didapati berupa sabuk batuan malihan berumur tua, dan protolith batuan sedimen yang kaya akan kandungan organik.



Gambar 4. Sel Material Grafena

(Sumber: Lu, Yang, Zhu, Chen, & Chen, 2009)

Ilmuwan menggunakan sejumlah teknik untuk mengolah grafena. Pengelupasan mekanis atau dikenal juga teknik pita perekat merupakan salah satu cara paling efektif untuk membuat grafena satu lapisan dan beberapa lapisan. Selain itu metode deposisi uap kimia juga cocok untuk digunakan dengan mengekstraksi atom karbon dari sumber yang kaya karbon dengan cara reduksi. Namun, kelemahan dari penggunaan teknik ini adalah kesulitan dalam menemukan substrat yang tepat untuk menumbuhkan lapisan grafena. Teknik terakhir dapat menggunakan panas (thermal) untuk mereduksi dari mineral grafit oksida menjadi grafena, baru-baru ini menarik perhatian dikarenakan mampu mengurangi biaya produksi sehingga mampu lebih ekonomis.

Struktur yang dimiliki oleh baterai grafena sebetulnya serupa dengan baterai konvensional yakni, memiliki elektroda dan elektrolit yang

digunakan dalam perpindahan ion yang terjadi. Kunci perbedaannya terletak pada performa yang dimiliki baterai grafena cenderung tampil lebih apik dengan bekerja membantu ion besi dalam keadaan normal yang mengakomodir efisiensi dari elektroda dan memperlama umur yang dimiliki oleh baterai. Di lain sisi material grafena memfasilitasi proses dari isi ulang dengan menawarkan tingkat konduktifitas yang tinggi.

Baterai grafena juga dinilai lebih ringan dan lebih ramping dibanding baterai Li-Ion saat ini. Ini berarti perangkat yang lebih kecil, lebih tipis, tak perlu risau dengan diharuskannya penambahan ruang ekstra. Tidak hanya itu, grafena memungkinkan kapasitas jauh lebih tinggi. Sebagai perbandingan dengan berat yang sama, Li-Ion hanya mampu menyimpan 180Wh energi per kilogram sementara grafena dapat menyimpan hingga 1000 Wh per kilogram.

III. KESIMPULAN

Keuntungan utama yang dapat ditawarkan oleh bahan grafena ialah konduktivitas listrik yang ditingkatkan, kontrol yang lebih baik atas ukuran dan orientasi kristal material, pori-pori untuk akses yang lebih baik ke elektrolit, dan mekanis ketahanan yang sangat penting untuk material dengan volume besar. Diikuti dengan kondisi sekarang yang maraknya penggunaan kendaraan listrik dan potensi besar bahan grafena yang dimiliki oleh Indonesia bisa menjadikan negeri Zamrud Khatulistiwa ini menjadi pemain besar dalam kontribusi pemasok bahan baku baterai untuk kendaraan listrik. Harapannya dengan kehadiran baterai jenis ini ditambah dengan dukungan listrik yang memadai dari pemerintah untuk kendaraan berbahan bakar listrik, maka impian Indonesia menuju negara beremisi rendah dapat tercapai.

Inovasi teknologi ini juga sebetulnya selaras dengan agenda pemerintah dalam KEN (Kebijakan Energi Nasional) yang merupakan *road map* kebijakan ketahanan dan kemandirian energi. Sumber daya energi tidak hanya dijadikan komoditas ekspor semata tetapi justru dipakai sebagai modal pembangunan nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- Cai, X., Lai, L., Shen, Z., & Lin, J. (2017). Graphene and graphene-based composites as Li-ion battery electrode materials and their application in full cells. *Journal of Materials Chemistry A*, 5(30), 15423–15446. <https://doi.org/10.1039/c7ta04354f>
- Graphene-info.com. (2017). Graphene-Info. Retrieved April 20, 2021, from Graphene-info.com website: <https://www.graphene-info.com/graphene-batteries>
- IEA. (2020, December 2). Global electric car sales by key markets, 2010-2020 – Charts – Data & Statistics. Retrieved April 20, 2021, from IEA website: <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-electric-car-sales-by-key-markets-2015-2020>
- Kementerian ESDM Badan Geologi. (2018, May 18). Pengenalan Mineral Grafit, Pemanfaatan dan Keterdapatannya di Indonesia. Retrieved from psdg.geologi.esdm.go.id website: http://psdg.geologi.esdm.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=1207&Itemid=610
- Kementerian ESDM. (2020). ESDM One Map - Peta. Retrieved April 20, 2021, from onemap.esdm.go.id website: <https://onemap.esdm.go.id/map/geologi.html>
- Kim, H., Park, K.-Y., Hong, J., & Kang, K. (2014). All-graphene-battery: bridging the gap between supercapacitors and lithium ion batteries. *Scientific Reports*, 4(1). <https://doi.org/10.1038/srep05278>
- Lu, C., Yang, H., Zhu, C., Chen, X., & Chen, G. (2009). A Graphene Platform for Sensing Biomolecules. *Angewandte Chemie*, 121(26), 4879–4881. <https://doi.org/10.1002/ange.200901479>
- Mediatama, G. (2020, June 9). Begini upaya pemerintah capai target bauran energi terbarukan 23% di tahun 2025. Retrieved April 20, 2021, from kontan.co.id website: <https://industri.kontan.co.id/news/begini-upaya-pemerintah-capai-target-bauran-energi-terbarukan-23-di-tahun-2025>

- Novoselov, K.S., A.K., Geim, S.V., Morozov, D., Jiang, M.I., Katsnelson, I.V., Grigorieva, S.V., Dubonos, dan A.A., Firsov. 2005. "Two-dimensional gas of massless Dirac fermions in graphene". *Nature* 438: 197–200
- Statista. (2021, April 7). Indonesia: mineral production 2019. Retrieved April 20, 2021, from Statista website: <https://www.statista.com/statistics/865268/indonesia-mineral-production/>
- Voelcker, J. (2016, December 20). Electric car battery warranties compared. Retrieved April 20, 2021, from Green Car Reports website: https://www.greencarreports.com/news/1107864_electric-car-battery-warranties-compared



Artikel 8

Target 31% Bauran Energi Terbarukan 2050: Elektrifikasi berbasis *Integrated Grid Net+ Energy Solar Photovoltaic* di Provinsi D.I Yogyakarta

Margaretha Nondang Sandy Saragi

(Universitas Gadjah Mada)

Selama beberapa dekade terakhir, emisi karbon di dunia kian meningkat secara signifikan. Aktivitas manusia yang mendorong pengeluaran emisi karbon tidak sebanding dengan usaha konservasi lingkungan sehingga memperburuk krisis iklim dunia. Indonesia merupakan salah satu dari 10 negara penghasil emisi gas rumah kaca terbesar di dunia dengan tingkat emisi gas rumah kaca sebesar 1,5 juta Gg CO₂e pada tahun 2016 (WRI, 2017).

Saat ini, sektor energi menduduki peringkat kedua penyumbang emisi karbon terbesar di Indonesia sebesar 34,9%. Akan tetapi, dengan pertumbuhan emisi Indonesia yang mencapai 6,7% hingga tahun 2030, sektor energi diproyeksikan akan menyumbang hingga 50% dari total keseluruhan emisi pada tahun tersebut. Kebutuhan energi diprediksi akan berkembang pesat seiring dengan kebutuhan hidup manusia, tetapi akan memperparah krisis iklim jika tidak ada langkah konkret dalam transisi ke energi terbarukan.

Potensi energi terbarukan di Indonesia sangat melimpah. Sebagai negara tropis, Indonesia memiliki potensi besar untuk pengembangan energi solar *photovoltaic*. Namun, potensi tersebut belum dipergunakan secara maksimal. Kontribusi pembangkit listrik tenaga surya hanya sebesar 1,7% dari total pembangkit listrik di Indonesia, padahal rata-rata peningkatan jumlah pembangkit PLN pada lima tahun terakhir sebesar 4,74%. (Statistik Ketenagalistrikan, 2018).

Meskipun demikian, komitmen untuk transisi energi terbarukan sedang digenjot oleh pemerintah pusat dan daerah dalam rangka memenuhi target kontribusi sebesar 31% energi terbarukan dalam pemenuhan energi nasional. Penelitian oleh Silalahi (2019), Indonesia dapat mencapai 100% *green electricity* dengan mengembangkan pembangkit listrik berbasis surya. Salah satu penghalang dalam pemanfaatan bauran energi terbarukan adalah membutuhkan investasi yang besar, tetapi sesungguhnya investasi energi terbarukan memberikan keuntungan jangka panjang.

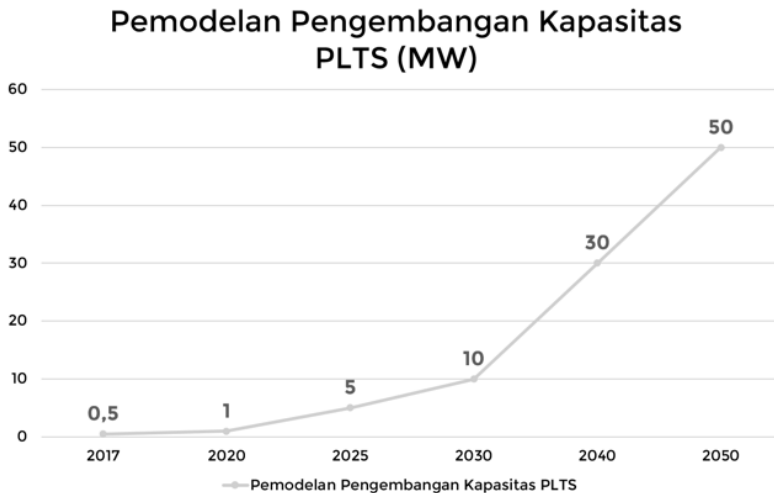
Energi Surya Merupakan Sumber Energi Termurah

Berdasarkan Laporan *Renewable Power Generation Costs in 2019* oleh *International Renewable Energy Agency* (IRENA) menyatakan bahwa biaya menggunakan energi terbarukan lebih murah dibandingkan pembangkit listrik bersumber batubara. Dengan kebijakan yang tepat, biaya listrik dari teknologi tenaga surya dapat ditekan hingga 59% pada tahun 2025. Dengan semakin kompleks kegiatan ekonomi serta perkembangan peradaban ilmu pengetahuan dan teknologi, tidak menutup kemungkinan bahwa pembangkit listrik tenaga surya menjadi sumber energi termurah dalam segi investasi dan bisa dijangkau oleh seluruh elemen masyarakat.

Kebijakan Elektrifikasi berbasis *Net+ Energy Solar Photovoltaic*

Kebijakan elektrifikasi sedang ditekan pemerintah dalam mewujudkan 100% elektrifikasi di seluruh wilayah di Indonesia. Berdasarkan laporan Kementerian ESDM (2019), rasio elektrifikasi pada tahun 2019 yaitu 98,89% dan dalam waktu 2-3 tahun akan tercapai 100%. Elektrifikasi berbasis energi terbarukan menjadi tantangan penyediaan listrik yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Daerah Istimewa Yogyakarta menjadi *pioneer* pembuatan peraturan daerah berfokus pada Energi Baru Terbarukan (EBT). Peraturan Daerah D.I. Yogyakarta No. 6/2020 tentang Rencana Umum Energi Daerah Tahun 2020-2050, mengatur tentang proyeksi kebutuhan energi listrik daerah yang diakomodir dengan peningkatan kapasitas energi terbarukan hingga tahun 2050.



Grafik Proyeksi Pemodelan Pengembangan Kapasitas PLTS (MW)

Sumber : Dinas PUP-ESDM D.I. Yogyakarta (2020)

Grafik di atas menjelaskan komitmen pemerintah dalam elektrifikasi berbasis energi solar *photovoltaic*. Pemerintah Daerah D.I Yogyakarta menargetkan pengembangan kapasitas PLTS sebesar 50 MW hingga tahun 2050 dengan strategi kebijakan mendorong pemanfaatan PLTS *rooftop* untuk gedung pemerintahan, komersial, sektor transportasi, hingga tingkat rumah tangga. Dengan adanya target tersebut, tantangan berikutnya adalah implementasi di lapangan dalam hal mendorong penggunaan PLTS, salah satunya dengan *Integrated Net+ Energy Buildings*. *Net+ Energy Building* dikategorikan dalam bangunan rendah emisi dimana memiliki kemampuan energi listrik yang dihasilkan bernilai surplus dari energi listrik umumnya *on grid*. Nilai surplus tersebut tentunya mampu ditransfer ke jaringan listrik lainnya yang saling terintegrasi.

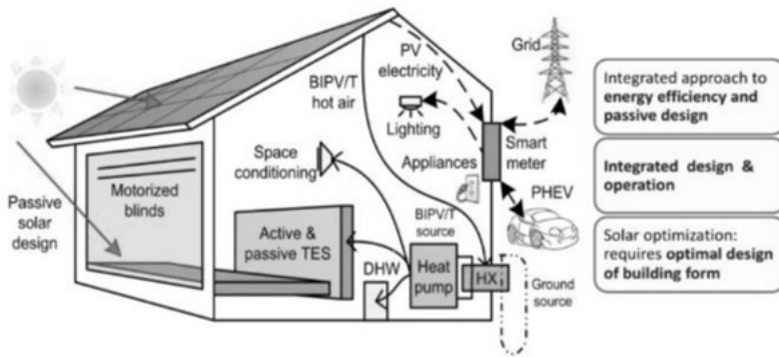


Diagram *Smart Integrated Grid*

Sumber : Athienitis, 2017

Pemanfaatan *solar photovoltaic* sebagai sumber energi listrik yang bernilai *surplus* serta terintegrasi dengan PLN (*on grid*) akan memberikan *cost benefit* bagi penggunaannya. Sebagaimana telah diatur dalam Permen ESDM No 49/2018 dijelaskan mengenai mekanisme insentif dan harga beli bagi masyarakat pengguna PLTS *on grid* dengan perhitungan nilai kWh ekspor-impor dikali 65%. Nilai sebesar 65% masih menjadi polemik karena perhitungan pengembalian nilai investasi menjadi lebih lama. Oleh karena itu, dibutuhkan mekanisme yang lebih menguntungkan dan terintegrasi dengan berbagai *stakeholder* agar investasi PLTS menjadi lebih mudah serta mendorong masyarakat untuk transisi menggunakan energi surya sebagai sumber energi listrik.

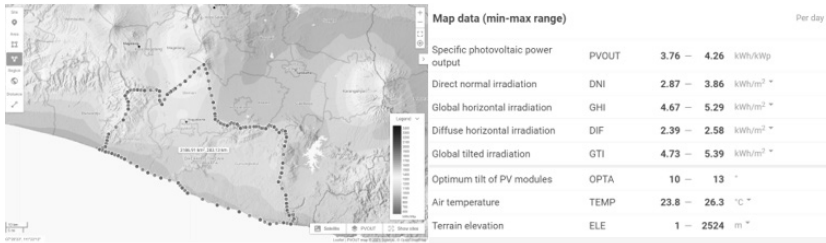


Implementasi Program “*Efficiency House Plus*” di Berlin, Jerman
Sumber : *Efficiency House Plus in Berlin Report, 2018*

Kota Berlin merupakan salah satu kota yang telah mengimplementasikan prinsip *nearly zero energy* dan *Net+ energy building* dengan program “*Efficiency House Plus*”. Program ini diinisiasi oleh *The German Ministry of the Interior, Building and Community* pada tahun 2012. Implementasi program “*Efficiency House Plus*” dapat menghasilkan energi listrik sebesar 13.306 kWh. Jika dibandingkan dengan konsumsi energi listrik sebesar 12.400 kWh, maka energi yang dihasilkan *solar photovoltaic* surplus 7% pada tahun pertama serta meningkat 16% pada tahun kedua dengan surplus sebesar 2.011 kWh/a.

Studi Kasus Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta

Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, menjadi sentra berbagai aktivitas ekonomi, pariwisata, pendidikan, industri, dan lain sebagainya dari tingkat regional hingga nasional yang membutuhkan pasokan listrik yang besar. Kebutuhan energi DIY tahun 2050 diproyeksikan sebesar 3,52 MTOE, dengan porsi terbesar adalah listrik sebesar 1,60 MTOE (45%). Pembangkit listrik terbarukan yang dimiliki oleh D.I Yogyakarta mampu menghasilkan 42,4 GWh per tahun dimana salah satunya atas kontribusi PLTS dengan kapasitas 0.02 MW. Pemanfaatan yang masih sangat sedikit, padahal memiliki potensi *solar photovoltaic* yang sangat besar untuk dikembangkan.



Potensi Energi Surya di Provinsi D.I. Yogyakarta dengan *Global Solar Map*

Sumber : *Global Solar Map* (2021)

Global Solar Map merupakan *software* berbasis *mapping* yang menganalisis potensi energi surya di suatu area berdasarkan parameter *input* dari *photovoltaic*. Berdasarkan analisis dari *Global Solar Map* (2021), nilai *Direct Normal Irradiation* 2.87-3.86 kWh/m² yang dapat disimpulkan bahwa Provinsi D.I Yogyakarta memiliki potensi energi surya yang besar.



PLTS di Dusun Rejosari, Gunung Kidul

Sumber : <https://enerbi.co.id/> (2017)

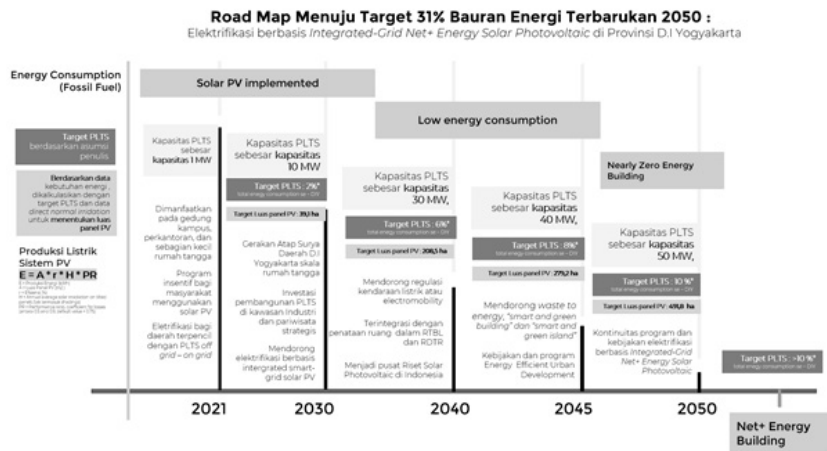
Dusun Rejosari, Kabupaten Gunung Kidul menjadi salah satu dusun yang memiliki PLTS *off-grid* yang merupakan bagian dari program Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpusat yang tersebar di lebih dari 100 desa di Indonesia oleh Kementerian ESDM. Kapasitas PLTS ini sebesar 15 KWp yang dimanfaatkan oleh 65 kepala keluarga.

Namun, masih menuai polemik karena kurang terawatnya instalasi dan infrastruktur PLTS sehingga tidak bisa menghasilkan energi listrik yang maksimal.

Masih di Kabupaten Gunung Kidul, salah satu pelanggan PLTS Atap PLN dalam wawancara *CNN Indonesia* (2020), menyatakan bahwa beliau menghemat biaya listrik sebesar 50% dan aman tersedia sepanjang waktu dengan PLTS. Dengan penghematan tersebut menjadi daya tarik masyarakat untuk menggunakan energi surya, sehingga pelanggan PLTS *on-grid* akan meningkat dalam beberapa tahun kedepan.

Indonesia dengan Energi Bersih dan Berkelanjutan

Sektor energi diprediksi akan menyumbang emisi karbon terbesar di Indonesia. Jika melihat tantangan emisi dan krisis iklim di masa depan, diperlukan perubahan paradigma mengenai sumber listrik saat ini sangat bergantung dengan energi fosil yang merusak lingkungan dengan transisi ke energi terbarukan. Tantangan mewujudkan target 31% energi terbarukan merupakan tanggung jawab kita bersama, salah satunya dengan mendorong pemanfaatan potensi *solar photovoltaic* berbasis *integrated-grid net+ energy*.



Sumber : Analisis Penulis (2021)

Diagram *Roadmap* menuju target 31% energi terbarukan melalui elektrifikasi berbasis *integrated-grid Net+ Energy Solar Photovoltaic* di

Provinsi D.I. Yogyakarta berdasarkan penjabaran analisis sebelumnya. Dalam mencapai Net+ Energy pada tahun 2050 diperlukan *framework* dari tingkat pusat hingga lokal yang selaras dalam komitmen 31% bauran energi terbarukan. Periode 2021-2030 diperlukan upaya mendorong investasi pengembangan PLTS skala rumah tangga hingga industri strategis yang ada di D.I. Yogyakarta. Jika diimplementasikan dengan konsep *Integrated-Grid Net+ Energy Solar Photovoltaic* sebagaimana telah dilakukan di Berlin, Jerman yang mendukung kegiatan ekonomi lokal dan memberikan *surplus energy consumption*.

Perjalanan hingga menuju target 2050 memang terasa panjang, tetapi inilah waktu yang tepat untuk kita bergerak bersinergi dari tingkat pusat hingga lokal. Sinkronisasi kebijakan pusat- daerah yang mendorong investasi terhadap energi terbarukan serta perkembangan teknologi yang semakin dinamis tidak menutup kemungkinan penggunaan solar *photovoltaic* bisa dimanfaatkan seluruh elemen masyarakat. Tantangan saat ini adalah bagaimana kita mengisi ruang *gap* informasi pentingnya Indonesia untuk memanfaatkan potensi energi terbarukan untuk '*Indonesia dengan Energi Bersih dan Berkelanjutan*'

DAFTAR PUSTAKA

- International Renewable Energy Agency (IRENA). (2019). *Renewable Power Generation Costs in 2019*. International Renewable Energy Agency (IRENA). ISBN :978-92-9260-244-4
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). (2020). *Kebijakan Kementerian ESDM di bidang Ketenagalistrikan untuk mendukung pengembangan Investasi*. Retrieved April 10, 2021, from https://gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/64b0e-2020_02_06-kebijakan-esdm-di-bidang-kelistrikan-untuk-mendorong-investasi-esdm.pdf
- Peraturan Daerah D.I. Yogyakarta Nomor 6 tahun 2020 tentang Rencana Umum Energi Daerah Daerah Istimewa Yogyakarta Tahun 2020 – 2050 Diakses dari <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/146550/perda-no-6-tahun-2020>

- Silalahi, D. (2020, April 22). *Why solar energy can help Indonesia attain 100% green electricity by 2050*. The Conversation. Retrieved April 10, 2021, from <https://theconversation.com/why-solar-energy-can-help-indonesia-attain-100-green-electricity-by-2050-134807>
- Wijaya, A., Chrysolite, H., Ge, M., Wibowo, C. K., Pradana, A. L. M. O., Utami, A., & Austin, K. (2017). How can Indonesia achieve its climate change mitigation goal? An analysis of potential emissions reductions from energy and land-use policies. *World Resources Institute. World Resource Inst Work Pap*, 1-36.



Artikel 9

Potensi Biji Tembakau (*Nicotiana tabacum*) Temanggung Sebagai Bahan Baku Pembuatan *Biodiesel*

Millenia Trias Puspa Rukmi

(Universitas Sebelas Maret – UNS, Surakarta)

Sebagian besar energi yang dikonsumsi di dunia berasal dari fosil (minyak bumi, batu bara, dan gas alam). Bahkan menurut penelitian Jahirul dkk tahun 2014 menyebutkan bahwa pasokan dari sumber energi global bergantung pada bahan bakar turunan hidrokarbon sekitar 88%. Di sisi lain bahan bakar fosil ini terbatas dan tidak dapat diperbaharui. Menurut buku Outlook Energi Indonesia (OEI) 2019 yang dikeluarkan oleh Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional pada tahun 2019 dinyatakan bahwa sumber energi fosil di Indonesia hanya akan cukup hingga tahun 2050, yang artinya sumber energi ini akan habis dimasa mendatang. Ketidakstabilan harga bahan bakar fosil, krisis energi menjadi salah satu dorongan untuk beralih ke sumber energi alternatif yang lebih murah dan terbarukan. Selain itu terdapat tuntutan global yang mengharuskan adanya perpindahan sumber energi ini, yang berhubungan tentang pelestarian lingkungan. Hal ini juga meningkatkan adanya penelitian tentang penerapan bioteknologi untuk sumber bahan bakar lain yang lebih ramah lingkungan, memiliki sisa pembakaran yang bersih, dan terbarukan.

Biodiesel merupakan salah satu bahan bakar alternatif yang dihasilkan dari sumber hayati yang terbarukan seperti minyak nabati dan lemak hewani. *Biodiesel* adalah bahan bakar berbasis ester yang memiliki pembakaran yang bersih, yang disintesis dari sumber alami terbarukan seperti minyak nabati murni atau bekas dan lemak hewani

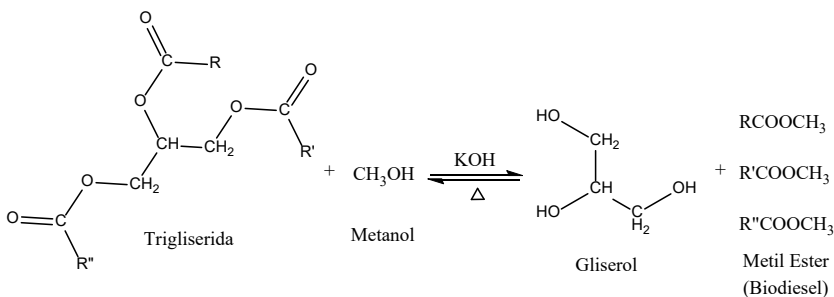
(Sandra dkk., 2021). Proses produksi bahan bakar ini, *biodiesel*, biasanya disebut sebagai transesterifikasi atau alkoholisis. Transesterifikasi sendiri merupakan suatu proses transformasi kimia molekul trigliserida, yang bercabang dari minyak nabati dan lemak menjadi molekul yang lebih kecil, dan berantai lurus, sehingga memiliki struktur yang hampir sama dengan molekul dalam bahan bakar diesel. Trigliserida kemudian akan bereaksi dengan alkohol dengan bantuan katalis sehingga akan menghasilkan alkil ester (Hadrah dkk., 2018).

Salah satu sumber minyak nabati dapat ditemukan dalam biji tanaman. Tanaman yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku pembuatan *biodiesel* adalah biji tembakau (*Nicotiana tabacum*) yang berasal dari kabupaten Temanggung. Temanggung merupakan salah satu kabupaten di provinsi Jawa Tengah yang memiliki kekayaan alam yang melimpah, dan tembakau merupakan salah satu komoditas utama yang digunakan sebagai mata pencaharian warga kabupaten Temanggung (Yasa, 2019). Tembakau Temanggung (*Nicotiana tabacum*) sendiri merupakan salah satu tembakau terbaik di Indonesia yang menjadikan Indonesia sebagai salah satu dari 10 negara penghasil tembakau terbesar di dunia, dengan kemampuan produksi mencapai 2,2% dari total produksi global. Indonesia menempati urutan ketujuh di bawah Amerika Serikat dan Uni Eropa (Daeng dkk, 2011). Tembakau sendiri merupakan tanaman semusim yang bukan termasuk komoditas pangan melainkan komoditas perkebunan. Sejauh ini bagian yang sering dimanfaatkan dari tanaman tembakau adalah bagian daun tembakau, daun tembakau dimanfaatkan sebagai salah satu barang konsumsi yang mengandung zat aditif yaitu rokok (Yuliana dan Andoyo, 2018). Karena produksi daun tembakau hanya dapat diproduksi secara semusim, maka bagian lain yang dapat dimanfaatkan dari tanaman tembakau adalah biji tembakau. Padahal biji tembakau dapat dimanfaatkan sebagai *biodiesel*.

Sebagai upaya untuk memproduksi *biodiesel*, langkah pertama yang perlu dilakukan adalah produksi minyak biji tembakau (TSO) terlebih dahulu. Ekstraksi biji tembakau dilakukan dengan metode ekstraksi menggunakan *soxhlet*. Biji tembakau (*Nicotiana tabacum*) dikeringkan terlebih dahulu kemudian diekstraksi dengan N-heksana hingga larutan

N-heksana menjadi jernih. Hasil ekstraksi yang dihasilkan kemudian dilakukan pemisahan antara minyak biji tembakau (*Nicotiana tabacum*) dengan N-heksana menggunakan *rotatory evaporator* sehingga terjadi denaturasi pada minyak (Agunbiade dkk., 2014). TSO kemudian dilakukan karakterisasi massa jenis, viskositas kinematiknya, flash point, dan residu. Setelah minyak biji tembakau terbentuk, langkah selanjutnya adalah proses esterifikasi. Proses esterifikasi ini dilakukan untuk menurunkan hasil asam lemak bebas (FFA) yang terdapat pada minyak biji tembakau. Esterifikasi ini dilakukan dengan metode refluks dengan adanya penambahan H_2SO_4 dan metanol pada minyak biji tembakau. Hasil yang didapat kemudian dipisahkan dengan corong pisah dimana lapisan atas adalah lapisan asam dan lapisan bawah adalah minyak yang akan dilanjutkan ke proses selanjutnya (Srinivas dkk., 2013).

Proses pembentukan *biodiesel* dilanjutkan dengan proses transesterifikasi menggunakan metanol. Berikut merupakan reaksi yang terjadi pada saat proses transesterifikasi minyak biji tembakau (Hadrah dkk., 2018):



Gambar 1. Reaksi Transesterifikasi Minyak Biji Tembakau

Sebagai upaya dalam peningkatan produksi *biodiesel*, dilakukan efisiensi dari konversi produk *biodiesel* saat proses transesterifikasi dilakukan dengan bantuan gelombang mikro. Gelombang mikro dapat mempercepat laju reaksi dengan cara mengadsorpsi energi secara. Proses percepatan reaksi dengan gelombang mikro ini terjadi dengan adanya pemanasan yang dihasilkan oleh suatu kemampuan material dalam mengubah energi elektromagnetik menjadi energi panas (Knothe

dkk., 2015). Hasil transesterifikasi kemudian dimasukkan kedalam alat sentrifugasi pada 4000 rpm selama 10 menit untuk memisahkan *biodiesel* yang dihasilkan dengan produk samping gliserol. *Biodiesel* yang dihasilkan kemudian dicuci menggunakan akuades hingga pH 7, dan setelah itu dilakukan pemanasan untuk menghilangkan air. *Biodiesel* yang dihasilkan kemudian dianalisis massa jenis dan viskositasnya serta dikarakterisasi menggunakan dengan GC-MS dan FTIR.

Hasil yang didapat dari analisis didapati bahwa sifat minyak biji tembakau (TSO) adalah seperti tabel berikut (Srinivas dkk., 2013):

Tabel 1. Karakterisasi Minyak Biji Tembakau

Parameter	Minyak Biji Tembakau
Massa jenis pada suhu 15°C (g/cm ³)	0,8902
Viskositas Kinematik pada suhu 40°C	4,54 cSt
Flash Point	56°C
Fire Point	82°C
Nilai Kalori Kotor	8600

Rendemen yang dihasilkan dari TSO adalah sebesar 17,78% dimana kadar asam lemak bebas (FFA) yang dihasilkan sebesar 5,92%, dikarenakan hasil ekstraksi minyak biji tembakau mendapati hasil <2% sehingga dilakukan esterifikasi terlebih dahulu sebelum dilakukan transesterifikasi. Massa jenis yang dihasilkan dari TCO sebesar 0,8902 g/cm³, sedangkan hasil viskositas kinematiknya sebesar 4,54 cSt, dimana hasil ini masih tergolong tinggi untuk dijadikan *biodiesel* sehingga proses transesterifikasi dilakukan. Dari hasil yang didapat dari proses transesterifikasi didapati data sebagai berikut (Rachman, 2016) (BSN, 2015):

Tabel 2. Hasil Analisis *Biodiesel* Biji Tembakau

Parameter	Pengujian	SNI 7182:2015
Massa Jenis (g/cm ³)	0,886	0,850-0,890
Viskositas Kinematik (cSt)	3,2	2,3-6,0

Sehingga pada parameter massa jenis dan viskositas kinematik dari *biodiesel* biji tembakau telah memenuhi syarat menurut SNI 7182:2015 tentang *biodiesel*. Sedangkan hasil analisis FTIR dan GC-MS menunjukkan bahwa senyawa *biodiesel* yang dihasilkan dari proses transesterifikasi biji tembakau adalah terdiri dari metil kaprilat, metil pelargonat, metil palminat, metil linoleat, metil palmitolinoleat, metil oleat dan metil stearat.

Sehingga dapat disimpulkan bahwa biji tembakau (*Nicotiana tabacum*) Temanggung memiliki potensi untuk dijadikan sebagai bahan baku pembuatan *biodiesel* di masa mendatang. Atas adanya bantuan pemerintah daerah kabupaten Temanggung dan pemerintah pusat, tembakau Temanggung (*Nicotiana tabacum*) dapat lebih termanfaatkan apabila dilakukan produksi *biodiesel* dengan skala yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- Agunbiade, F.O. and Adewole, T.A., 2014. Methanolysis of Carica papaya seed oil for production of biodiesel. *Journal of Fuels*, 1(1): 1-7.
- BSN. 2015. *Standar Nasional Indonesia 7182:2015 Biodiesel*. Jakarta: BSN.
- Daeng, Salamuddin, dkk. 2011. *Kriminalisasi Berujung Monopoli: Industri Tembakau Dunia di Tengah Pusaran Kampanye Regulasi Anti Rokok Internasional*. Jakarta: Indonesia Berdikari.
- Hadrah, H., Kasman, M. and Sari, F.M., 2018. Analisis Minyak Jelantah Sebagai Bahan Bakar *Biodiesel* dengan Proses Transesterifikasi. *Jurnal Daur Lingkungan*, 1(1): 16-21.
- Jahirul, M., Koh, W., Brown, R., Senadeera, W., Hara, I., dan Moghaddam. L. 2014. *Biodiesel Production from Non-Edible Beauty Leaf (Calophyllum Inophyllum) Oil: Process Optimization Using Response Surface Methodology (RSM)*. *Energies*, 7(8): 5317-5326.
- Knothe, G., Jurgens, K., dan Gerpen, J.V. 2015. *The Biodiesel Handbook: Second Edition*. Urbana: AOCS Press.

- Rachman, A.N., 2016. Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Tembakau Dengan Campuran CaO & SrO Sebagai Katalis Heterogen. *Skripsi*. Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Sandra, S., Susilo, B. dan Aulia, N.I., 2021. Sintesis Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis guineensis*) menjadi Biodiesel Menggunakan Metil Asetat dengan Metode Interesterifikasi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 9(1): 1-10.
- Suharyati., Pambudi, S. H., Wibowo, J. L., dan Pratiwi, P. I. 2019. *Outlook Energi Indonesia (OEI) 2019*. Jakarta: Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional.
- Srinivas,K., Babu, T. S., Rao, B. R., dan Sivarajo, D. K. 2013. Experimental Analysis of Tobacco Seed Oil Blends with Diesel in Single Cylinder Ci-Engine. *International Journal of Engineering Trends and Technology*, 4(10): 4535-4539.
- Yasa, R. M. 2019. Komoditas Tembakau Temanggung. URL: <https://www.kompas.id/baca/utama/2019/07/01/komoditas-tembakautemanggung/>. Diakses 28 April 2021.
- Yuliana, E. and Andoyo, A., Perancangan Sistem Pakar Identifikasi Kualitas Daun Tembakau Berbasis Web Desktop. *JTKSI*, 1(1): 10-13.

*Artikel 10***Menyingkap *Hidden Treasure* Energi dari Jalan Raya****Rifky Wahyu Saputra**

(Institut Teknologi Bandung)

Pernahkah terpikir besarnya potensi energi yang diakibatkan oleh mobilitas masyarakat Indonesia? Apakah memungkinkan adanya pemanfaatan mobilitas menjadi sumber energi yang baru? Sebelum menjawab pertanyaan tersebut, maka setidaknya kita harus mengetahui besarnya tingkat mobilitas masyarakat di Indonesia. Faktanya, berdasarkan data yang dilansir dari Badan Pusat Statistik (BPS), Indonesia memiliki angka pertumbuhan kendaraan bermotor yang termasuk sangat tinggi setiap tahunnya. Dari data pada Tabel 1, bisa dilihat bahwa persentase pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia berkisar antara 5–6% per tahun dengan rata-rata sebesar 6,135%. Tentunya, dari tingginya angka pertumbuhan kendaraan bermotor ini bisa dibayangkan pula besarnya tingkat mobilitas masyarakat Indonesia.

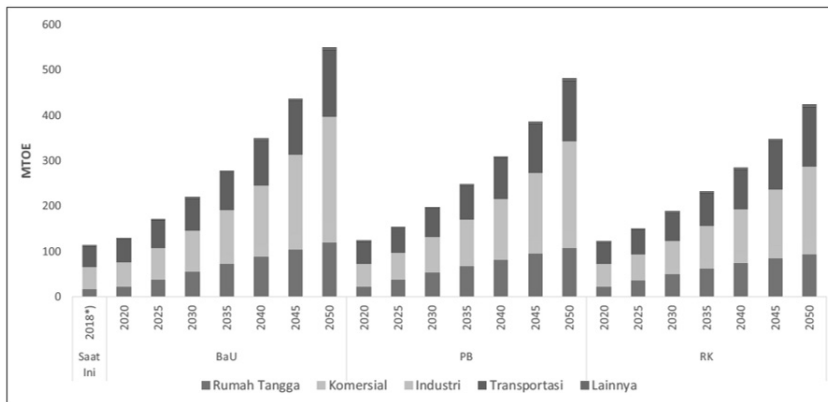
Tabel 1 Persentase pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia

Tahun	Jumlah Kendaraan	Persentase pertumbuhan (%)
2015	105.303.318	-
2016	112.205.711	6,555
2017	118.922.708	5,986
2018	126.508.776	6,379
2019	133.617.012	5,619
Rata-rata persentase		6,135

Sumber : Badan Pusat Statistik (BPS)

Selanjutnya, setelah pembahasan mengenai tingginya angka pertumbuhan jumlah kendaraan di Indonesia, maka kita juga harus melakukan peninjauan dari sisi energi. Berdasarkan Outlook Energi

Indonesia 2019 oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), dapat dilihat bahwa permintaan energi di Indonesia akan semakin meningkat setiap tahunnya. Hal ini bersesuaian dengan grafik yang termuat pada Gambar 1. Selain itu, sejak Montreal Protocol (1997) dilaksanakan dan sudah disepakati oleh sebagian besar negara di dunia, maka pemerintah Indonesia setuju untuk mengurangi penggunaan *refrigerant* yang berpotensi merusak lapisan ozon. Selain itu, pemerintah juga harus berusaha sebaik mungkin untuk mereduksi penggunaan dan konsumsi energi yang menyebabkan polusi dan emisi gas rumah kaca. Dengan latar belakang kedua hal ini, maka penemuan dan eksplorasi sumber energi baru terbarukan serta ramah lingkungan menjadi hal yang sangat penting untuk dilakukan dan dikembangkan kedepannya.

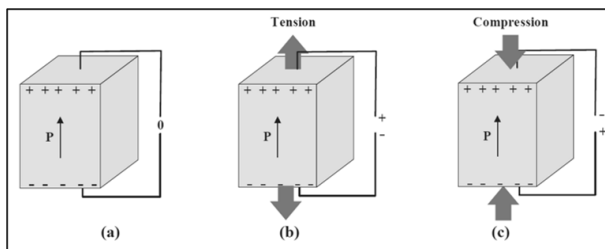


Gambar 1 Grafik jumlah permintaan energi di Indonesia

Setiap kendaraan tentunya memerlukan konsumsi energi untuk menggerakkan mesin dan melepas energinya dalam bentuk lain. Sebagian dari energi yang dilepaskan ini nantinya akan berupa energi mekanik yang mengalir ke jalan raya. Faktanya, terdapat setidaknya 15–21% energi yang ditransfer dari roda kendaraan ke jalan raya (Hendrowati et al., 2012). Tingginya angka transfer energi tersebut juga berarti bahwa sebagian besar energi mekanik yang ditransfer ke jalan raya itu terbuang secara sia-sia tanpa digunakan dan diolah dengan baik. Padahal, bukan tidak mungkin jika jalan raya bisa membuat

energi yang tidak terpakai tersebut melalui teknologi khusus yang bisa mengumpulkan dan mengonversi energi mekanik dari kendaraan menjadi energi listrik. Teknologi ini disebut sebagai perangkat *road pavement energy harvesting* (RPEH) (Duarte et al., 2018).

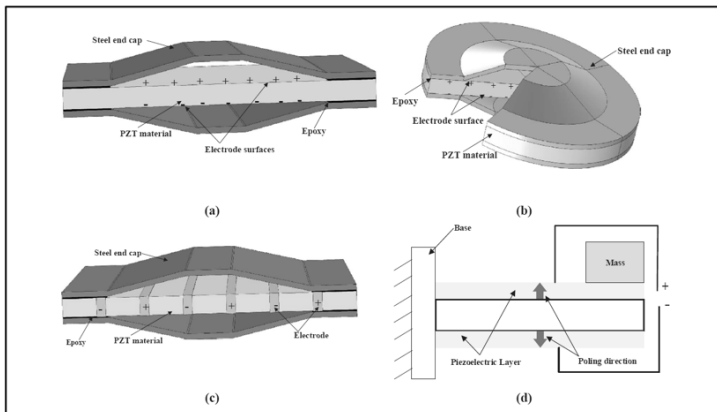
Piezoelektrik hadir sebagai sistem yang paling menjanjikan dari teknologi ini mengingat kemampuan daya yang luas serta kemampuan *output* tegangan yang dihasilkannya (Cook et al., 2008). Berdasarkan literatur, mekanisme teknologi piezoelektrik ini pertama kali ditemukan pada tahun 1880 oleh Pierre dan Jacques Curies (Walubita et al., 2018). Sistem piezoelektrik ini bisa menghasilkan tegangan listrik jika terjadi perubahan (deformasi) mekanis pada jalan raya. Secara khusus, piezoelektrik akan memberikan efek transduksi antara energi listrik dan osilasi mekanis. Jika dibalik, medan listrik yang diterapkan pada bahan piezoelektrik juga bisa menghasilkan tegangan (Beeby et al., 2006). Secara sederhana, material piezoelektrik dapat menghasilkan energi listrik jika dikenai gaya berupa *stress/strain*. *Stress/strain* inilah yang nantinya akan mengubah dimensi dan muatan yang ada dalam piezoelektrik. Adanya tekanan pada material piezoelektrik akan menyebabkan polarisasi (pemisahan) muatan pada sisi-sisinya. Polarisasi muatan inilah yang nantinya akan menghasilkan beda potensial dan akhirnya menimbulkan energi listrik.



Gambar 2 Prinsip kerja material piezoelektrik saat keadaan (a) normal ; (b) tegang ; (c) tertekan

Material piezoelektrik juga dapat diklasifikasi menjadi beberapa bagian seperti *single crystalline material* (contoh: quartz), *piezoceramics* (contoh: *lead zirconate titanate* [PZT]), semikonduktor piezoelektrik

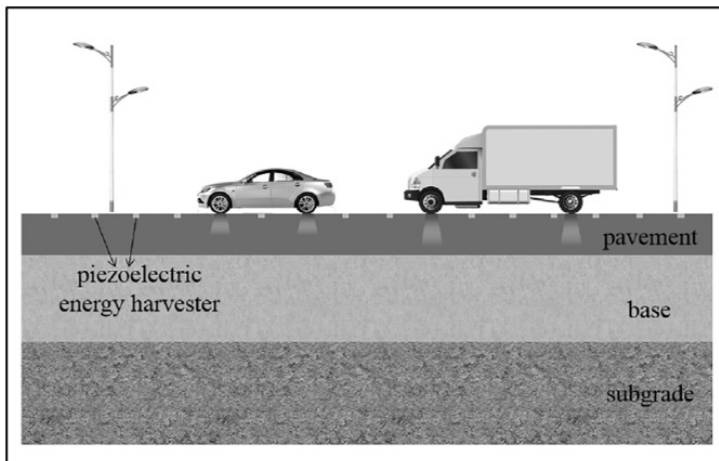
(contoh: ZnO_2), polimer (contoh: *polyvinylidene fluoride* [PVDF]), komposit piezoelektrik, dan keramik kaca (contoh: $Li_2Si_2O_6$, Ba_2TiSiO_6). Meskipun demikian, seluruh jenis piezoelektrik ini memiliki perbedaan pada material dan properti mekanisnya. Jenis yang paling umum digunakan sampai saat ini adalah piezokeramik dan polimer (Wang et al., 2018). Namun, sampai saat ini piezokeramik adalah jenis yang paling sering digunakan sebagai bahan piezoelektrik karena karakteristik bahannya adalah yang terbaik (Cao et al., 2021).



Gambar 3 Konfigurasi transduser dan jenis material PZT: (a) *traditional bridge*; (b) *cymbal*; (c) *layered bridge*; dan (d) *cantilever beam*

Jika berbicara tentang potensi listrik yang mampu dihasilkan oleh material ini, maka kita bisa merujuk pada percobaan yang telah dilakukan oleh beberapa ahli mengenai material piezoelektrik. Papagiannakis et al. (2017) melakukan percobaan dengan memberikan tekanan sebesar 44,48 kN kepada prototipe piezoelektrik dengan dimensi tinggi 6,7 mm dan diameter 42 mm. Hasilnya, material piezoelektrik ini bisa menghasilkan daya listrik hingga 1 W. Lantas, akan seberapa kuat material ini menahan tekanan yang diberikan tanpa merusak strukturnya?. Fakta menunjukkan bahwa material piezoelektrik ini mampu menahan beban hingga 940.000 Pa. Jika dibuat suatu perbandingan, sebuah truk dengan 6 roda hanya memberikan tekanan sebesar 44.500 Pa. Tentunya, tekanan yang diberikan ini memiliki selisih yang sangat jauh jika dibandingkan

dengan ketahanan tekanan material piezoelektrik. (Papagiannakis et al., 2017). Oleh karena itu, kerusakan material merupakan hal yang tidak perlu dikhawatirkan mengingat tingginya angka ketahanan dari material piezoelektrik ini.



Gambar 4 Ilustrasi penerapan material piezoelektrik pada jalan raya

Selanjutnya, pada bagian ini akan dilakukan sebuah simulasi dan penerapan kasus yang berhubungan dengan *output* dari material piezoelektrik. Menurut studi literatur, material piezoelektrik bisa menghasilkan *output* energi listrik hingga $1,9 \times 10^6$ J (Cao et al., 2021). Energi yang dihasilkan ini setara dengan energi yang dibutuhkan oleh 35 *handphone* dengan kapasitas baterai sebesar 3000 mAh. Tetapi, tidak menutup kemungkinan bahwa energi yang dihasilkan piezoelektrik akan menjadi lebih besar, mengingat *output* energi dari material ini bergantung pada kondisi jalan raya.

Salah satu faktor yang memengaruhi besarnya *output* yang dihasilkan oleh material piezoelektrik ini adalah tingginya volume kendaraan dalam suatu jalan raya. Semakin besar volume kendaraan, maka semakin besar pula energi yang dapat dihasilkan oleh material piezoelektrik (Papagiannakis et al., 2017). Sebagai gambaran angka volume lalu lintas, penulis mengambil data yang didapat dari web Jasa

Marga mengenai volume lalu lintas di 16 jalan tol di Indonesia. Data tersebut telah diolah hingga didapatkan data seperti tertera pada Tabel 2. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa volume kendaraan dari tahun 2015–2017 berada pada kisaran 233.000–238.000 dengan rata-rata sebesar 235.933 kendaraan per hari (untuk setiap jalan tol). Selanjutnya, dapat dibayangkan besarnya volume lalu lintas pada suatu jalan protokol kota. Tentunya, angka volume kendaraan pada jalan protokol akan jauh lebih besar, mengingat jalan protokol adalah jalan utama yang dilalui sebagai jalur mobilitas masyarakat. Tingginya angka volume kendaraan ini memberikan kita secercah harapan mengenai besarnya potensi pengembangan sumber energi baru berupa piezoelektrik.

Tabel 2 Volume kendaraan yang melalui 16 jalan tol di Indonesia

Tahun	Jumlah kendaraan yang melalui 16 jalan tol	Rata-rata (dalam sehari) untuk setiap jalan tol
2015	1.374.862.270	235.421
2016	1.366.940.130	233.425
2017	1.395.493.244	238.954
Rata-rata		235.933

Sumber : Volume lalu lintas tahunan oleh Jasa Marga

Sejalan dengan besarnya potensi pengembangan sumber energi baru piezoelektrik, sumber energi ini juga termasuk dalam kategori energi terbarukan. Hal ini didasarkan pada prinsip kerja piezoelektrik yang bersumber dari gerakan kendaraan di jalan raya. Jadi, selama terjadi mobilitas dan gerakan kendaraan di jalan raya, maka piezoelektrik akan tetap menghasilkan energi listrik. Selain itu, penggunaan piezoelektrik bisa menjadi alternatif untuk menghasilkan energi tanpa polusi dan emisi yang berlebihan. Teknologi pengumpulan energi melalui jalan raya ini umumnya aman, ramah lingkungan, dan dapat diandalkan dalam hal memaksimalkan energi mekanik yang terbuang dari kendaraan bermotor. Energi yang dihasilkan oleh piezoelektrik ini sepenuhnya

bersih, dengan nol emisi gas rumah kaca (Walubita et al., 2018)

Selanjutnya, kita bisa melakukan analisis kelayakan ekonomi dalam penggunaan dan pemanfaatan material piezoelektrik sebagai sumber energi. Analisis dapat dilakukan melalui sebuah uji *levelized cost of electricity* (LCOE). LCOE didefinisikan sebagai rasio antara biaya tahunan yang digunakan dalam pembuatan dan pengembangan alat energi terhadap *output* energi tahunan. Berdasarkan studi literatur, material piezoelektrik ini memiliki nilai LCOE yang bervariasi antara \$4.8/kWh–\$19.4/kWh (Papagiannakis et al., 2017). Nilai LCOE material piezoelektrik ini bergantung pada faktor volume jumlah kendaraan yang melalui jalan raya. Tabel 3 menunjukkan adanya hubungan pengaruh volume kendaraan terhadap nilai LCOE.

Tabel 3 Nilai LCOE piezoelektrik dengan variasi volume kendaraan

Jumlah kendaraan (per hari)	20.000	40.000	60.000.	80.000
Nilai LCOE (\$/kWh)	19,40	9,70	6,47	4,85

Dengan seluruh kemajuan teknologi yang ada, bukan menjadi hal yang tidak mungkin untuk bisa mengumpulkan energi dari sumber yang tidak terduga sekalipun. Salah satu contohnya adalah dengan memanfaatkan tingginya angka mobilitas masyarakat di Indonesia menggunakan material piezoelektrik. Material ini dapat ditanamkan pada jalan raya agar mengumpulkan energi dari padatnya lalu lintas. Piezoelektrik ini juga menjadi sumber energi yang patut dikembangkan mengingat besarnya potensi yang ada di Indonesia, selain itu energi ini juga termasuk dalam kategori energi terbarukan yang tidak menghasilkan emisi gas rumah kaca. Analisis ekonomi juga menunjukkan visibilitas dan cerahnya masa depan pengembangan sumber energi piezoelektrik. Namun, untuk selanjutnya akan menjadi sebuah kesia-siaan jika *hidden treasure* ini tidak dikembangkan dan dimanfaatkan dengan maksimal. Oleh karenanya, penelitian dan pengembangan efisiensi material ini masih harus dilakukan agar

mendapatkan hasil yang maksimal. Diharapkan pula esai ini mampu memberikan kontribusi untuk pengembangan material piezoelektrik kedepannya. Jika tidak dimulai dari sekarang untuk mencari sumber energi baru, maka kapan dan siapa yang akan melakukannya?.

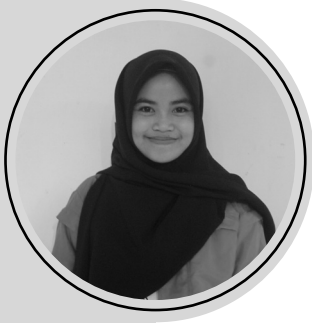
Referensi:

- Hendrowati, W., Guntur, H. L., and Sutantra, I. N. (2012). Design, modelling and analysis of implementing a multilayer piezoelectric vibration energy harvesting mechanism in the vehicle suspension. *Engineering*, 4(11), 728–738.
- Duarte, Fransisco., Adelino F., Paulo F. (2018). Road Pavement Energy-Harvesting Device to Convert Vehicles' Mechanical Energy into Electrical Energy. *Journal of Energy Engineering*, 144(2): 04018003.
- Cook-Chennault, K. A., Thambi N., Sastry A. M. (2008). Powering MEMS portable devices—a review of non-regenerative and regenerative power supply systems with special emphasis on piezoelectric energy harvesting systems. *Smart Mater Struct*, 17: 043001.
- Walubita, L. F., Dagbegnon Clement S. D., Abu N. M Faruk., Sang Ick Lee., Samer D., Xiaodi Hu. (2018). Prospective of Societal and Environmental Benefits of Piezoelectric Technology in Road Energy Harvesting. *Sustainability*, 10(20), 383.
- Beeby S. P., Tudor M J., White N. (2006). Energy harvesting vibration sources for microsystems applications. *Meas Sci Technol*, 17, R175.
- Wang, Hao., Abbas J., Xiaodan C. (2018). Energy harvesting technologies in roadway and bridge for different applications - A comprehensive review. *Applied Energy*, 212, 1083-1094.
- Cao, Yangsen., Aimin Sha., Zhuangzhuang Liu., Jiarong Li., Wei Jiang. (2021). Energy output of piezoelectric transducers and pavements under simulated traffic load. *Journal of Cleaner Production*, 279 : 123508.

- Papagiannakis, A.T., A. Montoya., S. Dessouky., J. Helffrich. (2017). Development and Evaluation of Piezoelectric Prototypes for Roadway Energy Harvesting. *Journal of Energy Engineering*, 143(5): 04017034.
- Jasim, Abbas., Greg Y., Hao W., Ahmad S., Ali M., B. Basily. (2018). Laboratory testing and numerical simulation of piezoelectric energy harvester for roadway applications. *Applied Energy*, 224, 438-447.
- <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/perkembangan-jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-jenis.html> (diakses pada 18 April 2021)
- <https://jasamarga.com/public/id/hubunganinvestor/kinerjaperusahaan/volumelalulintas.aspx> (diakses pada 18 April 2021)

Artikel 11

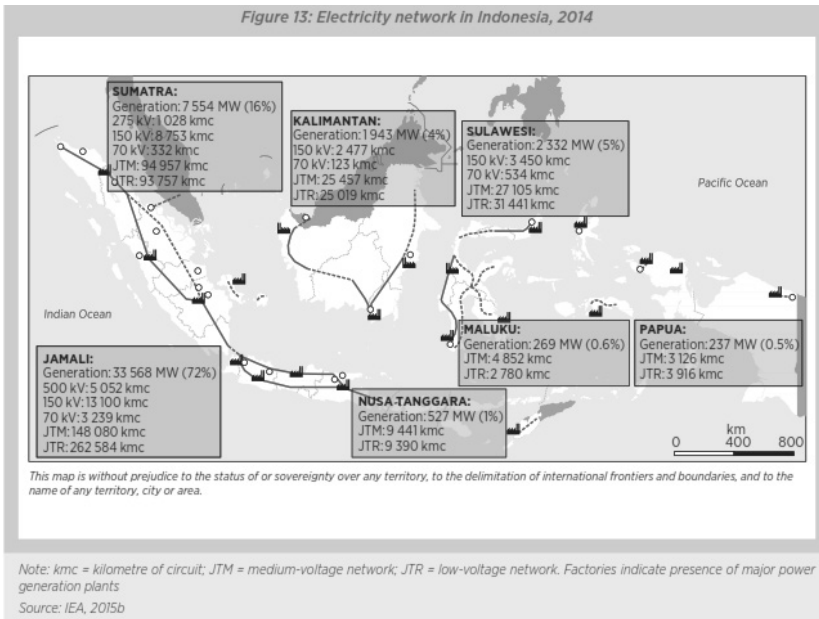
Indonesia, Listrik, dan Solar PV



Irma Magfirah

(Institut Teknologi Bandung – ITB)

Konsumsi listrik Indonesia akan meningkat tajam hingga 3 kali lipat di tahun 2030 (IRENA, 2017). Meningkatnya populasi menjadi aktor utama penyebab tingginya konsumsi listrik Indonesia. Lalu menjadi pertanyaan besar bagi bangsa kita, bagaimana kualitas listrik Indonesia terkini? Untuk mencari jawabannya, mari kita perhatikan gambar berikut:



Terlihat bahwa kelistrikan Indonesia berpusat di Jawa dan Sumatera, dengan sebagian kecil tersebar di beberapa pulau lainnya. Ketimpangan jelas terlihat. Meski rasio elektrifikasi Indonesia mencapai 99,20% (ESDM, 2020), ada sebuah catatan penting mengenai kualitas listrik Indonesia patut diperhitungkan. Setidaknya itu yang dikatakan oleh Fabby Tumiwa, Direktur Eksekutif *Institute for Essential Services Reform* (IESR) dalam sebuah diskusi online. Pihaknya mengaku melakukan model pengukuran *multi-tier framework* (MTF) untuk mengukur akses listrik rumah dengan fokus pada kualitas listriknya yakni dari segi durasi ketersediaan listrik, kecukupan listrik, dan kegunaan listrik. Makin besar nilai Tier, maka makin baik kualitas listrik di daerah tersebut. “Hasil yang didapat ialah Tier daerah Jawa (sebagian besar) berkisar 4-5, sedangkan NTT hanya berkisar 1-2”, tutur Fabby.

Selanjutnya, kualitas listrik Indonesia dapat dipandang dari sektor lingkungan. Berdasarkan RUPTL, setidaknya hingga tahun 2028 bauran pembangkit listrik masih didominasi oleh energi fosil sebanyak 77% dengan 54,6 % diantaranya berasal dari batubara. Sementara itu pemerintah pun berencana menambah kapasitas PLTU batu bara sebanyak hampir dua kali lipat dari kapasitas yang tengah beroperasi sekarang. Dari situ, ditaksir emisi gas rumah kaca (GRK) yang dihasilkan mencapai 330 juta ton per tahun. Tentunya rencana tersebut kontras dengan keikutsertaan Indonesia dalam Perjanjian Paris dengan komitmen target penurunan emisi GRK sebesar 29% di tahun 2030.

Menindaklanjuti pertanyaan mengenai kualitas listrik Indonesia terkini, hal yang patut dipertanyakan selanjutnya ialah apa yang bisa Indonesia lakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut? Salah satu langkah tepat yang mungkin dilakukan ialah dengan mengoptimalkan potensi Solar PV di Indonesia.

Solar Photovoltaics (Solar PV) atau awam disebut sebagai panel surya, ialah komponen yang mengubah sinar matahari menjadi listrik. Sebagai negara dengan topografi tropis, Indonesia memiliki potensi besar di sektor energi surya. Pemasangan solar PV secara masif akan sangat menguntungkan, mengingat Indonesia disinari matahari sepanjang tahun. REmap (Renewable Energy Roadmap), program yang

mencari potensi energi terbarukan (EBT) di seluruh dunia, dengan optimis menyatakan bahwa energi yang dapat direalisasikan dari Solar PV di Indonesia mampu mencapai 47 GW di tahun 2030. Angka tersebut jauh dari proyeksi Business As Usual (BaU) yang hanya berkisar di 9 GW pada tahun yang sama. Di sebuah penelitian lain, ditemukan bahwa energi solar berpotensi menghidupi pembangkit listrik sebanyak 640,000 Terrawatt-hours (TWh) setiap tahunnya. Proyeksi di tahun 2050, Indonesia mampu mencapai 100% listrik hijau dengan pemanfaatan solar PV yang optimal. Sayangnya, penggunaan energi solar saat ini belum efektif, tercatat energi solar hanya berkontribusi sebesar 1,7% dari total produksi listrik tahun 2020. Berdasar RUPTL di tahun 2030, potensi energi surya Indonesia baru dimanfaatkan sebesar kurang dari 1% dari potensi yang ada. Lantas, langkah apa yang bisa kita lakukan agar optimasi tersebut berjalan? Akan dijabarkan selanjutnya.

Berikut dijelaskan beberapa faktor yang perlu menjadi pertimbangan dan perhatian dalam mengoptimalkan potensi energi surya di Indonesia:

1. Topografi Indonesia

Tingginya angka penduduk membuat konsumsi listrik di Indonesia sangat tinggi, tidak main-main, jumlahnya berada di angka 1 megawatt-hour per kapita di tahun 2019. Kedepannya tentu akan terus bertambah. Untuk memenuhi kebutuhan listrik yang kian membludak, solar PV dianggap jawaban yang tepat mengingat sinar matahari di Indonesia tersedia sepanjang tahun. Solar PV merupakan sumber daya dengan potensi paling tinggi di Indonesia, yakni sekitar 532,6 GW (IRENA, 2017). Meski begitu, keberadaan sumber daya ini tidak merata diseluruh negeri, melainkan akan lebih tinggi nilainya pada daerah-daerah Timur.

2. Strategi Lokasi Instalasi Solar PV di Indonesia

Dengan bentang alam yang luas, lokasi instalasi solar PV di Indonesia seharusnya tidak menjadi masalah. Dalam rangka memenuhi target 2050 (100% listrik-hijau) diperlukan setidaknya 8,000 km² lahan pemasangan, luas daerah tersebut kurang lebih hanya 0,4% dari total

daratan Indonesia. Bila daratan tidak tersedia, alternatif instalasi dapat diletakkan di daerah perairan. Secara signifikan, lokasi instalasi Solar PV dapat dilakukan sebagai berikut:

- a. Instalasi solar PV pada sebagai sumber energi listrik bagi pabrik
- b. Instalasi solar PV pada atap perumahan atau bangunan komersial. Pemasangan solar PV dengan tipe lokasi seperti ini dianggap efisien digunakan untuk pemakaian listrik skala rumah tinggal atau keperluan komersial lainnya. Selain ramah lingkungan, penggunaannya dapat menghemat tempat dan aksesnya pun mudah. Terutama pada skala rumah tangga, dengan tingkat pemakaian energi terbanyak pada listrik contohnya untuk keperluan penerangan, pendingin ruangan, memasak, dll.
- c. Instalasi solar PV sebagai pengganti pembangkit listrik pada daerah terpencil sebagai pengganti pembangkit listrik tenaga diesel yang mahal. Potensi PLTS off-grid telah diperkirakan oleh ESDM sebesar 2,1 GW, dengan potensi terbesar diwakili oleh Maluku & Papua (0,95 GW) dan Sulawesi & Nusa Tenggara (0,42 GW) (IRENA, 2017). Langkah ini tepat menjadi solusi bagi masalah tidak meratanya kualitas listrik di Indonesia khususnya pada daerah Timur Indonesia seperti Nusa Tenggara, Maluku, dan Papua

3. Turunnya biaya investasi solar PV dunia

Biaya investasi solar PV turun sebesar 70% dalam satu dekade terakhir (SEIA, 2020). Solar PV terbukti menjadi sumber listrik termurah yang ada dalam sejarah dan berhasil mengurangi biaya investasi dalam jumlah yang signifikan. Hal ini mengindikasikan peluang pengembangan solar PV semakin meningkat dengan target pasar yang menjanjikan. Tren penggunaan tenaga surya ini pun meningkat di banyak negara seperti California, Amerika Serikat, dll. Turunnya biaya juga dibarengi dengan waktu instalasi yang cukup singkat yaitu sekitar 2 tahun, durasi tersebut lebih singkat bila dibandingkan waktu instalasi pembangkit listrik tenaga batu bara yaitu sekitar 3 tahun.

Diketahui salah satu kendala bagi solar PV yaitu dibagian penyimpanan energi. Namun rupanya, biaya investasi yang turun juga dibarengi dengan turunnya harga baterai sebagai penyimpanan dari energi surya. Tercatat harga baterai turun sebesar 87% sejak 2010, menjadi \$ 156 / kWh pada 2019. Harga diperkirakan akan terus turun menjadi \$ 61 / kWh pada tahun 2030. Selain baterai, alternatif lain untuk penyimpanan energi surya yaitu menggunakan penyimpanan energi hidro yang dipompa. Alternatif ini mampu menampung listrik saat matahari sedang cerah dan mampu mendistribusikannya dengan cepat bahkan ketika pembangkit listrik mengalami kendala seperti listrik terputus atau saat cuaca mendung. Di Indonesia sendiri, terdapat sekitar 26.000 situs Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) yang memiliki jumlah kapasitas penyimpanan sebanyak 820 TWh. Jumlah ini lebih dari cukup untuk memenuhi kebutuhan pendukung pembangkit listrik tenaga surya atau solar PV di Indonesia

4. Hambatan yang perlu dipertimbangkan dan solusinya

Bersama dengan potensi solar PV yang telah dijabarkan sebelumnya, masih terdapat beberapa kendala dalam realisasi penggunaan solar PV di Indonesia. Beberapa hambatan tersebut diantaranya:

- a. Belum adanya sistem kontrol yang efektif terkait pemanfaatan solar PV

Di Indonesia, seperti layaknya negara-negara lain di ASEAN, belum ada sistem kontrol yang baik untuk membuka sistem sumber energi listrik yang baru. Menurut Fabby Tumiwa, direktur eksekutif IESR, belum ada lembaga pengambil kebijakan dan regulasi yang mendorong pengembangan EBT dibawah pemerintahan saat ini. Sedangkan PLN sebagai perusahaan utilitas listrik utama di Indonesia yang mengoperasikan dan memonopoli transmisi listrik di negara ini pun lebih mengandalkan sumber bahan bakar fosil dengan dalih lebih murah dan dapat diandalkan dibandingkan EBT

- b. Minimnya pasar yang berminat terhadap penggunaan solar PV.

Tingginya tarif investasi solar PV dalam negeri menjadi faktor penghambat yang berdampak cukup signifikan bagi kemajuan energi surya di Indonesia. Salah satu penyebab tingginya tarif ialah belum adanya kebijakan efektif yang mendukung pengembangan EBT di Indonesia.

Dari beberapa hambatan tersebut solusi yang bisa diajukan penulis ialah:

- a. Dibentuknya suatu lembaga yang khusus membawahi kontrol terkait regulasi dan kebijakan EBT di Indonesia. Memandang langkah sukses yang dilakukan India, pemerintah Indonesia dirasa perlu membentuk kementerian khusus yang fokus membawahi pengembangan EBT disana. Diharapkan dengan adanya lembaga tersebut, dapat tercipta regulasi yang fokus dengan komitmen yang kuat untuk mendorong penggunaan energi listrik di Indonesia.
- b. Beberapa kebijakan dan regulasi yang dirasa perlu untuk dikeluarkan dalam rangka mengoptimalkan potensi EBT di Indonesia ialah:
 - Pemberian insentif finansial bagi BUMN atau perusahaan distribusi listrik seperti PLN, untuk mengembangkan pemanfaatan energi surya. Insentif diharap mampu membangkitkan pasar EBT dan mendorong turunnya tarif listrik sehingga dapat lebih murah daripada listrik hasil PLTU batubara. Pemberian insentif tersebut juga perlu dibarengi dengan instrument pendanaan yang lebih inovatif (IESR, 2018)
 - Menerapkan sistem *gross-net metering* dikombinasikan dengan subsidi finansial dan insentif fiskal sehingga tarif yang dikeluarkan oleh konsumen akan lebih murah. *Gross-net metering* sendiri ialah salah satu mekanisme penggunaan solar PV atap rumah yang memiliki ciri energi yang didapat dari solar PV dibawa ke sumber jaringan terdekat untuk kemudian didistribusikan ke masing-masing rumah. Tarif yang dibayar oleh konsumen ditentukan berdasarkan otoritas negara yang bersangkutan. Dengan kombinasi mekanisme tersebut dengan

subsidi finansial dan insentif fiskal maka diharap mampu mendorong minat masyarakat pada instalasi solar PV di atap rumah.

- c. Melibatkan peran Lembaga Swadaya Masyarakat (LSM) untuk memantik semangat masyarakat dalam beralih ke EBT salah satunya solar PV atap rumah. Pendekatan sosial akan lebih ampuh dilakukan bila yang saling mengajari ialah dari masyarakat itu sendiri. Dari sini, diharapkan masyarakat dapat terbina dan tertarik untuk menggunakan EBT sebagai sumber energi utama.

Akhir kata masalah kelistrikan di Indonesia telah memiliki potensi solusi yang terbuka lebar di depan mata. Apalagi kalau bukan solar PV. Tinggal kita yang perlu optimis dalam memadang masa depan dan potensi yang ada. Dengan komitmen yang kuat, diharapkan rencana pengembangan EBT tidak hanya rencana belaka namun dapat direalisasikan secara efektif.

DAFTAR PUSTAKA

- <https://theconversation.com/why-solar-energy-can-help-indonesia-attain-100-green-electricity-by-2050-134807>
- <https://www.dw.com/id/indonesia-butuh-lebih-dari-sekadar-pemerataan-listrik/a-54360424>
- <https://www.greenpeace.org/indonesia/siaran-pers/44452/5-tahun-perjanjian-paris-indonesia-memperburuk-krisis-iklim/>
- <https://indonesien.ahk.de/id/infocenter/berita/berita/for-indonesias-renewable-energy-solar-pv-leads-the-way>
- <https://www.dw.com/id/program-energi-terbarukan-pulihkan-ekonomi-indonesia/a-53873736>
- <https://indonesien.ahk.de/id/infocenter/berita/berita/for-indonesias-renewable-energy-solar-pv-leads-the-way>
- <https://solarmagazine.com/solar-profiles/indonesia/>



Artikel 12

Potensi Limbah Pertanian Sebagai Energi Terbarukan

Irfan Nugroho

(Universitas Muhammadiyah, Malang)

Berdasarkan letak Indonesia secara astronomis, yaitu terletak di 6° LU (Lintang Utara) - 11° LS (Lintang Selatan) dan 95° BT (Bujur Timur) - 141° BT (Bujur Timur) membuat Indonesia memiliki iklim tropis. Dengan memiliki iklim tropis, Indonesia menjadi negara yang cocok untuk semua jenis pertanian. Hal ini membuat Indonesia menjadi negara agraris dimana mayoritas penduduknya memiliki mata pencaharian di bidang pertanian. Sebagai negara yang memiliki iklim tropis, produk pertanian yang dimiliki Indonesia sangatlah beragam. Mulai dari buah-buahan, sayuran, rempah-rempah, padi, gandum, dan masih banyak lagi.

Berdasarkan data yang dikeluarkan oleh Kementerian Pertanian, luas lahan pertanian yang bukan sawah pada tahun 2019 memiliki luas 29.353.138 Ha. Sementara luas lahan sawah pada tahun yang sama di Indonesia memiliki luas 7.463.948 Ha. Lahan pertanian yang dimiliki Indonesia masuk pada peringkat 25 besar dunia. Dengan memiliki lahan pertanian yang sangat luas, Indonesia akan sering sekali mengalami masa panen tergantung dari produk-produk yang ditanam. Produk-produk yang ditanam pun juga berbeda-beda tergantung dari tipe tanah dan juga iklim daerah tersebut. Dengan beragamnya produk tersebut dan luasnya lahan yang dimiliki oleh Indonesia, pastinya akan menghasilkan limbah hasil pertanian yang sangat banyak.

Limbah hasil pertanian merupakan hasil buangan yang tidak terpakai dari industri pertanian. Limbah tersebut terkadang dibakar oleh petani untuk menghilangkan limbah tersebut. salah satu contohnya adalah limbah dari hasil sawah seperti jerami yang dibakar sesuai panen. Walaupun ada beberapa yang menjual atau mendaur ulang limbah tersebut untuk menjadi sesuatu yang lain. Sangat disayangkan apabila limbah-limbah tersebut dibiarkan dibakar begitu saja, dimana seharusnya dapat digunakan sebagai tenaga pembangkit listrik.

Saat ini, sudah banyak sumber energi yang dapat diperbarui. Mulai dari energi terbarukan panas bumi, cahaya matahari, gelombang laut, angin, dan biomassa. Energi terbarukan merupakan sumber energi yang berasal dari aktifitas alam yang berkelanjutan, sehingga sumber energi tersebut dapat terus tersedia oleh alam.

Berdasarkan penjelasan diatas, Indonesia memiliki potensi yang sangat besar dalam sumber energi terbarukan biomassa. Biomassa termasuk salah satu sumber energi yang dapat diperbaharui. Biomassa adalah bahan organik yang dihasilkan melalui proses fotosintesis, baik berupa produk maupun buangan (Parinduri, & Parinduri, 2020). Contoh biomassa antara lain adalah tanaman, pepohonan, rumput, ubi, limbah pertanian, limbah hutan, tinja, dan kotoran ternak (Parinduri, & Parinduri, 2020). Berdasarkan pendapat tersebut, limbah pertanian termasuk dalam biomassa dimana dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan.

Indonesia memiliki banyak sumber daya yang berpotensi sebagai energi terbarukan. Salah satu potensi tersebut merupakan sumber energi biomassa. Selain menjadi sumber energi, penggunaan biomassa sebagai energi terbarukan memiliki beberapa manfaat. Dengan memakai limbah pertanian, tentu saja hal ini membantu mencegah polusi dari pembakaran limbah pertanian yang tidak terpakai oleh para petani. Pemakaian limbah pertanian juga dapat membuat tambahan pendapat bagi para petani. Limbah yang semula tidak terpakai oleh para petani dapat mereka jual nantinya. Selain itu, limbah pertanian juga sangat mudah untuk dicari dan didapatkan dalam jumlah banyak. Limbah pertanian pastinya akan dijual oleh para petani dengan harga yang

terjangkau. Hal tersebut membuat limbah pertanian menjadi sumber daya yang cukup potensial mulai dari ketersediaannya hingga anggaran yang harus dikeluarkan.

Dengan pertimbangan-pertimbangan tersebut, dapat dikatakan potensi limbah pertanian sebagai energi terbarukan cukup baik di Indonesia. Bahkan dapat dipertimbangkan untuk membangun Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa (PLTBm) berskala besar yang menggunakan sumber daya limbah pertanian. pembangkit listrik dengan tenaga biomassa memiliki beberapa keunggulan dibanding pembangkit listrik lainnya. Menurut Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (2015), beberapa keunggulannya adalah sebagai berikut :

- a. Dibandingkan dengan sistem pembangkit lainnya Biomass merupakan sumber energi yang murah, karena untuk memperoleh bahan bakunya sangat mudah.
- b. Timbunan sampah dapat menghasilkan emisi GRK (Gas Rumah Kaca) berupa gas metana yang cukup besar yang dapat menyerap radiasi matahari di atmosfer sehingga menyebabkan suhu permukaan bumi menjadi panas, dengan pengembangan sistem pembangkit energi biomassa ini maka jumlah sampah dapat diminimalisasikan, sehingga pengaruh GRK terhadap suhu permukaan bumi dapat dikurangi.
- c. Biomassa dapat mengurangi jumlah sampah yang dapat mencerminkan lingkungan sekitar.
- d. Mempunyai sumber yang selalu baru (merupakan jenis energi terbarukan).
- e. Sumber energi mempunyai jumlah cadangan sangat besar.
- f. Teknologi pengolahannya tidak terlalu rumit.

Selain memiliki keunggulan dibanding pembangkit listrik yang lainnya, pembangkit listrik tenaga biomassa juga memiliki beberapa keuntungan. Beberapa keuntungan tersebut dijelaskan oleh Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan (2015) sebagai berikut :

- a. Biomassa merupakan energi terbarukan.
- b. Biomassa dikenal sebagai zero CO₂ emission, dengan kata lain tidak menyebabkan akumulasi CO₂ di atmosfer.

c. Biomassa merupakan energi yang ramah lingkungan

Energi terbarukan tenaga biomassa memang sudah mulai diterapkan di Indonesia. Namun, melihat banyaknya limbah pertanian di Indonesia, hal ini dapat menjadi potensi yang sangat besar sebagai sumber energi terbarukan yang berlimbah dan juga terjangkau. Selain itu, sumber energi ini juga memberikan banyak manfaat, baik itu bagi petani, dan juga lingkungan.

Daftar Pustaka

- Kebudayaan, K. P. D. (2015). *Pembangkit Listrik Tenaga Biomassa*. Modul Pengembangan Keprofesian Berkelanjutan, 8(1), 1-274.
- Parinduri, L., & Parinduri, T. (2020). Konversi Biomassa Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *JET (Journal of Electrical Technology)*, 5(2), 88-92.
- Pertanian, S. J. K. (2020). *Statistik Lahan Pertanian Tahun 2015-2019*. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. Jakarta : Sekretariat Jenderal Kementerian Pertanian.



Artikel 13

Benarkah Rumput Laut Menjadi Energi Baru dan Terbarukan yang Berprospek Cerah di Indonesia?

Ilham Wahyudi

(Teknik Elektro, Universitas Riau)

Pendahuluan

Setiap tahunnya kebutuhan energi nasional diprediksi akan mengalami peningkatan sebesar 7%, hal ini didukung oleh pernyataan PT Pertamina bahwa tahun 2025 diperkirakan total kebutuhan energi akan naik menjadi 2,41 miliar SBM (Setara Barel Minyak) atau meningkat 60% dari total kebutuhan energi nasional tahun 2018 yang mencapai 1,5 miliar SBM (Outlook Energi Indonesia, 2020). Untuk mengatasi itu pemerintah gencar mengembangkan penggunaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) dalam upaya menekan penggunaan energi konvensional yang semakin hari semakin sedikit ketersediaanya di alam.

Pada tahun 2025 penggunaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) telah ditetapkan pemerintah sebesar 26% dari total kebutuhan energi nasional. Akan tetapi, hingga saat ini produksi Energi Baru dan Terbarukan (EBT) masih belum maksimal. Selama ini penggunaan bahan bakar fosil telah menimbulkan berbagai masalah diantaranya :

- a) Polusi udara akibat meningkatnya kadar karbon dioksida (CO₂) dan sulfur dioksida (SO₂) yang dapat menyebabkan efek rumah kaca, menipisnya lapisan ozon, dan hujan asam.
- b) Harga bahan bakar yang tidak stabil karna sangat dipengaruhi oleh kebijakan OPEC.
- c) Pertambangan batu bara dapat merusak wilayah dan

keseimbangan ekologi serta sangat berbahaya bagi pekerja tambang.

Untuk mengatasi krisis energi nasional dan mengurangi pencemaran lingkungan, solusi yang sangat tepat dan bijaksana adalah dengan mengembangkan dan meningkatkan produksi bioethanol. Terdapat beberapa jenis tumbuhan yang mengandung selulosa tinggi dan dapat dijadikan sebagai sumber bioethanol seperti sawit, jarak, singkong, sorgum, kelapa, dan jagung. Akan tetapi, tanaman tersebut membutuhkan lahan yang cukup luas dan pemanfaatan yang lebih diprioritaskan sebagai tanaman pangan. Apabila melihat potensi negara Indonesia sebagai negara kepulauan yang memiliki luas lautan sekitar 2/3 dari keseluruhan luas wilayahnya maka alternatif tanaman yang dapat dimanfaatkan untuk bioethanol adalah rumput laut.

Nofriya (2015) mengemukakan bahwa Indonesia mempunyai sekitar 555 jenis dari 8.642 spesies rumput laut yang terdapat didunia dengan luas habitat rumput laut sekitar 1,2 juta ha.

Sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT)

Sumber energi adalah segala sesuatu yang ada disekitar kita yang dapat menghasilkan energi secara langsung maupun tidak langsung baik berupa minyak dan gas, batu bara, air, panas bumi, biomasa, dan sebagainya. Sebagian besar atau sekitar 90% pasokan energi dunia berasal dari bahan bakar fosil, akibatnya ketersediaan energi yang berasal dari bahan bakar fosil semakin sedikit dan suatu saat nanti akan habis, bahkan pemakaian bahan bakar fosil juga memberikan dampak negatif terhadap lingkungan seperti hujan asam, efek rumah kaca dan pemanasan global. Berdasarkan dampak negatif tersebut diperlukan energi terbarukan yang dapat menekan penggunaan bahan bakar fosil dalam jumlah besar dan menghasilkan energi yang ramah lingkungan.

EBT juga dijelaskan dalam peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 pasal 1 ayat 4 mengenai kebijakan energi nasional, disitu dijelaskan bahwa energi terbarukan didefinisikan sebagai sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang secara alamiah tidak akan habis dan dapat berkesinambungan jika dikelola dengan baik, antara

lain biofuel, panas bumi, aliran air sungai, angin, panas surya, biogas, biomasa, suhu kedalaman laut, dan ombak laut. Salah satu jenis bahan bakar nabati atau biofuel yang dapat dikembangkan untuk menggantikan bahan bakar fosil adalah bioethanol. Bioethanol dibuat dari bagian tanaman yang mengandung kandungan gula, pati atau selulosa yang tinggi melalui proses biologi (enzimatik dan fermentasi) yang kemudian didapatkan etanol murni untuk dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Negara Brazil telah berhasil menggunakan ethanol sebagai bahan bakar kendaraan bermotor dengan total penggunaan 40% secara nasional dan USA yang telah berhasil memasarkan bahan bakar E85 dengan kandungan ethanol 85%(Susanto, *dkk*, 2015). Berdasarkan pengalaman dari negara lain, sudah saatnya Indonesia mengembangkan dan meningkatkan produksi bioethanol. Jenis tanaman dengan potensi sangat besar untuk dikembangkan sebagai bioethanol adalah rumput laut. Sekitar 2/3 dari keseluruhan wilayah Indonesia merupakan wilayah perairan dengan panjang pantai sekitar 81.000 km memberikan prospek yang cerah untuk meningkatkan budidaya rumput laut sebagai sumber energi terbarukan.

Berglihn (2012) dan Nofriya (2015) mengemukakan beberapa keuntungan rumput laut sebagai bahan baku bioethanol, yakni kadar kandungan selulosa tinggi, tidak mengandung lignin, dan tidak memerlukan tanah untuk berkembang serta rumput laut tahan terhadap panas dan tidak mudah terbiodegradasi.

Rumput Laut

Rumput laut merupakan salah satu tumbuhan laut yang termasuk dalam golongan makroalga benthic atau ganggang yang umumnya hidup melekat di perairan dan tergolong dalam divisi *thallophyta*. Berdasarkan kandungan pigmennya, rumput laut diklasifikasikan menjadi empat yaitu rumput laut hijau, rumput laut merah, rumput laut coklat, rumput laut pirang.

Harvey (2009) mengemukakan bahwa secara kimia rumput laut terdiri dari air (27,8%), protein (5,4%), karbohidrat (33,3%), lemak

(8,60%), serat kasar (3,0%) dan abu (22,25%). Sedangkan Suriawiria (2003) dan Nofriya (2015) menyatakan dalam uji proksimat yang dilakukan pada limbah rumput laut kering diperoleh presentasi kadar air (11,28%), abu(36,05%), lemak(0,42%), protein(1,86%), serat kasar(8,96%), dan karbohidrat(41,43%). Sehingga secara kimia terbukti bahwa rumput laut memiliki kandungan selulosa yang tinggi dan sangat sesuai digunakan sebagai bioethanol.

Rumput laut berpotensi lebih besar dibandingkan bahan baku tebu dalam pengembangan bioethanol. Hal ini dibuktikan dengan Data survey yang menunjukkan ketersediaan lahan di luar Jawa yang sesuai untuk budidaya tebu sekitar 750 ribu ha. Luasan ini lebih kecil dibandingkan potensi lahan budidaya rumput laut yang mencapai 2,1 juta ha (Dyah, 2014). Masa budidaya rumput laut sampai dapat dipanen hanya sekitar 2 bulan dengan produktivitas rata-rata 25/ton/ha/panen tentu lebih prospektif dibandingkan masa budidaya tebu yang berkisar lebih dari 1 tahun dengan produktivitas rata-rata 80 ton/ha/panen. Pemakaian rumput laut sebagai bahan dasar pembuatan bioethanol mempunyai keuntungan waktu budidaya yang lebih efisien dan daya produksi yang relatif tinggi dibandingkan menggunakan tebu, singkong, ubi jalar, dan jagung sebagai bahan dasar bioethanol.

Proses Pengolahan Rumput Laut

Dyah(2014) mengemukakan secara umum proses pengolahan rumput laut sebagai berikut :

1. Persiapkan bahan dasar yaitu rumput laut, yang berupa proses hidrolisis karbohidrat menjadi glukosa. Hidrolisis karbohidrat merupakan proses pemecahan molekul amilum menjadi bagian – bagian molekul yang lebih kecil lagi seperti dekstrin, isomaltosa, maltose, dan glukosa (Rindit, *dkk*, 1998)
2. Langkah selanjutnya yaitu proses fermentasi, mengubah glukosa menjadi etanol dan CO₂. Secara umum proses fermentasi karbohidrat terdiri dari :
 - a. Pemecahan karbohidrat (pati) menjadi gula pereduksi.
Pemecahan karbohidrat menjadi gula pereduksi karna

- difermentasi oleh enzim *diastase* dan *zymase* yang terkandung dalam ragi.
- b. Gula yang direduksi berubah menjadi etanol. Perubahan gula pereduksi menjadi etanol dilakukan oleh enzim invertrase, yaitu enzim kompleks yang terkandung dalam ragi
 - c. Fermentasi asam asetat merupakan kelanjutan dari proses fermentasi alkohol. Proses dimulai dari pemecahan gula menjadi alkohol, kemudian alkohol menjadi asam asetat
3. Pemurnian hasil dengan cara distilasi sehingga didapat hasilnya etanol murni yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan bakar.

Kesimpulan

Kebutuhan energi nasional setiap tahun mengalami peningkatan yang signifikan sehingga pengembangan sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT) menjadi suatu keharusan. Rumput laut mempunyai harapan yang cerah sebagai sumber bioethanol dikarenakan 2/3 dari luas wilayah Indonesia merupakan lautan dan kecenderungan produksi rumput laut nasional menunjukkan kenaikan yang tinggi. Selain itu, budidaya rumput laut tidak akan mengurangi luas lahan untuk budidaya tanaman pangan. Pengolahan rumput laut cukup sederhana dan dapat dilakukan dalam skala besar yang terdiri dari proses hidrolisis pati menjadi glukosa, proses fermentasi, dan pemurnian dengan distilasi.

Hal ini sudah cukup jelas bahwa rumput laut menjadi salah Energi Baru dan Terbarukan yang sangat berpotensi dan menjadi energi alternatif yang ramah lingkungan, serta dalam hal ini Indonesia harus bersiap dan lebih gencar lagi dalam pengembangan rumput laut sebagai EBT karena wilayah negara kita yang sangat tepat untuk budidaya rumput laut.

Daftar Referensi

- Dyah, B. 2014. ***Rumput Laut : Sumber Energi Alternatif***. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, diakses tanggal 11 April 2021, <www.esdm.go.id>.
- Harvey, F. 2009. ***Produksi Etanol dari Limbah Karaginan***. Skripsi Departemen Teknologi Hasil Pertanian, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Institut Pertanian Bogor.
- International Energy Agency. *n.d.* ***What is Energy Security?***, diakses tanggal 11 April 2021, <<https://www.iea.org/topics/energysecurity/whatisenergysecurity/>>
- Nofriya. 2015. ***Pendayagunaan Sumberdaya Genetik Rumput Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif di Masa Depan***. Jurnal Teknik Lingkungan UNAND, Vol. 12, No. 1, hh. 38-47.
- Okezone.com. 2015. ***Waspadai Krisis, Kebutuhan Energi Nasional 2025 Capai 2,41 Bbod***. Diakses tanggal 15 April 2021, <http://m.okezone.com/read/2015/11/25/320/1255817/waspadai_krisis-kebutuhan-energi-nasional-2025-capai-2-41-bbod>.
- Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional.
- Rindit, Pambaylun, dkk 1998. ***Laporan Penelitian : Mempelajari Hidrolisis Pati Gadung (Dioscoreahispida Dernts) dengan Enzim a-amilase dan Gluko amilase untuk Pembuatan Sirup Glukosa***. Fakultas Pertanian, Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Susanto, F, Candra, K dan Widjaja, A. 2015. ***Pra Desain Pabrik Bioetanol dari Nira Batang Sorgum***. Jurnal Teknik ITS, Vol. 4, No. 2, hh. 86-88.
- Adiarso, dkk. 2020. ***Outlook Energi Indonesia 2020 Edisi Khusus***. Jakarta. Pusat Pengkajian Industri Proses dan Energi (PPIPE) Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)

Artikel 14

Minyak Nabati Non-Pangan dari Biji Malapari (*Pongamia pinnata* (L.) Pierre) Sebagai Alternatif Bahan Baku Biodiesel

Afifa Hasna Maristya

(Program Studi Kimia, Fakultas MIPA, Universitas Indonesia)

Pendahuluan

Kebutuhan energi nasional diperkirakan setiap tahunnya mengalami peningkatan. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi menyatakan dalam skenarionya kebutuhan energi Indonesia pada 2025 diprediksikan akan mencapai 238,8 juta ton setara minyak (Tonne of Oil Equivalent/TOE) . Jumlah tersebut akan meningkat menjadi 682,3 juta TOE pada 2050, dengan asumsi rata-rata pertumbuhan kebutuhan energi selama periode 2015-2050 sekitar 4,9 persen per tahun. Kebutuhan energi ini tidak diimbangi dengan cadangan energi yang terus menipis setiap tahunnya. Menteri ESDM Arifin Tasrif menyatakan bahwa cadangan minyak bumi nasional akan habis dalam kurun waktu 9,5 tahun. Cadangan minyak bumi nasional saat ini sebesar 4,17 miliar barrel, dengan cadangan yang sudah terbukti keberadaannya sebesar 2,44 miliar barrel. Sehingga pengembangan energi baru terbarukan (EBT) diperlukan untuk mengatasi krisis energi akibat menipisnya energi konvensional yang tersedia di alam.

Pemerintah menargetkan pada tahun 2025, Penggunaan EBT mencapai 23 persen dari total kebutuhan energi nasional. Namun, pengembangan dan penggunaan EBT hingga saat ini masih jauh dari target yang ditentukan. Berdasarkan data yang dirilis Compare the Market, Indonesia berada pada di posisi ke-16 dari 21 negara, di bawah Afrika Selatan yang tingkat penggunaan EBT sebesar 2,25 persen. Untuk dapat menggantikan energi konvensional terutama yang berasal dari bahan bakar fosil dibutuhkan sumber energi baru dan terbarukan yang lebih mudah diolah dan ramah lingkungan. Selama ini penggunaan bahan bakar fosil telah menimbulkan berbagai masalah.

Pertama yaitu dihasilkannya emisi seperti: partikel, SO₂, NO_x, dan CO₂ yang menyebabkan pencemaran lingkungan. Emisi partikel, SO₂, dan NO_x adalah bahan polutan yang memiliki dampak langsung terhadap kesehatan manusia. Disamping itu, Emisi CO₂ merupakan sumber terbesar yang bertanggung jawab terhadap terjadinya pemanasan global akibat penipisan lapisan ozon. Yang kedua yaitu mengakibatkan ketidakseimbangan ekologi pada proses pengolahannya. Pertambangan minyak bumi dapat merusak ekosistem dari suatu wilayah tertentu dan mengurangi kelestarian sumber daya alam sehingga hilangnya fungsi lingkungan sebagai penyeimbang alam. Kegiatan pertambangan juga cukup berbahaya karena rentan terjadi kecelakaan kerja akibat pengaruh zat kimia maupun faktor alam diluar kehendak. Selain itu, akibat pengaruh kebijakan OPEC dan konversi nilai mata uang dunia, harga bahan bakar menjadi tidak stabil sehingga memengaruhi kondisi ekonomi di Indonesia.

Solusi yang sangat tepat dan bijaksana dalam mengatasi krisis energi nasional dan mengurangi pencemaran lingkungan, yaitu dengan mengembangkan dan meningkatkan produksi biodiesel. Biodiesel adalah bahan bakar alternatif untuk mesin diesel yang dihasilkan dari reaksi transesterifikasi antara minyak nabati atau lemak hewani yang mengandung trigliserida dengan alkohol seperti metanol dan etanol. Beberapa tanaman yang mengandung rantai trigliserida tinggi dan dapat dijadikan sebagai bahan bakar biodiesel diantaranya sawit, jarak, nyamplung, kelapa, ubi kayu, jagung, kedelai dan tanaman bunga matahari. Akan tetapi, tanaman tersebut membutuhkan lahan yang cukup luas dan pemanfaatannya lebih diprioritaskan sebagai tanaman pangan. Sehingga minyak yang tidak dapat dikonsumsi lebih berpotensi sebagai alternatif bahan baku biodiesel. Salah satunya yaitu minyak dari biji tanaman malapari. Potensi produksi tanaman malapari pada akhir musim buah dapat dikumpulkan sebanyak 28 kg dari 1 pohon. Dalam satu pohon malapari dihasilkan 9 – 90 kg biji/tahun, sehingga jika kerapatan tanamnya 100 pohon/ha, maka potensi panennya adalah 900 – 9.000 kg biji/ha/tahun. Apabila rendemen 25% maka dihasilkan 225 – 2.250 kg/ha/tahun minyak lemak. Dengan cara pembudidayaan

yang baik dan rotasi tanam 5 – 7 tahun, maka produksi perkebunan malapari yang dihasilkan dapat mencapai 2 ton minyak-lemak dan 5 ton kayu bakar per hektar/tahun (Djam'an, 2009).

Energi Alternatif Biodiesel

Selama ini, lebih dari 90% kebutuhan energi dunia dipasok dari bahan bakar fosil. Sehingga ketersediaan energi yang berasal dari bahan bakar fosil semakin hari ketersediaanya semakin menipis dan suatu saat nanti akan habis. Maka dari itu diperlukan energi terbarukan yang dapat menekan penggunaan bahan bakar fosil dalam jumlah besar dan menghasilkan energi yang ramah lingkungan. Salah satu jenis bahan bakar nabati atau biofuel yang dapat dikembangkan untuk menggantikan bahan bakar fosil adalah biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar yang terdiri dari campuran mono-alkyl ester dari rantai panjang asam lemak, yang dipakai sebagai alternatif bagi bahan bakar dari mesin diesel dan terbuat dari minyak nabati atau lemak hewani.

Bahan baku utama biodiesel yang digunakan di Indonesia yaitu minyak sawit (CPO) dan jarak. Kedua jenis minyak nabati semakin tahun pun mengalami peningkatan permintaan yang semakin besar, sehingga penggunaan bahan baku alternatif biodiesel perlu dieksplor untuk memaksimalkan target energi terbarukan di Indonesia. Salah satu tanaman yang cukup berpotensi yaitu tanaman malapari. Kelebihan malapari sebagai bahan baku biodiesel adalah biji mempunyai rendemen minyak yang tinggi (mencapai 27 -39%) terhadap berat kering dan dalam pemanfaatannya tidak berkompetisi dengan kepentingan pangan (Soerawidjaja, 2005). Hal ini menjadi suatu alasan bahwa tanaman malapari perlu untuk dikembangkan menjadi bahan bakar alternatif biodiesel.

Minyak Biji Malapari

Malapari adalah tanaman perdu atau pohon dari familia Leguminosae yang memiliki percabangan tersebar, tumbuh dengan cepat dengan tinggi tanaman antara 15 sampai 25 meter. Di Indonesia tanaman ini ditemukan tersebar luas dari Pulau Sumatera

bagian timur (TN Berbak, Teluk Berikat –Pulau Bangka), Pantai di sekitar Tanjung Lesung (Banten), Pantai Batu Karas (Ciamis), Ujung Blambangan (TN Alas Purwo), Pantai Lovina (Bali Utara), Pantai Sembelia (Lombok Timur), dan Pantai Barat Pulau Seram (Maluku) (Djam'an, 2009).

Malapari memiliki kemampuan tumbuh di lahan dengan kandungan garam 200 mM dan di lahan yang tergenang, sehingga Malapari cocok digunakan sebagai rehabilitasi lahan. Yang kemudian pengembangannya sebagai bahan baku biodiesel tidak akan berkompetisi dengan tanaman – tanaman pertanian di lahan subur (Arpiwi et.al 2013a). Hal ini bisa menghindarkan masalah ketahanan pangan karena pengambilalihan lahan pertanian untuk penanaman tanaman biodiesel. Lahan kritis bisa dimanfaatkan dan ditingkatkan kesuburannya secara alami sehingga berubah menjadi lahan produktif. Selain itu Malapari tahan terhadap kekeringan sehingga tidak banyak memerlukan air untuk irigasi (Gui et.al., 2008).

Malapari merupakan sumber bahan baku biodiesel yang potensial untuk dikembangkan karena beberapa karakteristik pertumbuhan dan kandungan minyak dalam bijinya. Tanaman malapari mengandung 30-40% minyak kaya trigliserida (Morton,1990). Beberapa hasil penelitian menunjukkan bahwa kandungan minyak Malapari menghasilkan rendemen minyak yang tinggi berkisar 27 - 39% terhadap berat kering (Soerawidjaja, 2005). Angka ini mendekati rendemen minyak biji jarak sebesar 35%--45% yang sudah cukup umum digunakan sebagai bahan baku biodiesel di Indonesia. Komposisi utama asam lemak minyak malapari terdiri dari asam oleat (51%), linoleat (19%), palmitat (11%) dan stearate (6%) (Arpiwi et al., 2013). Minyak nabati dengan kandungan asam oleat yang tinggi seperti pada tanaman Malapari ini sangat cocok untuk digunakan sebagai bahan baku biodiesel karena minyaknya tidak akan membeku pada suhu dingin dan tahan terhadap oksidasi (Pinzi et al., 2009). Selain itu, nilai protein pada biji malapari yang berasal dari Pulau Jawa diperkirakan berkisar 1,75-2,7% (Aminah,2017). Hal ini menandakan bahwa biji malapari tidak berpotensi untuk pangan dan pakan karena rendah protein, sehingga dapat dioptimalkan sebagai

bahan baku biodiesel tanpa perlu berkompetisi terhadap kebutuhan persediaan pangan nasional.

Proses Pengolahan Minyak Biji Malapari

Alimah (2011) mengemukakan secara umum pengolahan minyak malapari sebagai bahan bakar biodiesel dilakukan dengan tahapan sebagai berikut :

1. Pengeringan dan pengupasan

Pengeringan buah malapari bertujuan untuk mempermudah proses pengupasan kulit buah. Pengeringan ini dilakukan dengan cara dijemur dibawah sinar matahari hingga biji mencapai kadar air sebesar 7 – 10% (Mardjono, 2008). Buah yang telah kering ditaruh di tempat teduh menunggu proses pengupasan. Setelah itu buah dikupas dengan cara buah yang sudah kering diletakkan di atas permukaan yang keras seperti lantai semen atau meja, lalu digiling atau ditekan dengan sebuah kayu sehingga kulit buah pecah dan biji keluar. Asam amino kompleks dalam biji dan minyak malapari kemudian diekstraksi dengan alkohol.

2. *Degumming*

Degumming I menggunakan penambahan larutan H_3PO_4 dengan konsentrasi 0,25% yang dilanjutkan dengan proses *degumming* II menggunakan campuran bentonit dan zeolit (0,5%:0,5%) b/v. Proses ini bertujuan untuk menghilangkan getah dari biji. Selain itu proses ini bertujuan untuk menghilangkan asam lemak bebas dan fosfor yang dapat merusak komponen mesin diesel.

3. Transesterifikasi

Transesterifikasi merupakan proses pembuatan biodiesel yang dilakukan dengan mencampurkan lemak atau minyak lemak yang diperoleh dengan metanol atau etanol dalam keadaan katalis dan dipanaskan pada suhu 25 – 80°C. Dari proses ini akan diperoleh hasil berupa ester metil/etil, asam-asam lemak (biodiesel) dan gliserin. Tujuan dari proses transesterifikasi

adalah untuk menurunkan viskositas atau kekentalan minyak nabati sehingga akan menyamai petrodiesel (solar atau ADO) hingga mencapai nilai 4,84 cst (Susilo, 2006).

Kesimpulan

Pengembangan energi terbarukan di Indonesia masih membutuhkan eksplorasi khusus untuk mencapai target nasional. Tanaman malapari memiliki prospek yang cerah sebagai sumber biodiesel dikarenakan memiliki potensi hasil panen tinggi di Indonesia. Selain itu minyak biji malapari merupakan minyak non-pangan, yang memiliki rendemen minyak yang tinggi yaitu antara 27 - 39% terhadap berat kering, tahan terhadap oksidasi, dan mampu tumbuh di lahan kritis. Pengolahan biji malapari pun tergolong sederhana dan dapat dilakukan dalam skala besar yang terdiri dari proses pengeringan dan pengupasan, *degumming*, serta transesterifikasi.

Daftar Referensi

- Aminah, A. (2017). Karakterisasi morfologi, genetik, kandungan minyak dan evaluasi awal pertumbuhan bibit pongamia *Pongamia pinnata* (L.) Pierre). (Disertasi). di Pulau Jawa Program Pendidikan Doktor, Institut Pertanian Bogor, Bogor.
- Aminah, A., Supriyanto, S., Zulkarnaen Siregar, I., & Suryani, A. (2017). Kandungan minyak MALAPARI (*Pongamia pinnata* (L.) Pierre) Dari pulau JAWA SEBAGAI SUMBER BAHAN Baku biodiesel. *Jurnal Penelitian Hasil Hutan*, 35(4), 255-262. <https://doi.org/10.20886/jphh.2017.35.4.255-262>.
- Alimah, Dewi. 2011. BUDIDAYA DAN POTENSI MALAPARI (*Pongamia pinnata* L.) PIERRE SEBAGAI TANAMAN PENGHASIL BAHAN BAKAR NABATI. Banjarbaru: Balai Penelitian Kehutanan Banjarbaru.
- Ramli, R. R. 2021. Cadangan Minyak Terus Menipis, ini Langkah yang Dilakukan Pemerintah. Diakses pada 25 April 2020, dari <https://money.kompas.com/read/2021/01/19/201300526/>

cadangan-minyak-terus-menipis-ini-langkah-yang-dilakukan-pemerintah-.

Sugiyono, Agus. 2002. Penggunaan Energi dan Pemanasan Global: Prospek bagi Indonesia. Tugas Matakuliah Ekonomi Lingkungan, UGM, 2002. <https://doi.org/10.13140/2.1.2755.2646>.

Artikel 15

Pasang Surut gelombang Air Laut (PSGAL) Untuk Sumber Energi Terbarukan Masa Depan Indonesia

Ikhwan Wiranata

(Institut Teknologi Bandung – ITB)

Indonesia merupakan negara maritim dan kepulauan. Indonesia yang memiliki luas kepulauan 2,8 juta km², luas laut territorial 0,4 km², dengan jumlah pulau sebesar 17.504 dan panjang garis pantai pulau-pulau nusantara mencapai 81.290 km hal ini menempatkan Indonesia merupakan negara dengan garis pantai terpanjang kedua setelah Kanada [1]. Potensi garis pantai ini merupakan sumber pariwisata dan perikanan bagi masyarakat Indonesia. Selain menjadi sumber pariwisata, ternyata pantai bisa digunakan sebagai sumber energi listrik terbarukan. Daya

listrik total yang dihasilkan dari gelombang pecah di garis pantai dunia diperkirakan mencapai 2 hingga 3 juta megawatt. Pada tempat-tempat tertentu yang kondisinya sangat bagus, kerapatan energi gelombang dapat mencapai harga rata-rata 65 MW per mil garis pantai [2] Sumber energi ini berasal dari angin, pasang surut air laut, dan arus laut. Menurut sumber BMKG, kecepatan angin di Indonesia berkisar 1-15 m/s[3] dan memiliki potensi pembangkitan sebesar 60.6 GW untuk angin dan 17.9 GW untuk air laut[4]. Pemanfaatan energi pasang surut air laut harusnya menjadi hal yang penting untuk dikembangkan lebih lanjut. Apalagi Indonesia saat ini ingin mencapai target bauran energi bersih pada tahun 2025 sebesar 23%. Waktunya tentu tinggal sebentar lagi, tetapi dari data statistik pembangkitan energi di Indonesia. Pembangkitan energi listrik masih didominasi oleh sumber daya batu bara sebesar 50% (2018) dan gas 29% (2018) yang berbahan dasar fosil [4]. Hal ini disebabkan oleh biayanya yang lebih murah dari segi ekonomi dan teknologi yang sudah tersedia cukup murah. Meskipun harganya murah, tren harga sumber daya akan terus menaik sehingga kita perlu mencari alternatif dari pembangkitan energi terbarukan salah satunya adalah energi pasang surut air laut.

Energi Pasang surut air laut merupakan energi yang berasal dari pergerakan air laut yang naik turun karena adanya gaya gravitasi antara bumi dan bulan. Gaya tarik bulan lebih besar daripada gaya gravitasi bumi sehingga menarik air di perairan pesisir sehingga memunculkan dua tonjolan atau *bulge* pasang surut gravitasional di laut. Lintang dari tonjolan pasang surut ditentukan oleh deklinasi, yaitu sudut antara sumbu rotasi bumi dan bidang orbital bulan dan matahari [5]. Peningkatan pasang surut air laut dapat dipengaruhi oleh keadaan lempeng bumi, kecepatan angin, dan gaya permukaan laut. Energi pasang surut air laut tergolong pada energi terbarukan, karena dapat digunakan terus menerus dan tidak menimbulkan kerusakan. Energi ini bersifat berselang (*intermittent*) waktu penghasilan energinya sekitar sepuluh jam setiap hari. Dimana puncak energi yang dihasilkan terbaik terjadi pada malam hari akibat besarnya gaya gravitasi bulan. Walaupun bersifat berselang, hal ini dapat ditutupi dengan bantuan pembangkit yang lainnya. Seperti penggunaan sumber angin, geothermal, dan surya. Diperkirakan potensi laut mampu memenuhi empat kali kebutuhan listrik dunia, sehingga tidak mengherankan apabila berbagai negara maju telah berlomba memanfaatkan energi ini [6]

Riset tentang pemanfaatan energi pasang surut air laut telah banyak dilakukan. Proses pemanfaatannya hampir sama dengan pembangkit listrik energi air (PLTA). Proses ini menggunakan turbin dan generator, dimana turbin akan diputar akibat dari pergerakan fluida dari depan kebelakang sisi turbin. Selanjutnya energi mekanik ini akan diubah menjadi listrik melalui generator. Teknologi yang digunakan oleh pembangkit ini tergantung terhadap jenis turbin yang digunakan. Pada PLTA turbin yang sering digunakan adalah turbin Francis, Pleton dan Kaplan. Penggunaan turbin ini butuh penyesuaian terhadap energi mekanik yang ingin kita ubah apakah dalam bentuk horizontal atau vertical. Untuk hal tersebut terdapat beberapa alat penangkapnya diantaranya yaitu turbin sumbu horizontal, turbin sumbu vertical, *ocilating hydrofoil*, *achimedes screw*, layang-layang pasang surut. Salah satu turbin arus vertical adalah Turbin Gorlov Helikal adalah jenis turbin yang baru dikembangkan pada tahun 1995, mengubah energi

kinetik yang dihasilkan oleh arus aliran menjadi energi mekanis/gerak putar, di temukan oleh Profesor Gorlov dari Northeastern University, jenis turbin ini diperuntukan untuk energi arus sungai (river energy), energi arus laut (marine energy) dan energi arus pasang-surut (tidal energy). Dalam Pembuatan model turbin arus laut gorlov untuk sudut helix atau sudut pada daun turbin dapat dipengaruhi oleh beberapa factor jumlah daun turbin, ketinggian turbin dan diameter dari turbin [7]. Pembangunan turbin arus laut ini sedang dilakukan pada di Indonesia yaitu pada daerah Larantuka, NTT.

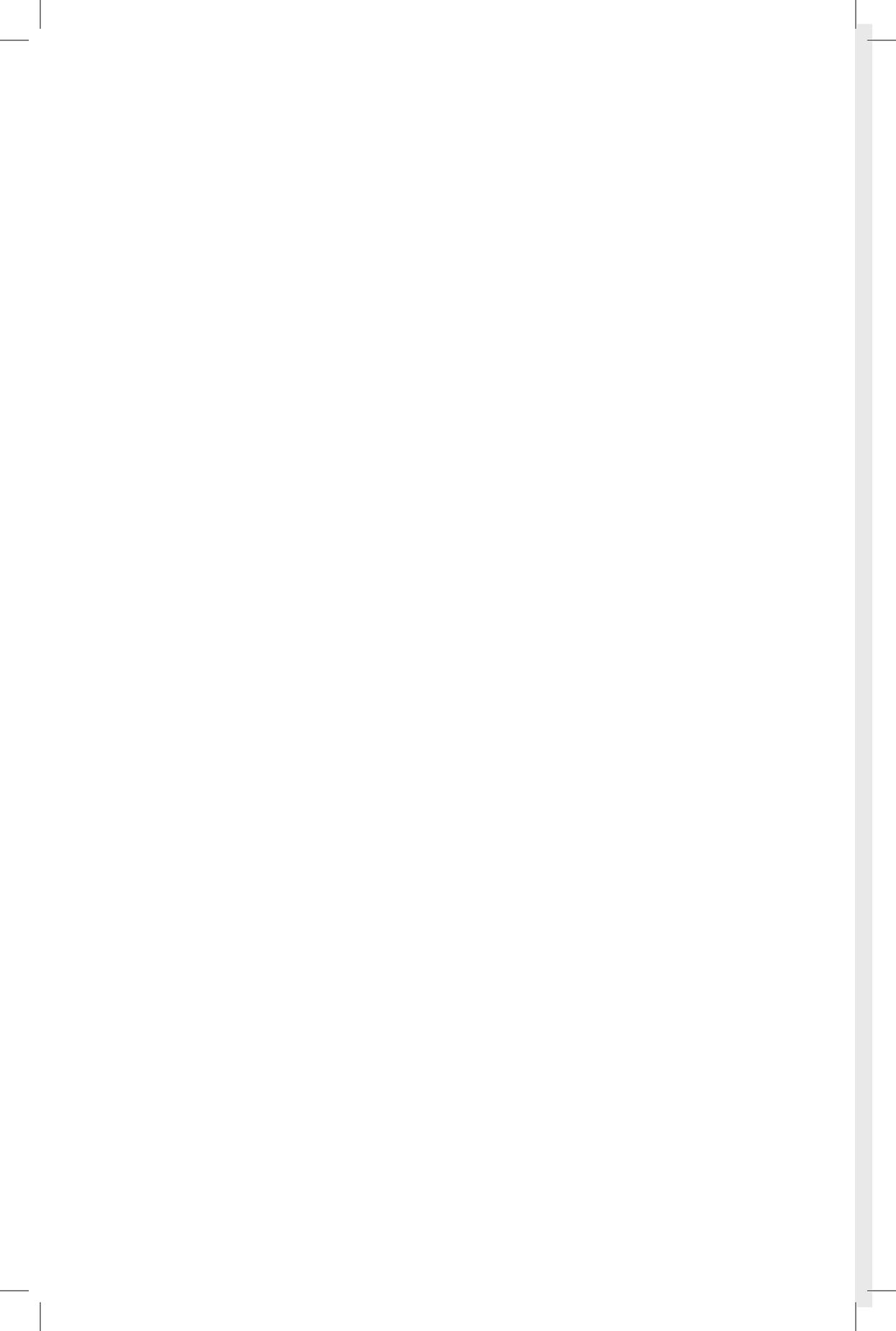
Pemanfaatan energi pasang surut air laut dapat menggunakan beberapa cara. Penggunaan sistem pembangkitan berbentuk bendungan “barrage”. Bendungan dipasang pada sebuah teluk yang berbentuk cekungan untuk dapat mengontrol arus air laut yang lewat. Proses ini dimulai dari pemasukan dan pengeluaran air laut melewati sebuah turbin. Hal ini dilakukan setiap dua kali sehari saat air pasang datang. Sehingga dapat dihasilkan listrik yang lebih efisien. Pembangkitan ini telah dibuat pada pembangkit listrik tenaga air danau Shiwa di Korea Selatan yang memiliki kapasitas pembangkit sebesar 254 MW, La Rance, Prancis, dengan kapasitas pembangkit listrik 240 MW, Annapolis Royal di Nova Scotia, Kanada, dengan kapasitas pembangkit listrik sebesar 20 MW. Selain dengan bendungan, pembangkitan pasang surut air laut dapat menggunakan pelampung dengan kapasitas hingga 1kW[8]. Proses ini memanfaatkan prinsip pergerakan osilasi yang terjadi pada benda dan generator khusus. Efisiensi dari pembangkit ini cukup baik yaitu sekitar 80%.

Untuk mewujudkan pemanfaatan energi pasang surut air laut di Indonesia memiliki banyak tantangan. Pertama, karakter gelombang laut Indonesia yang cukup rendah dibandingkan negara amerika dan eropa karena tropis. Kedua, Proses pembangkitan energi listrik ini bersifat intermittent. Ketiga, biaya investasi yang mahal untuk melakukan riset agar dapat sesuai dengan karakter angin Indonesia dan daya yang dihasilkan tidak terlalu besar. Keempat, efisiensi pembangkitan pasang surut sekitar 50% dan gelombang air laut sekitar 25%. Kelima, Berpotensi untuk dapat merusak ekosistem dan kualitas perairan. Walaupun begitu

kita harus optimis untuk memanfaatkan untuk masa depan bangsa ini. Energi pasang surut air laut ini menjadi tantangan kepada Indonesia untuk melakukan riset teknologi untuk dapat memanfaatkan potensi yang dimiliki. Pepatah mengatakan, Sedikit-sedikit menjadi bukit. Hal ini lah yang menjadi harapan bahwa pembangunan pembangkit ini akan memberikan kebermanfaatn untuk masyarakat pesisir Indonesia agar mendapatkan listrik yang layak selain dari tujuan besarnya yaitu dapat mengembangkan energi terbarukan di Indonesia.

Daftar pustaka:

- [1] <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/kapal-survei-geomarin-iii-sebagai-sebuah-jawaban>. Diakses pada tanggal 27 April 2021.
- [2] SETIAWAN, A. 2006. Energi dari Laut dan Pasang-surut Laut. [http:// oseanojgrafi.blogspot.com](http://oseanojgrafi.blogspot.com) Diakses pada tanggal 27 April 2021
- [3] Sampe, Eusebio Andrinikos S.Tr (2019). *Analisis Arah & Kecepatan Angin Menggunakan AERODROME CLIMATOLOGY SUMMARY di Landasan Pacu Bandara Udara Douw Ature Nabire Periode Juli 2018 s/d Juni 2019*. Stasiun Meterolofi Nabire, 2019
- [4] Suharyati; Pambudi, Sadmoko Hesti dkk September 2019. *Indonesia Energy Outlook 2019*. Jakarta : Sekretaris Dewan Energi Nasional.
- [5] Lusi, Mikael Adrisno; Sahupala, Peter dkk. April 2020. *Studi Pemanfaatan Pasang Surut Air Laut Untuk Pembangkit Daya*. Jurnal MJEME, Vol. 2, No. 2
- [6] DAUD, J.R.P. 2006. Sumber Energi Raksasa Terbaharui. Dalam Artikel Sulut on line tanggal 22 Oktober 2005.
- [7] Lapulalan, Ricardo M ; Sarwito, Sardono dkk. 2016. Desain Blade Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut di Banyuwangi Berbasis CFD. Surabaya : JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5, No. 2, (2016) ISSN: 2337-3539.
- [8] Farrok, Omar; Islam, Md. Rabiul; Sheikh, Md. Rafiqul Islam (2016). *Analysis of the Oceanic Wave Dynamics for Generation of Electrical Energy Using a Linear Generator*. Journal of Energy, 2016.



Tema II

Energi Baru Terbarukan untuk Pengembangan Desa





Artikel 1

Ert-Fishboat: Inovasi Kapal Nelayan Terintegrasi Tenaga Hybrid Matahari dan Angin, Solusi Preventif Kelangkaan Bahan Bakar Fosil Untuk Mendukung Kelestarian Lingkungan

Arif Waryanto

(Universitas Negeri Semarang)

Pendahuluan

Indonesia merupakan negara maritim yang berbentuk kepulauan (*archipelago state*) karena hampir dua per tiga luas wilayah Indonesia adalah kelautan (Setyawan *et al*, 2018). Luas wilayah kelautan Indonesia sebesar 70% dari total luas wilayah dengan potensi sumber daya ikan sebesar 6,4 juta ton per tahun (Retnowati, 2011). Dengan potensi yang sangat besar tersebut, sektor kelautan dan perikanan bisa menjadi *odysseys to prosperity* atau jalan bagi seluruh masyarakat Indonesia menuju kemakmuran (Sutardjo, 2014). Sektor perikanan merupakan andalan bagi pertumbuhan ekonomi nelayan yang berperan penting dan strategis dalam pembangunan berupa pemerataan dan peningkatan taraf hidup.

Salah satu kota yang memiliki jumlah penduduk dengan mata pencaharian nelayan cukup banyak adalah Kota Semarang. Kota Semarang merupakan wilayah yang berada di bagian utara Propinsi Jawa Tengah dan berbatasan langsung dengan Laut Jawa dengan garis pantai sepanjang 13,67 km (Mussadun, 2016). Dalam aktivitas melaut seluruh nelayan Kota Semarang menggunakan kapal motor dengan tonase 2-15 GT dengan menggunakan alat tangkap sederhana (Indarti dan Dwiyadi, 2013). Kondisi tersebut dapat dikatakan cukup memprihatinkan mengingat penggunaan bahan bakar minyak berlebihan berdampak pada pencemaran laut berupa emisi karbon.

Dengan langkah mengurangi penggunaan bahan bakar minyak, dapat menjadi salah satu langkah alternatif terhadap penurunan pencemaran laut dari emisi gas karbon serta meningkatkan perekonomian nelayan.

Upaya tersebut dapat dilakukan dengan langkah diversifikasi program energi bersih yaitu memanfaatkan sumber daya yang tersedia di wilayah kelautan untuk menyuplai energi listrik dalam aktivitas nelayan. Sumber daya tersebut adalah energi terbarukan berupa panas matahari dan kecepatan angin. Ketersediaan panas matahari di wilayah Indonesia rata-rata mencapai 4,8 kWh/m² dengan ketersediannya hampir setiap tahun dan potensi kecepatan energi angin sebesar 2-8 m/s. Kedua potensi yang belum dimanfaatkan secara optimal tersebut digunakan sebagai sumber pembangkit listrik alternatif yang bersifat berkelanjutan.

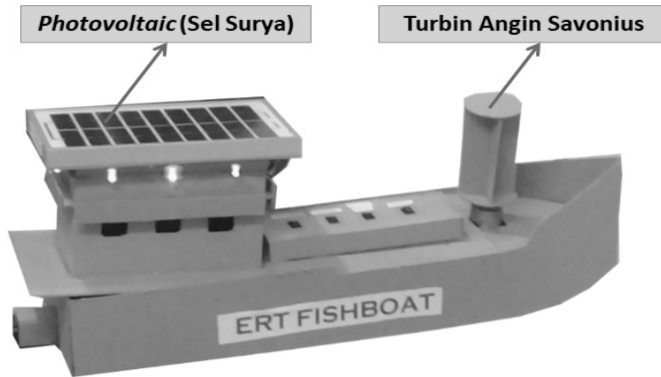
Beberapa penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan pemanfaatan energi terbarukan di laut diantaranya penelitian Putri, Dhear P, dkk (2016) melakukan penerapan pembangkit listrik sistem *hybrid* (sel surya dan diesel generator) pada kapal tanker menghasilkan penghematan konsumsi bahan bakar sebesar 15,5% per tahun bila dibandingkan dengan sistem konvensional. Akan tetapi penelitian masih perlu dikembangkan dengan menambahkan energi angin sebagai sumber energi terbarukan dalam menunjang aktivitas nelayan.

Berdasarkan permasalahan dan latar belakang tersebut maka dirancanglah teknologi **ERT-FISHBOAT** (*Eco Renewable Energy Fisheries Boat*): sebuah inovasi kapal terintegrasi tenaga *hybrid* energi matahari dan angin sebagai upaya diversifikasi energi untuk menunjang perekonomian nelayan, mendukung nelayan berkelanjutan, serta mengurangi dampak pencemaran lingkungan laut studi kasus pada nelayan tradisional Kota Semarang.

Konsep Teknologi ERT-FISHBOAT

ERT-FISHBOAT hadir sebagai inovasi kapal nelayan dengan sistem *hybrid* memanfaatkan sumber energi matahari dan kecepatan angin. Sumber energi listrik yang digunakan pada ERT-FISHBOAT menggunakan sumber panas matahari melalui komponen panel surya

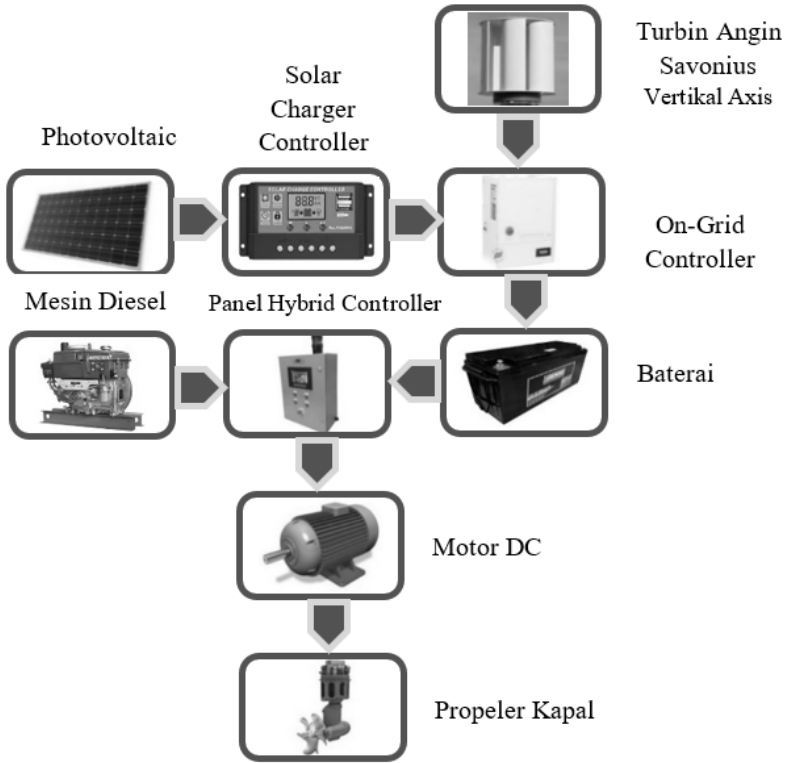
(*photovoltaic*) dan energi angin yang konversi oleh turbin savonius kemudian diintegrasikan dengan sistem *on-grid*. Gambar rancang prototipe ERT-FISHBOAT ditunjukkan oleh **Gambar 1** sebagai berikut.



Gambar 1. Rancang prototipe ERT-FISHBOAT

Skema Perancangan Sistem Kerja Alat

Sumber energi terbarukan dikonversi menjadi energi listrik oleh masing-masing *device*. Energi matahari dikonversi oleh *photovoltaic*, energi angin dikonversi oleh turbin *savonius* sumbu vertikal. Energi listrik yang dihasilkan oleh kedua sumber tersebut disimpan dalam baterai yang dalam mekanismenya diatur terlebih dahulu oleh *controller hybrid*. Sistem tersebut menggunakan konfigurasi *switch*. Daya yang dihasilkan akan digunakan untuk memutar motor DC (*Direct Current*) yang dikopel dengan propeler kapal. Sedangkan untuk sistem kendali dirancang dengan sistem *control electric*. Gambar skema kerja rangkaian ERT-FISHBOAT ditunjukkan pada **Gambar 2** sebagai berikut.



Gambar 2. Skema Perancangan Sistem Kerja Alat

Perhitungan Daya Turbin Angin Savonius

Sesuai konfigurasi optimum, yaitu 50:50 maka daya yang harus dihasilkan turbin angin Savonius vertikal adalah 760 Wh. Laju angin diasumsikan ada setiap hari (24 jam) dengan kecepatan rata-rata 3,2 m/s (Ibrahim & Adam, 2012). Sehingga dapat ditentukan besar kapasitas daya dari turbin angin savonius vertikal:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{760 \text{ Wh}}{24} = 31,6 \text{ Watt/jam}$$

Maka dapat diasumsikan bahwa dalam sehari turbin angin dapat menghasilkan energi listrik sebanyak 31.6 Watt x 24 Jam = 758.4 Wh.

Perhitungan Daya *Photovoltaic*

Perhitungannya adalah: Intensitas cahaya matahari di pantai utara Jawa berkisar 4,5 – 6 KWh/m²/hari, maka nilai *annual solar irradiation*-nya dengan mengambil rata-rata potensi sebesar 5,25 KWh/m²/hari adalah $(5,25 \text{ KWh/m}^2/\text{hari} \times 365 \text{ hari}) / (1 \text{ KWh/m}^2/\text{hari}) = 1916,25$. Efisiensi *photovoltaic* yang digunakan adalah *photovoltaic* umum ada di pasaran, yaitu memiliki efisiensi 19,5%. Perhitungan daya listrik yang dihasilkan photovoltaic dapat dilihat di **Lampiran 1**.

Total listrik yang dihasilkan dari *photovoltaic* adalah **1.440 Watt** \approx **1500 Watt**. Maka dalam sehari diasumsikan lama penyinaran matahari 9 jam maka listrik yang dihasilkan adalah $1500 \text{ Watt} \times 9 \text{ Jam} = 13.500 \text{ Wh}$

Perhitungan Emisi Karbon

Pada aktivitas melaut nelayan tradisional Kota Semarang setiap harinya menghabiskan rata-rata solar sebanyak 2 liter. Jumlah nelayan tradisional Kota Semarang adalah 300 orang. Maka, jumlah bahan bakar ($Fuel_a$) dalam 1 bulan adalah:

$$\begin{aligned} Fuel_a &= \text{jumlah bahan bakar} \times \text{Energy Content} \\ &= (2 \text{ lt})(300 \text{ orang})(30 \text{ hari}) \times 38,68 \text{ MJ/l} \\ &= 660240 \text{ MJ} = 0,66024 \text{ TJ} \end{aligned}$$

Berdasarkan data *IPCC Guidance* (2009) menyatakan bahwa faktor emisi (EF_a) dari solar adalah 74100 kg/TJ. Sehingga emisi karbon yang dihasilkan dalam sebulan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Emission} &= \sum_a [Fuel_a \times EF_a] \\ &= 0,66024 \text{ TJ} \times 74100 \text{ kg/TJ} \\ &= 48923,784 \text{ kg CO}_2 = 48,92 \text{ Ton CO}_2 \end{aligned}$$

Jika diasumsikan seluruh nelayan tradisional Kota Semarang kemudian beralih menggunakan kapal *hybrid* yang ramah lingkungan, maka diperkirakan dapat mengurangi emisi karbon sebanyak **48.92 ton** CO₂ tiap bulannya.

Analisa Ekonomi Implementasi ERT-FISHBOAT

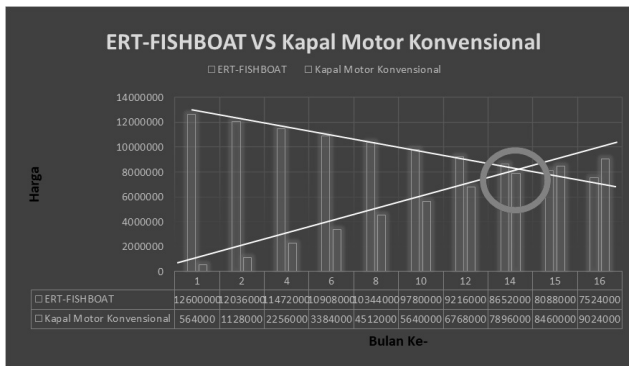
Keuntungan tersebut dapat dilihat dari biaya operasional penggunaan kapal motor konvensional dengan kapal *hybrid* ERT-

FISHBOAT. Perbandingan tersebut ditunjukkan pada **Lampiran 3** Tabel 1.

Dari **Lampiran 3** Tabel 1, didapatkan hasil analisa perhitungan bahwa nelayan tradisional dapat menghemat biaya operasional hingga 30,1% sehingga mengalami kenaikan produktivitas sebesar 4,44 %, jika dibandingkan selama ini nelayan menggunakan kapal motor konvensional.

Break Event Point (BEP)

Penerapan ERT-FISHBOAT ini pada awalnya membutuhkan biaya yang cukup besar dalam pembuatannya. Namun, modal tersebut akan kembali (*break even point*). Setelah melewati titik keseimbangan, maka nelayan akan merasakan dampak dari penghematan biaya operasional dan kenaikan produktivitas dibandingkan sebelum menggunakan ERT-FISHBOAT. Tabel harga komponen dalam perencanaan sistem *hybrid* pada kapal ini pada **Lampiran 3** Tabel 2.



Gambar 3. Grafik perhitungan ekonomi BEP

Gambar 3 adalah grafik perhitungan ekonomi BEP. Pada grafik tersebut dapat dilihat pada bulan ke 14 terjadi titik keseimbangan antara penggunaan ERT-FISHBOAT dengan kapal motor konvensional. Setelah melewati titik tersebut, para nelayan akan merasakan keuntungan ekonomis. Biaya kebutuhan pokok sehari-hari nelayan rata-rata Rp 3.000.000 per bulan dengan pendapatan tiap harinya

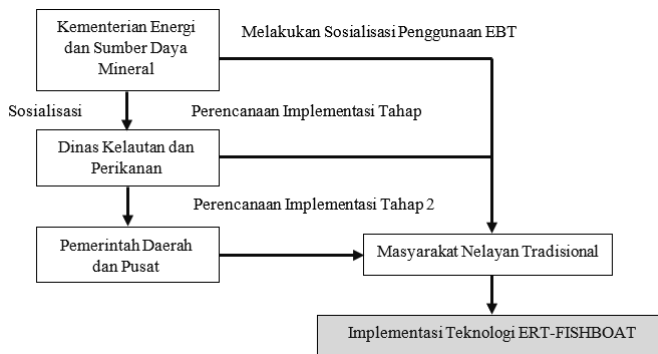
setelah menggunakan ERT-FISHBOAT rata-rata adalah Rp 150.000. Dengan 26 kali melaut tiap bulan, maka pendapatan nelayan adalah Rp 3.900.000, sehingga nelayan bisa berinvestasi sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Investasi} &= \text{Pendapatan melaut} - \text{Kebutuhan pokok} - \text{Biaya perawatan} \\ &= 3.900.000 - 3.000.000 - 392.221 \\ &= \text{Rp. } 507.779,00 \end{aligned}$$

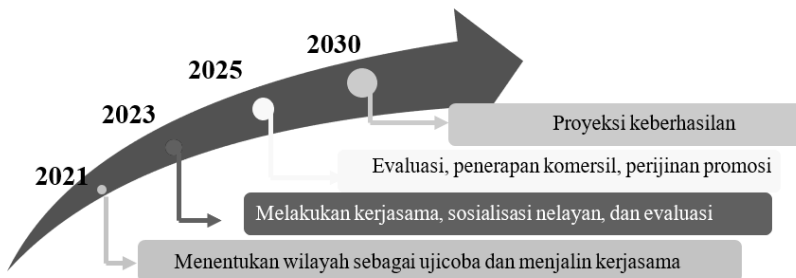
Pada BEP atau modal pembuatan alat akan kembali dalam waktu: *Break Event Point* (BEP) = Modal / Investasi = 12.600.000 / 507.779 = 24 bulan atau dua tahun setelah mengimpelmentasikan ERT-FISHBOAT.

Tahap Implementasi Teknologi ERT-FISHBOAT

Adapun alur implementasi teknologi ERT-FISHBOAT saat diimplementasikan adalah sebagai berikut.



Implementasi Teknologi ERT-FISHBOAT



Gambar 6. Proyeksi implementasi

Implementasi Teknologi ERT-FISHBOAT (*Eco Renewable Energy Fisheries Boat*)

- a) **Tahun 2021** = Menentukan wilayah ujicoba dan implementasi teknologi. Dalam hal ini studi kasus di Kota Semarang dan menjalin kerjasama antara dinas kelautan dan perikanan, pemerintah setempat, dan masyarakat nelayan.
- b) **Tahun 2023** = Melakukan kerjasama dalam uji coba teknologi dan melakukan pengawasan dan sosialisasi dengan masyarakat nelayan
- c) **Tahun 2025** = Evaluasi lanjutan, penerapan komersil, perizinan dan promosi.
- d) **Tahun 2030** = proyeksi keberhasilan dan implementasi skala nasional

Prediksi Keberhasilan Inovasi ERT-FISHBOAT

Berdasarkan langkah strategis yang tercapai pada setiap tahapan implementasi baik melalui kerjasama dengan pihak terkait, ERT-FISHBOAT dapat direalisasikan karena mendukung beberapa aspek. 1) mendukung Program SDGs yang telah di tandatangani oleh Presiden Jokowi sesuai dengan Perpres Nomor 59 Tahun 2017 tentang Pelaksanaan Pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan, khususnya pada point ke 7 yang berbunyi “Menjamin akses energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan, dan modern untuk semua”. 2) Gagasan ini mempunyai paling tidak 3 tujuan strategis yang berkaitan dengan kebijakan energi nawacita presiden. Pertama, pemeratakan pasokan listrik di daerah-daerah yang belum mendapatkan aliran listrik. Kedua, menambah cadangan listrik sebesar 30% di atas beban puncak pada hampir semua wilayah. Ketiga, menjadikan listrik sebagai pendorong pertumbuhan industri dan wilayah. 3) Dukungan masyarakat nelayan sangat penting, karena perancangan dan pembangunan sistem ini ini harus di setujui masyarakat nelayan, karena pada akhirnya masyarakatpun akan ikut membantu dalam pemakaian serta perawatan secara langsung.

Simpulan dan Saran

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan yaitu total energi listrik yang dihasilkan dua sumber terbarukan dalam sehari adalah $758.4 + 13.500 \text{ Wh} = 14.258,4 \text{ Wh}$. Dengan tegangan 12 V, maka didapatkan arus sebesar 127 Ah. Penggunaan ERT-FISHBOAT diperkirakan dapat menurunkan emisi CO₂ di lingkungan laut sebanyak **48.92** ton CO₂ tiap bulannya. Implementasi ERT-FISHBOAT dapat membantu upaya mengurangi pencemaran lingkungan laut serta berperan penting dalam meningkatkan produktivitas pendapatan nelayan sebesar **4.44%** dan menurunkan biaya operasional sebesar **30.1%** per bulan dibandingkan motor konvensional.

Dalam implementasinya, perancangan teknologi ERT-FISHBOAT memerlukan riset lebih lanjut untuk keperluan penyempurnaan dan pengembangan agar dapat terealisasi dengan baik serta melakukan kerjasama dengan pihak terkait sehingga dapat digunakan oleh nelayan secara merata dan berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ibrahim, Adam.2012. Simulasi Photovoltaic dan Kincir Angin Savonius Sebagai Sumber Energi Penggerak Motor Kapal Nelayan. *Jurnal Teknik Fisika ITS*.
- Indarti lin dan Dwiyadi S. Wardana. 2013. Metode Pemberdayaan Masyarakat Pesisir Melalui Penguatan Kelembagaan di Wilayah Pesisir Kota Semarang. *BENEFIT Jurnal Manajemen dan Bisnis*. Vol (17). No (01). Hlm. 75-88.
- Massadun dan Putri Nurpratiwi. 2016. Kajian Kemiskinan Masyarakat Nelayan di Kampung Tambak Lorok. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*. Vol (27). No (01). Hlm. 49-67.
- Muslim Muswar dan Danny Faturachman. 2015. Pemanfaatan Tenaga Surya Sebagai Alternatif Energi Terbarukan Untuk Fasilitas Suplai Daya Penerangan di Kapal. *Jurnal Fakultas Teknologi Kelautan*. Universitas Darma Persada.

- Putranto, Adityo. 2011. Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal untuk Penerangan Rumah Tangga. *Tugas Akhir*. Teknik Mesin, Universitas Diponegoro.
- Putri, Dhear P., dkk. 2016. Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Sel Matahari dan Diesel Generator) Pada Kapal Tanker. *Jurnal Teknik ITS*. Vol. 5, No. 2. Hal. 394-399.
- Prasetya, Anang. 2012. *Perancangan PLTB Sumbu Vertical Tipe Savonius. Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Solo.
- Retnowati, Endang. 2011. Nelayan Indonesia Dalam Pusaran Kemiskinan Struktural (Perspektif Sosial, Ekonomi dan Hukum). Fakultas Hukum Universitas Wijaya Kusuma Surabaya. *Jurnal Volume XVI No. 3 Tahun 2011 Edisi Mei*.
- Setiawan Wira, Rio Hermawan, Suardi. 2018. Analisa Potensi Angin dan Cahaya Matahari Sebagai Alternatif Sumber Tenaga Listrik di Wilayah Laut Sewu. *Jurnal Sains Terapan*. Vol (04). No (01). Hlm. 57-62.
- Setyawan Nicky dkk. 2018. *Geomaritim Indonesia (Kajian Histori, Sumberdaya dan Teknologi, Menuju Indonesia Sebagai Poros Maritim Dunia)*. Bogor. Badan Informasi Geospasial.
- Suman Ali, Fayakun S., Budi Nugraha, Asep P., K. Amir, dan Mahiswara. 2018. Status Stok Sumber Daya Ikan Tahun 2016 di Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPP NRI) dan Alternatif Pengelolaannya. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*. Vol (10). No (02). Hlm. 107-128.
- Sutardjo, Sharif Cicip. 2014. Kebijakan Pembangunan Kelautan dan Perikanan ke Depan (*Development Policy of Marine and Fisheries*). *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*. Vol (06). No (01). Hlm. 37-42.
- Tirtadanu, Suprpto., & Ernawati, T. (2016). Komposisi, sebaran dan kepadatan stok udang di laut Jawa. Balai Penelitian Perikanan Laut, Jakarta (inpress).
- Zamroni, A., Suwarso., & Fauzi, M. (2013). Perkembangan perikanan mini purse seine di perairan utara Jawa. in: Suman, A., Wudianto, G. Bintoro & J. Haluan (Eds) : *Status pemanfaatan sumber daya ikan di perairan laut Jawa*, Penerbit Ref Grafika, Jakarta. Hlm. 245-255.

Lampiran 1. Perhitungan Daya *Photovoltaic*

Perhitungannya adalah: Intensitas cahaya matahari di pantai utara Jawa berkisar 4,5 – 6 KWh/m²/hari, maka nilai *annual solar irradiation*-nya dengan mengambil rata-rata potensi sebesar 5,25 KWh/m²/hari adalah (5,25 KWh/m²/hari x 365 hari)/(1 KWh/m²/hari) = 1916,25. Efisiensi *photovoltaic* yang digunakan adalah *photovoltaic* umum ada di pasaran, yaitu memiliki efisiensi 19,5%. Oleh karena itu ukuran *photovoltaic* dapat ditentukan dengan rumus:

$$A = \frac{E}{\text{Efisiensi} \times \text{Solar Annual Irradiation}}$$

$$A = \frac{1000}{0.2 \times 1916.25} = 2.6 \text{ m}^2 \approx 2.5 \text{ m}^2$$

Dengan efisiensi modul = 15,2 %

$$W_{\text{input}} = 1000 \text{ Watt/m}^2$$

$$\text{Efisiensi } (\eta) = \frac{W_{\text{output}}}{W_{\text{input}}} \times A$$

$$15,2\% = \frac{W_{\text{output}}}{1000} \times 2,5$$

$$W_{\text{output}} = \frac{15,2\% \times 1000}{2,5} = 60.08 \text{ Watt}$$

$$A \text{ atap} = \text{Panjang} \times \text{lebar} = 10 \text{ m} \times 6 \text{ m} = 60 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah Modul} = \frac{A \text{ atap}}{A \text{ modul}} = \frac{60 \text{ m}^2}{2,5 \text{ m}^2} = 24 \text{ buah}$$

Total listrik yang dihasilkan dari *photovoltaic* adalah **1.440 Watt** \approx **1500 Watt**

Maka dalam sehari diasumsikan lama penyinaran matahari 9 jam maka listrik yang dihasilkan adalah 1500 Watt x 9 Jam = 13.500 Wh

Lampiran 2. Perhitungan Kapasitas Baterai

Total energi listrik yang dihasilkan dua sumber terbarukan dalam sehari adalah $758.4 + 1500 = 2.258,64\text{Wh}$. Dengan tegangan 12 V, maka didapatkan arus sebesar 127 Ah. Diketahui beban keseluruhan dari panel surya dalam sehari 13.500 Wh. Direncanakan baterai menggunakan *Rolls Marine Batteries*, tipe Series 5000 dengan kapasitas 357 Ah. Hal tersebut digunakan untuk mendapatkan kapasitas yang lebih besar sebagai cadangan dari energi yang terus dihasilkan oleh sumber energi panas matahari dan energi angin. Daya yang dihasilkan baterai:

$$\begin{aligned} \text{Daya baterai} &= \text{kapasitas} \times \text{tegangan baterai} \\ &= 375 \text{ Ah} \times 12 \text{ volt} \\ &= 4284 \text{ Wh} \\ &= 4,284 \text{ KWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah baterai (n)} &= \text{beban keseluruhan} / \text{daya baterai} \\ &= 13.500 \text{ Wh} / 4,284 \text{ KWh} = 13.5 \text{ KWh} / 4.284 \text{ KWh} \\ &= 3.15 \text{ dibulatkan menjadi } 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

Kapasitas baterai untuk 4 unit

$$\begin{aligned} Q \text{ total} &= 375 \text{ Ah} \times 4 \text{ unit} \\ &= 1.500 \text{ Ah} \end{aligned}$$

Daya keseluruhan baterai

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= 1.500 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} \\ &= 18.000 \text{ Wh} = 18 \text{ KWh} \end{aligned}$$

Setelah menentukan banyaknya baterai yang diperlukan, langkah berikutnya adalah menghitung lamanya penggunaan baterai.

$$\text{Kapasitas Baterai} = 1.500 \text{ Ah}$$

$$\text{Tegangan Baterai} = 12 \text{ Volt}$$

$$\text{Lama pemakaian} = 12 \text{ Jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka daya per jam dapat diketahui} &= \text{Daya baterai} / \text{lama pemakaian} \\ &= (375 \text{ Ah} \times 12 \text{ Volt}) / 12 \text{ Jam} \\ &= 375 \text{ Wh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Lama pengisian baterai} &= (\text{daya baterai} \times \text{jumlah baterai}) / \text{daya keseluruhan panel} \\ &= (375 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} \times 4 \text{ Unit}) / 13.500 \text{ Wh} \\ &= 1,3 \text{ Jam} \end{aligned}$$

Lampiran 3. Perbandingan Kapal Motor Konvensional dengan ERT-FISHBOAT

Tabel 1. Perbandingan Kapal Motor Konvensional dengan ERT-FISHBOAT

Kapal Motor Konvensional	<p>Solar = 7.000/liter</p> <p>Diasumsikan nelayan melaksanakan aktivitas melaut sebanyak 26 kali dalam satu bulan (1 kali melaut = 2 liter solar), dan penghasilan sehari = 150.000/hari</p> <p>Perawatan Kapal = 200.000</p> <p>Pengeluaran per Bulan = 564.000/bulan</p>
ERT-FISHBOAT (<i>Eco Renewable Energy Traditional Fisheries Boat</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Perawatan <i>Photovoltaic</i> = Rp. 12.084,00 • Perawatan Turbin Angin Savonius = Rp. 58.333,00 • Perawatan Sistem Kendali = Rp.62.083,00 • Perawatan Baterai = Rp. 16.666,00 • Kontrol <i>Hybrid</i> = Rp 8.333,00 • Perawatan Motor DC = Rp.20.833,00 • Perawatan kapal = Rp. 200.000,00 <p>Total pengeluaran = 392.221 rupiah/bulan</p>

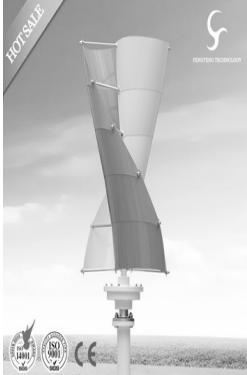
Tabel 2. Perbandingan Komponen pada ERT-FISHBOAT


Komponen	Harga (Rp)
<i>Photovoltaic</i>	3.000.000
Turbin Angin Savonius Vertikal	3.000.000
Sistem Kendali	800.000
Panel <i>Hybrid Controller</i>	4.000.000
Baterai	750.000
Kontrol <i>Hybrid</i>	300.000



Motor DC	750.000
Total	12.600.000

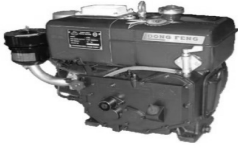
Lampiran 4. Spesifikasi Komponen ERT-FISHBOAT (*Eco Renewable Energy Fisheries Boat*)

1. Spesifikasi Panel Surya		
	Spesifikasi	Keterangan
	Merk	Shinyoku Poly-cystalline 100 WP
	Max. Power (Pmax)	100 W
	Max. Power Voltage (Vmp)	17.5 V
	Max. Power Current (Imp)	5.71 A
	Open Circuits Voltage (Voc)	21 V
	Short Circuits Current (Isc)	6.4 A
	Max. System Voltage	1000 V
	Max. Series Fuse	16A
	Weight	7.55 Kg
	Dimensions	1085 x 675 x 25 mm
	2. Spesifikasi Turbin Angin Savonius	

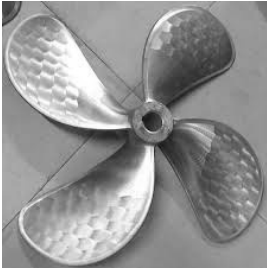
	Spesifikasi	Keterangan
	Merk	FS-300
	Started Wind Speed (m/s)	1.3 m/s
	Cut-In Wind Speed (m/s)	2.5 m/s
	Rated Wind Speed (m/s)	13 m/s
	Rated Voltage (DC)	12/24 V
	Rated Power (W)	300 W
	Max. Power (W)	350 W
	Rotor Diameter of Blades	0.52 m
	Blades Height (m)	1.17 m
	Safe Wind Speed (m/s)	Max. <40 m/s
	Weight (Kg)	<18 Kg
	3. Spesifikasi Panel Surya	

	Spesifikasi	Keterangan
	Merk	<i>Rolls Marine Batteries</i> , tipe Series 5000
	Volt	12 V
	Capacity in Ah	357 Ah/503 Ah
	Dimensions (mm)	599 x 286 x 464 mm
	Weight Dry (Kg)	100.0
	Weight Wet (Kg)	123.0
	4. Spesifikasi Solar Charge Controller	
	Spesifikasi	Keterangan
	Merk	MPPT 30A 12/24 V
	Rated Battery Current	30 A
	Rated Load Current	20 A
	Max. Battery Voltage	32 V
	Max. Solar Input Voltage	150 VDC
	Max. PV Input Power	12V 390W/24V 780W
	Weight	2.0 Kg
	Dimensions	242 x 169 x 91 mm

5. Spesifikasi Panel Hybrid Controller		
	Spesifikasi	Keterangan
	Merk	WWS06-24-L01D
	Rated Battery Voltage	12V/24 V
	Max. Input Power	800 W (Wind) + 600 W (Solar)
	Charging	58.3 A/116.6A
	Weight	2.2 Kg
	Dimensions	164 x 181 x 100 mm
5. Spesifikasi Motor DC		
	Spesifikasi	Keterangan
	Merk	RS-550 Motor DC 12V 24V 5800RPM
	Voltage Range	12V/24 V
	Rated Current	4.5 A
	Rated Power	0.07 W
	Rated Torque	0.02 NM
	Weight	0.8 Kg
	Dimensions	5735.8 mm
6. Spesifikasi Mesin Diesel		

 <p>R 180</p>	Spesifikasi	Keterangan
	Merk	Dongfeng R180
	Tenaga Maksimum	2600 RPM
	Tenaga Rata-Rata	2400 RPM
	Kapasitas Isi Oli	2.5 Liter
	Kapasitas Tangki Solar	5.88 Liter
	Rasio Kompresi	21:1
	Dimensions	380 x 590 x 550 mm

6. Spesifikasi Propeller Kapal

	Spesifikasi	Keterangan
	Merk	Mikasa Propeller 4 Daun
	Bahan	Kuningan
	Propeller	4 Daun Panjang Mikasa
	Ukuran Lubang	1.5 Inch
	Berat	12 Kg
	Ukuran	25 x 23 Inch



Artikel 2

Smart IoT-Agrophotovoltaic System Berlandaskan Energi Berkeadilan sebagai Penunjang Ekonomi Petani di Pedesaan NTB, Jawa Barat, dan Jawa Timur

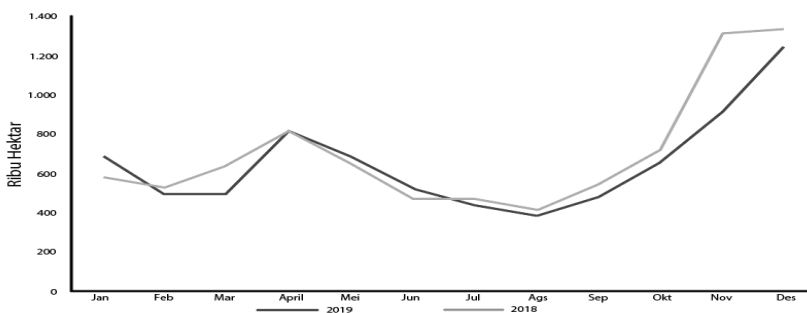
Reiner Nathaniel Jabanto

(Institut Teknologi Bandung – ITB)

Karya ini menjadi Pemenang 2, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

1. Pendahuluan

Musim kemarau di Indonesia menyebabkan angka produksi padi menurun sebesar 4,6 juta ton terjadi di tahun 2019 [1]. Gambar 1 menunjukkan luas fase persiapan lahan terjadi penurunan pada bulan April – Agustus yang sesuai dengan musim kemarau di Indonesia. Provinsi yang memiliki luas fase persiapan terbesar diantaranya Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Sulawesi Selatan, dan Sumatera Selatan.



Gambar 1. Luas fase persiapan lahan 2018 – 2019 (Dimodifikasi dari BPS, 2019)

Selain itu, provinsi tersebut memiliki tingkat petani skala kecil yang hanya memiliki luas sawah 0,16 hektar dengan persentase tertinggi di Indonesia. Salah satu indikator tujuan pembangunan berkelanjutan pada sektor pertanian yaitu nilai produksi per hektar, 90% lahan pertanian di Jawa Barat, Jawa Timur, dan Nusa Tenggara Barat (NTB) dikategorikan lahan pertanian tidak berkelanjutan [2]. Hal ini disebabkan karena tidak ada sumber air saat musim kemarau, bantuan dari pemerintah berupa pompa air tetapi sumber listrik di lokasi belum memadai. Mahalnya harga dan jauhnya akses untuk membeli bahan bakar minyak (BBM) membuat petani yang memiliki sawah di desa tidak sanggup untuk menggunakan BBM. Energi terbarukan bisa menjadi salah satu pembangkit listrik untuk menyuplai pompa air. Dengan potensi radiasi matahari di Indonesia, panel surya menjadi opsi yang tepat sebagai pembangkit listrik dan memiliki harga yang sudah ekonomis. Namun, penggunaan panel surya bisa mengurangi luas lahan pertanian dan mengakibatkan penurunan jumlah produksi. Salah satu solusi meningkatkan persentase keberlanjutan yaitu menggunakan *system of rice intensification* (SRI) dengan sumber listrik pompa yang berasal dari panel surya tanpa mengurangi banyak lahan sawah melalui sistem *agrophotovoltaic* (APV) yang sudah diterapkan di luar negeri dengan melakukan penyesuaian sesuai kondisi Indonesia.

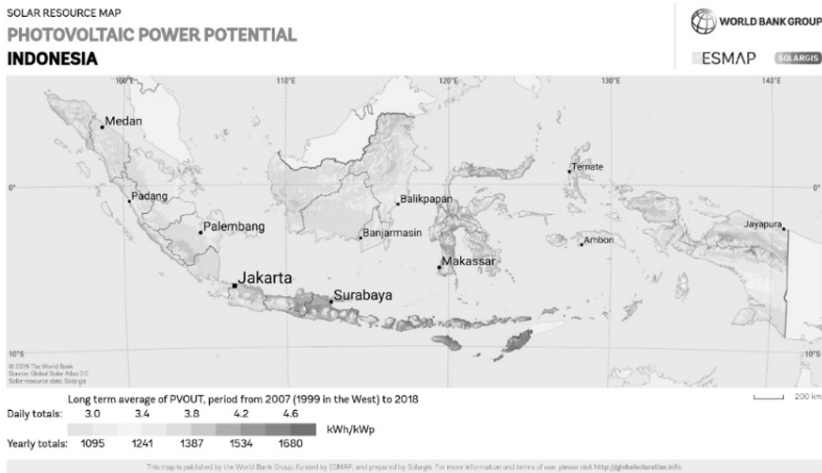
2. Studi Literatur

2.1 Metode pengolahan System of Rice Intensification (SRI)

Metode pengairan sesuai jumlah dan waktu yang dibutuhkan oleh tanaman secara terputus-putus (*intermittent*). Metode ini dapat meningkatkan produktivitas tanaman sebesar 30-100 % [3]. Air selama satu masa tanam (100 hari) untuk sawah dengan sistem pemberian air secara SRI yaitu 467 mm atau 4,67 mm/hari dengan konversi 0,116 liter/detik/ha. Sementara, untuk produktivitas air (*water productivity*) atau rasio antara gabah kering giling yang dihasilkan (kg) dengan konsumsi air (m^3) memiliki nilai 1,12 kg/ m^3 [4].

2.2 Potensi penggunaan panel surya

Indonesia memiliki potensi radiasi matahari yang dapat dimanfaatkan oleh panel surya sebesar 3,4 – 4,4 kWh/m²/hari termasuk pertanian di Jawa Barat, Jawa Timur, dan NTB.



Gambar 2. Potensi energi matahari yang dapat dimanfaatkan oleh panel surya [5]

2.3 Perhitungan Sistem APV

Untuk menghitung besar daya pompa air hidrolik (W) yang diperlukan dapat menggunakan persamaan (1) [6].

$$P_s = \frac{\rho \times g \times Q \times H}{\eta_p \eta_e} \quad (1)$$

dimana ρ (kg/m³) adalah massa jenis air, g (9,81 m/s²) adalah gravitasi, Q adalah debit air (m³/s), H adalah head ketinggian dari permukaan air hingga ke titik keluaran pompa (m), η_p adalah efisiensi pompa, dan η_e adalah efisiensi motor.

Untuk menghitung daya hidrolik yang diperlukan dalam sehari (kWh) dapat menggunakan persamaan (2) sebagai berikut [7].

$$E_h = \eta_s \times E_{PV} = \rho \times g \times V \quad (2)$$

dimana V adalah volume yang dibutuhkan dalam sehari (m³/hari), η_s adalah efisiensi sistem, dan E_{PV} adalah energi dari panel surya.

Untuk menghitung panel surya yang dibutuhkan (kW) dapat menggunakan persamaan (3) sebagai berikut [7].

$$P_{PV} = \frac{Eh}{G_T \times E \times F} \quad (3)$$

dimana G_T (kWh/m²), E adalah sistem efisiensi direntang 0,2 hingga 0,6, dan F adalah faktor koreksi panel surya dengan rentang 0,85 hingga 0,9 [6].

2.4 Aspek Keekonomian

Untuk menghitung nilai *present value cost* (PVC) dari sistem panel surya menggunakan persamaan (4) berikut [6].

$$PVC = IC + (A \times PWF) - s\left(\frac{1}{1+r}\right)^n \quad (4)$$

Dimana IC adalah biaya awal pembuatan sistem APV (Tabel 1.), A adalah biaya perawatan (asumsi 3% dari IC), PWF adalah nilai *present worth factor*, s adalah biaya tak terduga yang nilainya 8% dari IC , n umur dari panel surya yaitu 25 tahun, dan r adalah tingkat rasio suku bunga 7%. Nilai PWF ditentukan dengan: [5]

$$PWF = \frac{(1+r)^n - 1}{r(1+r)^n} \quad (5)$$

Untuk menghitung biaya penjualan listrik (LCOE) dapat menggunakan

$$LCOE = \frac{PVC}{P \times LPM \times 365 \times PWF} \quad (6)$$

dimana LPM adalah durasi penyinaran matahari (jam).

Untuk mencari harga jual yang tepat, digunakan analisis *Payback Period* yang menggunakan persamaan (7).

$$Payback\ Period = \frac{PVC}{(Harga\ Jual\ Listrik\ per\ kWh - LCOE) \times Produksi\ Energi\ Listrik/tahun}$$

(7)

2.4 Aspek Lingkungan

Untuk menghitung penurunan emisi karbon dioksida oleh sistem agrophotovoltaic dengan membandingkan jika menggunakan diesel sesuai dengan persamaan (8).

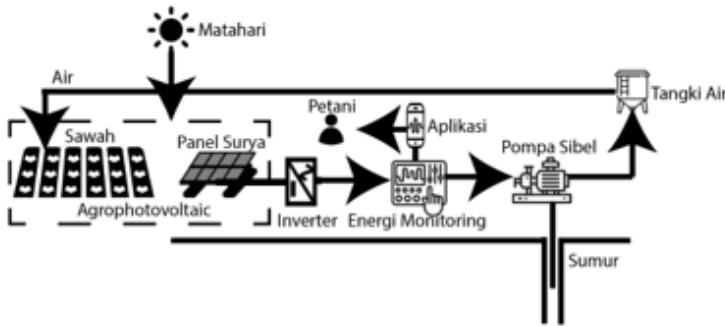
$$Emisi\ tahunan\ \left(\frac{tonCO_2ek}{tahun}\right) = faktor\ emisi\ \left(\frac{kgCO_2ek}{kWh}\right) \times produksi\ tahunan\ \left(\frac{kWh}{tahun}\right)$$

(8)

Dengan faktor emisi dari APV dan diesel masing – masing sebesar 0,05 kgCO₂ek/kWh dan 0,359 kgCO₂ek/kWh [9,10].

3. Metodologi

Pada penulisan ini, penggunaan panel surya yang berada pada atas lahan sawah dengan memiliki ketinggian tertentu agar tidak mengganggu aktivitas petani dan tidak menutup sinar matahari yang dibutuhkan oleh tanaman tersebut.

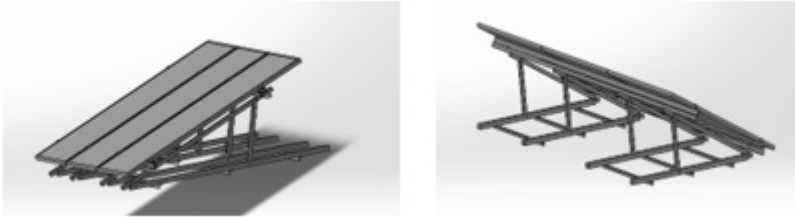


Gambar 3. Konfigurasi APV

Selanjutnya, energi monitoring akan mengirimkan jumlah listrik yang diproduksi ke aplikasi. Setelah itu, pompa sibel akan menghisap air dari sumur yang akan disimpan pada tangki air. Tangki air akan mengalirkan air tersebut ke sawah-sawah.

4. Hasil dan Diskusi

Pada penelitian ini, sistem APV dibuat untuk mengatasi lahan pertanian yang tidak berkelanjutan akibat kekeringan. Sistem APV dibuat modular agar bisa dipindahkan dari satu petak ke petak lainnya. Penyangga APV menggunakan galvanised untuk mencegah karat akibat hujan.



Gambar 4. Desain modular APV

Dirancang sebuah panel surya dengan kapasitas sebesar 1,5 kW untuk mengairi sawah sebesar 1 hektar dengan pompa rendam yang mampu mengaliri air sebesar 0,5 liter/detik dengan maksimal kedalaman 100 meter. Sistem APV ini akan menggunakan modul surya berjenis *monocrystalline* sebesar 450 Wp akan ada 3 - 4 modul yang digunakan dengan kapasitas inverter 1,5 kW.

Tabel 1. Biaya Anggaran Produksi APV

Kegiatan	Nama Barang	Kuantitas	Harga satuan	Total	
Produksi APV	Baja hollow	1 set	IDR 1,500,000.00	IDR 1,500,000.00	
	Inverter 1,5 kW	1 buah	IDR 1,100,000.00	IDR 1,100,000.00	
	Kabel tembaga SFP	1 rol	IDR 500,000.00	IDR 500,000.00	
	Connector MC14	1 box	IDR 600,000.00	IDR 600,000.00	
	Biaya Jasa Instalasi	3 kali	IDR 250,000.00	IDR 750,000.00	
	Mounting solar PV	2 buah	IDR 210,000.00	IDR 420,000.00	
	L-Feet Hook for Metal Roof	8 buah	IDR 33,880.00	IDR 271,040.00	
	Mid Clamp 40 mm	6 buah	IDR 15,400.00	IDR 92,400.00	
	End Clamp 40 mm	6 buah	IDR 15,400.00	IDR 92,400.00	
	Solar panel 400 Wp	4 buah	IDR 2,600,000.00	IDR 10,400,000.00	
	Total Harga				IDR 15,725,840.00

Untuk perhitungan PVC digunakan persamaan (4) dan *Present Worth Factor* dihitung lewat persamaan (5). Dari persamaan tersebut didapatkan perhitungan:

$$PWF = \frac{(1 + 7\%)^{25} - 1}{7\%(1 + 7\%)^{25}}$$

$$PWF = 11.654$$

$$PVC = Rp15.725.840 + (3\% \times Rp15.725.840 \times 11.65) - (8\% \times Rp15.725.840) \left(\frac{1}{1 + 7\%}\right)^{25}$$

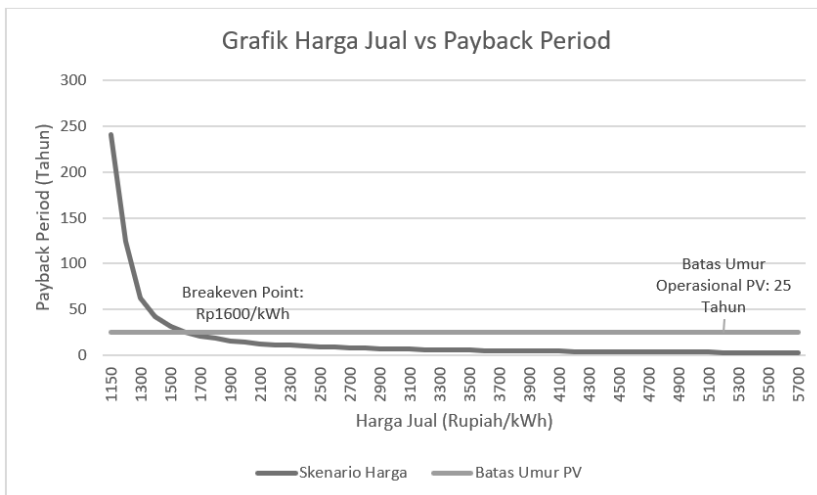
$$PVC = Rp20.990.223, -$$

Selanjutnya akan dihitung LCOE dengan menggunakan persamaan (6). Hasil perhitungan adalah sebagai berikut

$$LCOE = \frac{Rp19.123.278}{1500 \text{ Wp} \times 3 \text{ jam} \times 365 \times 11.654}$$

$$LCOE = Rp1.097, - /kWh$$

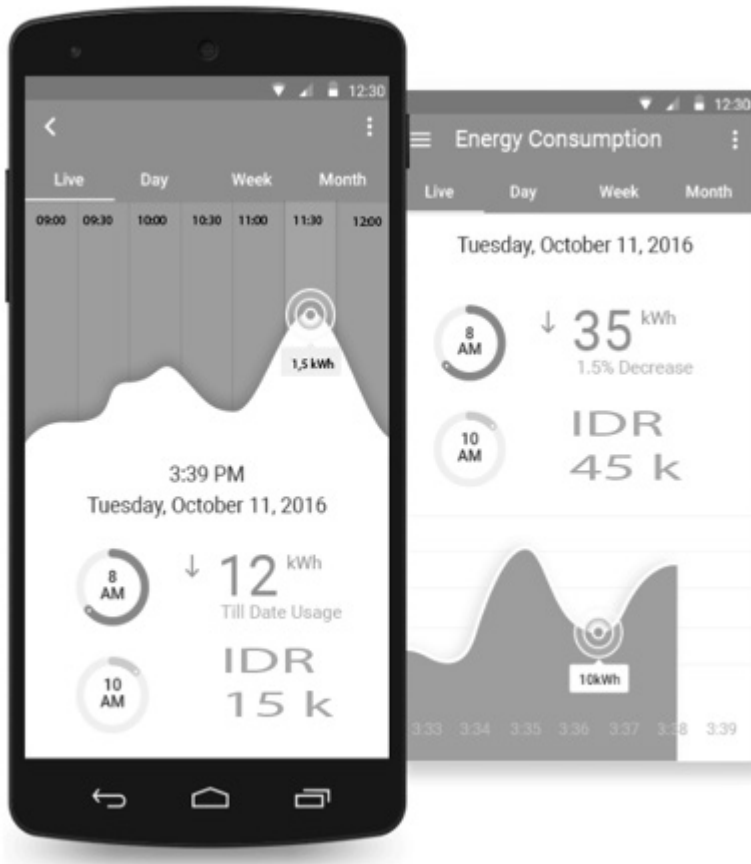
Dari data tersebut, maka langkah selanjutnya adalah menentukan harga jual listrik. Harga jual listrik terhadap *Payback Period* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Harga Jual Listrik vs *Payback Period*

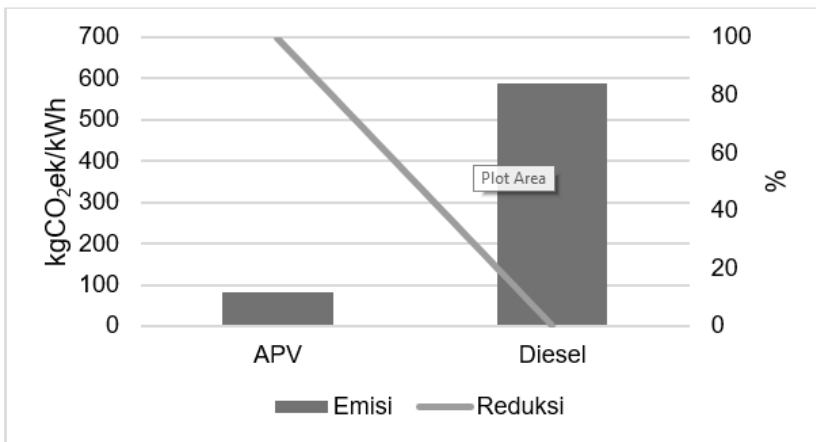
Maka dari itu, dipilih harga jual listrik sebesar Rp2.500,-/kWh

Sistem ini dilengkapi dengan aplikasi pada telepon genggam yang menampilkan besaran listrik yang dibangkitkan dan menampilkan fitur pembukuan untuk petani sehingga pemerintah daerah bisa memonitor setiap harinya. Harga jual listrik dari APV sebesar Rp2.500,-/kWh jika dibandingkan dengan mesin diesel kapasitas tersebut membutuhkan dana pembelian IDR 15.000,00.



Gambar 6. Aplikasi energi monitoring

Dengan sistem APV, sawah mampu memproduksi saat musim kemarau dengan bantuan listrik dari panel surya. Berdasarkan desain yang dipasang, 1 hektar sawah akan menghasilkan padi sebesar 7,5 ton [11]. Satu hektar sawah dikelola oleh petani yang berjumlah 5 – 6 orang, selain itu sistem ini mampu menurunkan emisi karbon dioksida 99% dibandingkan menggunakan mesin diesel yang ditampilkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Emisi dan Reduksi dari perbandingan antara APV dan diesel

Daftar Pustaka

1. BPS 2019, Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2019, Jakarta, 2020.
2. BPS 2020, Indikator Tujuan Pembangunan Berkelanjutan Sektor Pertanian 2020 di Provinsi Jawa Barat, Jawa Timur, dan Nusa Tenggara Barat, Jakarta, 2020.
3. Rizal F, Alfiansyah, & Rizalihadi, M. (2014). Analisis perbandingan kebutuhan air irigasi tanaman padi metode konvensional dengan metode SRI organik. *Jurnal Teknik Sipil*, 3(4), 67-76.
4. Fuadi, N. A., Purwanto, M. Y. J., & Tarigan, S. D. (2016). Kajian Kebutuhan Air dan Produktivitas Air Padi Sawah dengan Sistem Pemberian Air Secara SRI dan Konvensional Menggunakan Irigasi Pipa. *Jurnal Irigasi*, 11(1), 23. <https://doi.org/10.31028/ji.v11.i1.23-32>.

5. The World Bank 2019, Global Solar Atlas 2.0 by solargis, di akses pada 20 Februari 2021, <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/indonesia>.
6. Chueco-Fernandez Francisco J, Bayod-Rujula Angel A. 'Power supply for pumping systems in northern Chile: Photovoltaic as alternative to grid extension and diesel engines. *Energy* 2010; 35: 2909–21.
7. Khatib T. Design of photovoltaic water pumping systems at minimum cost for Palestine: a review. *Journal of Applied Sciences* 2010;10:2773–84.
8. Al-Badi, A., & Yousef, H. (2016). Design of photovoltaic water pumping system as an alternative to grid network in Oman. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(14), 11–15. <https://doi.org/10.24084/repqj14.203>.
9. US EPA 2020 Life Cycle Greenhouse Gas Results (Online) July 2020 (<https://www.epa.gov/fuels-registration-reporting-and-compliance-help/lifecycle-greenhouse-gas-results> accessed on 1st April 2020).
10. NREL 2013 Life Cycle Greenhouse Gas Emissions from Solar Photovoltaics NREL Fact Sheet.
11. Fuadi, N. A., Purwanto, M. Y. J., & Tarigan, S. D. (2016). Kajian Kebutuhan Air dan Produktivitas Air Padi Sawah dengan Sistem Pemberian Air Secara SRI dan Konvensional Menggunakan Irigasi Pipa. *Jurnal Irigasi*, 11(1), 23. <https://doi.org/10.31028/ji.v11.i1.23-32>



Artikel 3

KAJURI: Kapal Jukung Ramah Lingkungan dengan *Hybrid Energy System* Pelamis - Surya yang dilengkapi *Light Fishing* LED Guna Mewujudkan SDGS 2030

Muhammad Arif Billah

(Mahasiswa Institut Teknologi 10 November -ITS, Surabaya)

Karya ini menjadi Pemenang 3, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara maritim dengan total luas laut sebesar 3.257.357 km². Hal ini tentu sektor perikanan merupakan sektor yang paling strategis bagi ekonomi Indonesia. Namun dalam kenyataannya, sektor ini masih kurang mendapat perhatian serius bila dibandingkan oleh sektor lainnya seperti pariwisata. Padahal, jika potensi pembangunan ekonomi kelautan Indonesia dikelola dengan baik dan inovatif, maka dapat menjadi salah satu sumber modal utama pembangunan, dan dapat memberikan manfaat lebih maksimal bagi negara dan masyarakat Indonesia pada umumnya. Menurut data, potensi penangkapan ikan di Indonesia dapat menyentuh angka 10 juta kilogram pertahun (KKP, 2019). Hal ini tentu berbanding lurus dengan jumlah masyarakat nelayan yang banyak. Namun kenyataannya, jumlah masyarakat nelayan Indonesia sangat besar. Namun, masih jauh tertinggal kualitasnya dengan nelayan – nelayan dari luar negeri. Hal ini tentu dikarenakan bukan hanya berasal dari kurangnya sumber daya manusia. Tetapi juga kurangnya sumber daya teknologi yang dapat membantu para nelayan tersebut dalam mencari ikan tangkapan.

Sejak tahun 2005 produksi dan konsumsi minyak bumi tidak

berimbang (Kem. ESDM: 2018). Bahkan hingga saat ini, jumlah konsumsi minyak bumi di Indonesia meningkat drastis sedangkan produksi kian menurun sehingga menyebabkan timbulnya krisis nasional di bidang energi yang berdampak langsung pada nelayan. Berdasarkan data, lebih dari 50% nelayan Indonesia masih menggunakan perahu motor berbahan bakar solar atau bensin, baik *in board* (motor dalam) maupun *out board* (motor tempel) (KKP, 2010). Hal ini menyebabkan bahan bakar solar dan bensin menjadi bagian terpenting dalam operasional kapal-kapal penangkap ikan di Indonesia. Selain itu, Dalam biaya total operasional kapal motor, sebesar 60% digunakan untuk mencukupi kebutuhan bahan bakar untuk nelayan dapat pulang pergi melaut (Teguh, 2013). Dengan naiknya harga bahan bakar solar dan bensin menyebabkan meningkatnya biaya operasional. Hal ini menyebabkan nelayan tidak mempunyai pilihan selain membeli BBM agar mereka bisa melaut meskipun dengan harga yang tinggi.

Di tengah kondisi tersebut, nelayan menyiasatinya dengan memodifikasi mesin kapal agar dapat menggunakan campuran bahan bakar dengan perbandingan tertentu (Mustain, 2009). Perilaku nelayan ini dapat mengakibatkan kerusakan mesin jangka pendek, dan dampaknya pada meningkatnya *operasional cost*. Disamping itu, perilaku nelayan yang sering membuang sisa-sisa bahan bakar juga sangat berpotensi menyebabkan pencemaran sehingga menurunkan kualitas perairan di pelabuhan. Penggunaan kapal berbahan bakar energi alternatif ramah lingkungan akan sangat dianjurkan bagi nelayan agar tidak mengganggu ekosistem pelabuhan dan laut sehingga dapat meningkatkan kualitas hasil tangkapan mereka (Saragih, 2017).

Kapal nelayan Indonesia sebagian besar merupakan kapal tradisional berkapasitas kurang dari 5GT. Namun tak sedikit pula ada yang lebih dari 20 GT (Sunardi, dkk., 2019). Kapal nelayan ini, memiliki beragam jenis, salah satunya adalah Jukung. Jenis Jukung memang banyak ditemukan di Indonesia. Jenis ini memiliki ciri khas yaitu memiliki cadik pada bagian sisi kiri dan kanan lambung kapal. Cadik ini berfungsi sebagai penyeimbang kapal saat mengarungi ombak di lautan agar tidak terbalik (Daniel, dkk., 2013).

Ombak dan cahaya matahari di Laut dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif penggerak kapal nelayan. Konsep yang pernah ditawarkan yaitu dengan memanfaatkan energi ombak laut sebagai energi penggerak kapal yang sistemnya diintegrasikan pada cadiknya. Selain mudah didapatkan, energi ini juga ramah lingkungan dan energi outputnya pun lumayan besar. Namun, energi ombak sangat tergantung pada kondisi tinggi dan periode gelombangnya yang tidak selalu tetap. Sementara untuk energi surya, energi outputnya relatif kecil namun konstan/ tidak berubah selama selang waktu yang lama (kecuali terdapat awan) (Aminuddin, dkk., 2017). Untuk itu, penulis akan menggabungkan kedua sumber energi tersebut dalam satu sistem *hybrid energy* yang dapat dijadikan sebagai sumber energi listrik pada kapal jukung nelayan.

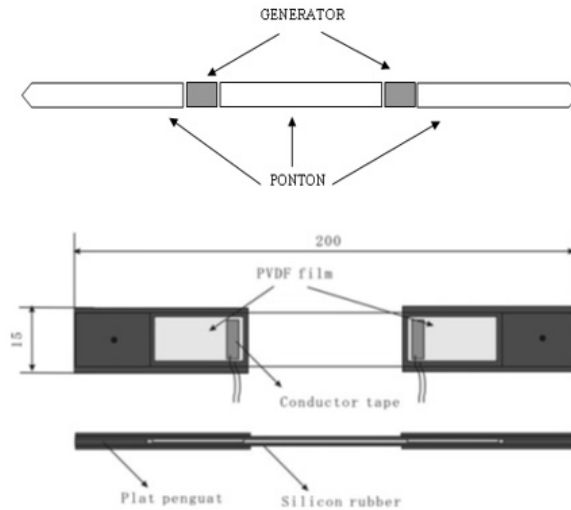
Selain permasalahan energi, hal penting lain dalam keberlangsungan hidup nelayan adalah teknologi penangkapan. Baik dalam bentuk alat tangkap maupun alat bantu penangkapan. Ketergantungan terhadap teknologi penangkapan sangat tinggi karena kondisi sumber daya perikanan yang bersifat mobile, yaitu berpindah-pindah dari satu tempat ke tempat yang lain, juga membutuhkan sarana bantu untuk dapat bertahan lama di atas air

Berdasarkan uraian diatas, salah satu solusi agar ketergantungan dan pemborosan terhadap energi BBM pada masyarakat nelayan dapat dikurangi yaitu dengan menawarkan inovasi KAJURI : Kapal Jukung Ramah Lingkungan dengan *Hybrid Energy System* Pelamis - Surya yang dilengkapi *Light Fishing LED* Guna Mewujudkan SDGS 2030. Energi dari ombak diubah menjadi energi listrik yang kemudian energi dapat disimpan didalam baterai/ aki. Kemudian, sel surya pada bagian atap kapal akan juga menghasilkan energi tambahan pada mesin sehingga dapat dimanfaatkan sebagai penggerak motor kapal dan sebagai sumber energi lampu penerangan sebagai sistem penangkapan ikan.

2. Perancangan sistem Pelamis / PLTO-Naga Air terintegrasi dengan Cadik Kapal

Pelamis atau Pembangkit Listrik Tenaga Ombak (PLTO) – Naga

Air cocok sebagai pengganti cadik konvensional. Karena PLTO ini menggunakan sistem terapung yang ditambat dan terdiri dari beberapa struktur yang saling bersambungan berbentuk silinder terapung (pontoon) dengan penyambung fleksibel (batang hidrolik). Sistem ini mirip dengan bentuk cadik yang biasa digunakan nelayan pada kapal mereka.



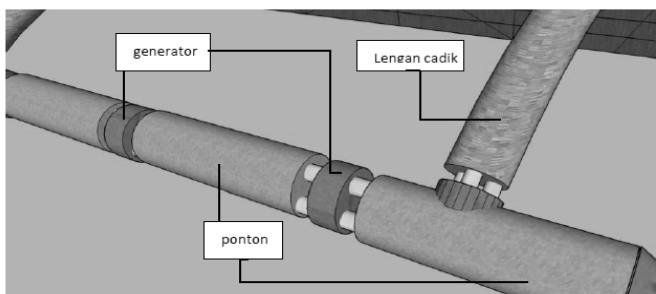
Gambar 1. Ilustrasi susunan pelamis pada cadik kapal nelayan

Pada bagian dalam sambungan fleksibel dipasang ram hidrolik sebagai penangkap ombak. Ram hidrolik akan bergerak translasi mengikuti kurvatur gelombang. Gerakan ini akan menimbulkan gerakan tekan dan tarik pada ruang kedap di dalam ram hidrolik. Gerakan tarik dan tekan tersebut disalurkan oleh fluida *incompressible* dengan bantuan motor hidrolik. Motor hidrolik inilah yang mengubah gerakan tarik-tekan (translasi) ombak menjadi gerakan rotasi yang kemudian akan dihubungkan dengan generator motor (Saragih, 2017). Generator motor ini dipasang sebagai penghubung antara pontoon satu dengan yang lain dengan pengait berupa batang hidrolik yang bersifat fleksibel. Energi listrik yang dihasilkan generator ini, kemudian dihubungkan dengan baterai/aki sehingga energi listriknya dapat digunakan untuk menghidupkan mesin kapal (Putri, dkk., 2016)

3. Perancangan Atap Kapal Dengan Sel Surya dan System Fishing LED

Selain pengintegrasian PLTO pada cadik, sel *photovoltaic* akan diintegrasikan pada bagian atap kapal. Hal ini dilakukan agar selain dapat menghasilkan energi listrik, sel *photovoltaic* ini dapat digunakan sebagai pelindung nelayan dari panas matahari. Sel *photovoltaic* ini dipasang miring kearah luar kanan dan kiri kapal sehingga dapat lebih optimal dalam penyerapan energi foton dari cahaya matahari. Energi dari sel *photovoltaic* ini kemudian akan di tampung pada baterai/aki yang kemudian akan dihubungkan dengan mesin motor kapal sebagai energi pengganti / penambah jika energi dari ombak berkurang.

Selama ini, nelayan masih menggunakan lampu pijar untuk menarik perhatian ikan. Padahal lampu pijar merupakan alat yang boros energi. Menggunakan lampu pijar sama dengan meningkatkan biaya operasional nelayan. Untuk itu, penulis menggantinya dengan lampu LED. penggunaan metode LED *Fishing* ini sebagai memicu ikan untuk berkumpul dibawah cahaya. Penggunaan LED lebih diunggulkan daripada lampu pijar. Selain lampu pijar yang mudah panas, penggunaan energi lampu pijar juga lebih boros jika dibandingkan dengan LED. Hal ini tentu menambah biaya operasional nelayan dan pada akhirnya memberatkan nelayan.

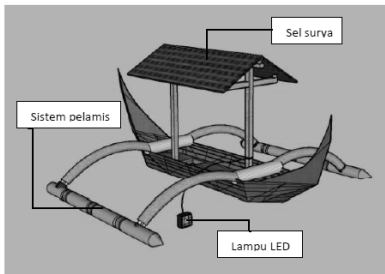


Gambar 4. Rancangan cadik yang terintegrasi dengan Pelamis / PLTO – Naga Air
(sumber : dokumen penulis)

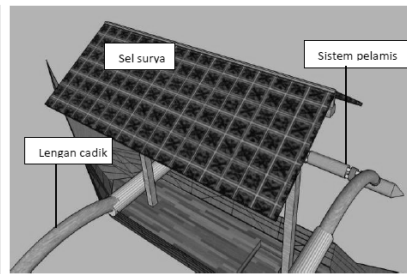
Energi kapal akan terisi pada saat kapal sedang merapat di pelabuhan, berdiam di lautan saat nelayan menangkap ikan, ataupun saat kapal berjalan menuju atau meninggalkan pelabuhan. Cara ini akan lebih hemat waktu, tenaga, dan biaya. Serta tentu lebih ramah lingkungan. Rancangan sistem integrasi ini dapat dilihat pada gambar 2, 3, dan 4.

4. Penutup

Dengan pemanfaatan energi yang ada disekitar lingkungan laut sebagai sumber energi listrik, harapannya dapat dijadikan pilihan lain dari bahan bakar mesin kapal selain BBM. Selain itu melalui gagasan ini, keadaan pelabuhan laut di Indonesia yang tercemar minyak buangan mesin kapal, akan lebih diminimalisir. Sehingga, akan menambah



Gambar 2. rancangan badan kapal
KAJURI
(sumber : dokumen penulis)



Gambar 3. rancangan atap kapal
yang terintegrasi dengan sel surya /
photovoltaic
(sumber : dokumen penulis)

kualitas dan kuantitas tangkapan ikan nantinya. Selain itu, dengan menggunakan ide inovasi ini, harapannya, beban operasional dari kapal listrik ramah lingkungan dapat diminimalisir.

Perlu kita sadari, di era industri 4.0 ini, dimana teknologi baru bermunculan dan berkembang dengan pesat. Dengan adanya era industri ini, kita dipaksa untuk ikut ambil bagian dalam perkembangan era ini. jika tidak, kita dapat tersingkirkan dengan sendirinya. Hal ini tidak terkecuali bagi para nelayan. Di Indonesia sendiri, kehidupan

masyarakat nelayan masih kurang perhatian dalam penggunaan teknologi dan ekonominya. Bukan hal yang tak mungkin jika nelayan Indonesia akan kehilangan profesinya dan kalah dengan nelayan profesional yang berteknologi dari luar negeri. Sudah saatnya teknologi baru yang ramah lingkungan dapat menambah kualitas hidup nelayan dapat hadir ditengah tengah mereka terlebih di daerah kita. Sehingga, dapat menumbuhkan kesejahteraan kehidupan nelayan dan dengan ini juga tentunya dapat mendorong terwujudnya *sustainable development goals* (SDGS) 2030.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminuddin J, R. Farzand Abdullatif, dan Wihantoro. 2015. *Energy Equation for Calculating and Mapping Area that Potential in Development of Wave Power Energy Generation*. Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto.
- Daniel D, dan Sianturi, D.S.A. 2013. Uji Performa Baterai Untuk Beban Utama Motor DC Perahu Pulang Hari. Pusat Pengkajian Dan Perekayasaan Teknologi Kelautan Perikanan. Badan Penelitian Dan Pengembangan Kelautan dan Perikanan. Vol. 8, No. 2, Agustus 2013
- Putri, R.L.E, dkk. 2016. *Design and Implementation Of Ocean Wave Power Plant Using DC Generator System To Charging Battery Electric Boat*. Prodi S1 Teknik elektro, Fakultas Teknik, Universitas Telkom. Vol.3, No.1 April 2016
- Saragih, B.R.S. 2017. Analisis Potensi Gelombang Laut Sebagai Sumber Energi Alternatif Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (PLTGL) Dengan Sistem *Oscillating Water Column* (OWC) Di Perairan Selatan Bali. Skripsi. Program Studi Ilmu Kelautan. Jurusan Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan dan Kelautan. Universitas Brawijaya. Malang
- Sunardi, Baidowi A, Eko S.Y. 2019. Perhitungan GT Kapal Ikan Berdasarkan Peraturan Di Indonesia Dan Pemodelan Kapal Dengan Dibantu Komputer (Studi Kasus Kapal Ikan Muncar

Dan Prigi). Fakultas Perikanan Dan Ilmu Kelautan, Universitas Brawijaya. Malang, dan Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya. Vol. 10, No. 2, November 2019 E-ISSN 2541-1659 Hal: 141-152

Teguh Lestariono, 2013. Perbedaan Tingkat Pendapatan Nelayan dan Tingkat Kelayakan Finansial Usaha Perikanan Tangkap Payang dan Cantrangdi Pelabuhan Perikanan Pantai Tawang Kabupaten Kendal. *Journal of Fisheries of Utilization Management and Technology* 3:2 2013.



Artikel 4

Sugarcane Waste Eco Energy (Suscogy): Inovasi Teknologi Pemanfaatan Limbah Cair dan Padat Pabrik Gula Kreet Menjadi Sumber Energi Baru Terbarukan di Desa Kreet Kabupaten Malang Menggunakan Integrasi Sistem Bioreaktor dan *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*

Erina Azahra Amalia
(Universitas Brawijaya)

Keberhasilan suatu negara dapat dinilai dari berbagai aspek, salah satunya ialah kemampuannya dalam memenuhi kebutuhan energi. Kebutuhan ini merupakan hal yang kerap menjadi perhatian besar suatu negara untuk menunjang berbagai pertumbuhan sektor ekonomi, sosial dan industri. Dalam Peraturan Presiden RI nomor 5 tahun 2006, sasaran kebijakan energi nasional menargetkan terwujudnya energi primer yang optimal pada tahun 2025 dengan sebaran minyak bumi sebesar <20%, gas bumi >30%, batubara >33%, biofuel >5% dan sumber Energi Baru dan Terbarukan (EBT) lainnya >5%. (Kementerian ESDM, 2006). Kebijakan tersebut mengindikasikan bahwa sampai saat ini Indonesia masih sangat bergantung pada energi fosil. Padahal, penggunaan energi fosil dapat mendatangkan tiga resiko yang cukup serius, antara lain berkurangnya pasokan minyak bumi, ketidakstabilan harga BBM akibat lebih besarnya permintaan pasar dibandingkan produksi, serta efek GRK (gas rumah kaca) yang ditimbulkan dari pembakaran fosil. Menipisnya pasokan bahan bakar tersebut dibuktikan dengan data menurut Kementerian ESDM (2006), yang menjelaskan bahwa, cadangan minyak bumi akan habis dalam kurun waktu 18 tahun, gas bumi akan habis dalam waktu 60 tahun, dan batubara 147 tahun lagi, terhitung dari tahun 2006. Apabila cadangan energi tersebut terus dieksploitasi tanpa adanya tindakan peralihan energi menuju

penggunaan EBT, tentunya dalam waktu dekat cadangan energi tersebut akan habis dan tidak dapat memenuhi kebutuhan energi penunjang keberlangsungan hidup manusia.

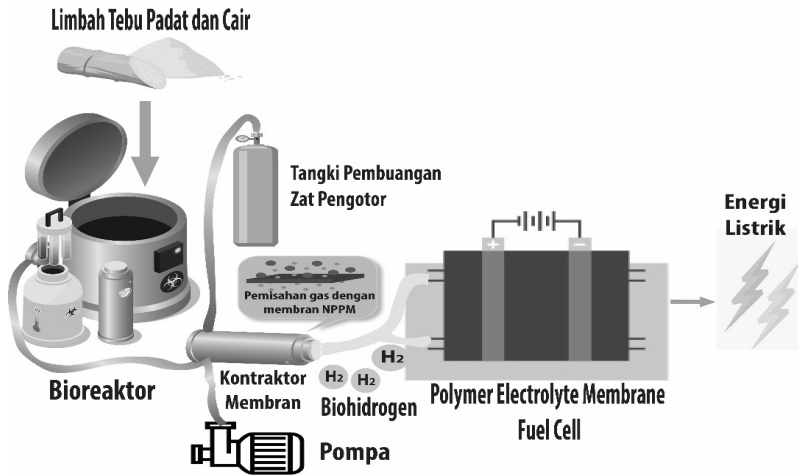
Sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam merupakan sumber energi yang tidak ramah lingkungan, karena pada reaksi pembakarannya menghasilkan kadar emisi gas CO₂. Kendati demikian, sumber energi tersebut telah menjadi penunjang kebutuhan energi di era revolusi industri yang telah berlangsung selama 150 tahun terakhir. Dapat disimpulkan betapa tingginya kadar emisi yang telah terakumulasi di atmosfer. Kadar CO₂ saat ini disebut sebagai yang tertinggi selama 125.000 tahun terakhir. (Service, 2005). Emisi tersebut membawa pengaruh besar dalam efek GRK, dimana dalam jangka waktu yang panjang dapat menaikkan suhu bumi, sehingga es di kutub mencair dan kedalaman laut meningkat, Hal ini menimbulkan ancaman serius bagi keseimbangan ekosistem kehidupan seluruh makhluk hidup di muka bumi. Maka dari itu, berbagai usaha pengembangan dan implementasi EBT yang bersifat berkelanjutan dan ramah lingkungan perlu mendapatkan perhatian serius. Menyikapi hal ini, pemerintah Indonesia bahkan berkomitmen untuk menurunkan GRK menjadi 29% pada tahun 2020 dan menargetkan penggunaan EBT sebanyak 23% dari total energi bagi warga Indonesia di tahun 2025. (Humas EBTKE, 2019)

Merespon terhadap komitmen tersebut, saat ini banyak ilmuwan gencar melakukan berbagai penelitian di sektor EBT, salah satunya di bidang hidrogen. Hidrogen memiliki densitas energi yang besar yaitu 142 kJ/g (Rahman, *dkk.*, 2015), sehingga sangat baik untuk dijadikan sumber EBT. Selain itu, pembakaran hidrogen untuk menghasilkan energi hanya menghasilkan uap air sebagai produk samping, berbeda dengan energi fosil yang menghasilkan emisi gas CO₂ dan CH₄. Penggunaan alternatif hidrogen juga dapat diaplikasikan pada *fuel cell* untuk menghasilkan energi listrik. Jenis hidrogen yang bersumber dari bahan organik dikenal dengan istilah biohidrogen. Hidrogen jenis tersebut dapat dihasilkan melalui beberapa metode, antara lain biofotolisis, foto fermentasi, fermentasi gelap. Fermentasi gelap memproduksi biohidrogen melalui mekanisme heterotrof menggunakan glukosa dan

karbon sebagai energi tanpa melibatkan sumber energi berupa cahaya seperti pada proses biofotolisis dan foto fermentasi.

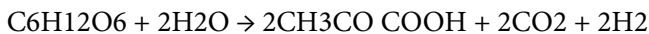
Salah satu sumber glukosa yang dapat digunakan yaitu limbah blotong industri gula dari Pabrik Gula Kabet, Desa Kabet Kabupaten Malang. Pabrik ini mengolah sebanyak 6000 ton tebu dan menghasilkan limbah blotong sebesar 437 ton setiap harinya. (Sasongko, dkk., 2018). Limbah blotong merupakan istilah yang digunakan untuk penyebutan limbah padat tebu. Limbah blotong tersebut belum dimanfaatkan secara maksimal karena sejauh ini hanya dijadikan sebagai pupuk tanaman gratis dan bahan tambahan dalam pembuatan batu bata. Padahal, limbah ini masuk dalam kategori limbah organik dan dapat diolah lebih lanjut menjadi sumber biohidrogen. Limbah ini mengandung 41% senyawa organik sehingga sangat cocok digunakan sebagai hidrolisat, yakni istilah yang digunakan penyebutan senyawa sumber biohidrogen. (Meunchang, dkk., 2005) Selain limbah padat, limbah cair dari Pabrik Gula Kabet juga membawa masalah serius bagi lingkungan sekitar karena kandungan BOD dan CODnya yang tinggi dan tidak memenuhi standar baku nilai mutu air, yaitu masing-masing 22 mg/L dan 28 mg/L. (Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Malang, 2011) Masyarakat sekitar pun mengeluhkan air sumur di sekitar mereka tidak layak konsumsi dan menyebabkan kulit terasa gatal. Berangkat dari berbagai permasalahan yang telah dijelaskan, penulis memiliki gagasan berupa “**Sugarcane Waste Eco Energy (Suscogy): Inovasi Teknologi Pemanfaatan Limbah Cair dan Padat Pabrik Gula Kabet Menjadi Sumber Energi Baru Terbarukan di Desa Kabet Kabupaten Malang Menggunakan Integrasi Sistem Bioreaktor dan *Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*”**. Teknologi ini merupakan suatu sistem terintegrasi yang terdiri dari bioreaktor pengolah substrat limbah cair dan limbah blotong menjadi biohidrogen melalui proses fermentasi gelap dengan bantuan kultur *Clostridium Sp*, selanjutnya biohidrogen akan difiltrasi menggunakan kontraktor membran NPPM (*Nonporous Polymer Membrane*) untuk mendapatkan konsentrasi hidrogen pekat. Kontraktor membran ini merupakan perangkat pemisahan gas melalui suatu membran, dengan cara memisahkan zat pengotor seperti H₂S dan CO₂ untuk dialirkan

ke bagian tangki pembuangan dengan bantuan pompa, sedangkan biohidrogen (bio-H₂) keluar melalui membran sebagai retentat. (Rahman, *dkk.*, 2015) Penyaringan ini bertujuan untuk mendapatkan biohidrogen dengan kemurnian tinggi, serta mencegah zat pengotor untuk masuk ke bagian PEMFC (*Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell*) karena dapat menurunkan performa *fuel cell* tersebut. Selanjutnya, biohidrogen murni dialirkan ke sistem PEMFC yang selanjutnya akan mengkonversi gas hidrogen menjadi energi listrik. Komponen PEMFC terdiri dari elektroda (anoda dan katoda), elektrolit, serta *current collector*. Elektroda yang digunakan pada *fuel cell* ini adalah karbon, baik pada bagian anoda maupun katoda. Elektrolit yang digunakan pada *fuel cell* ini adalah membrane pertukaran ion, biasanya menggunakan jenis polimer *fluorinated sulfonic acid* yang merupakan konduktor proton yang baik. (U.S. Department of Energy Office of Fossil Energy National Energy Technology Laboratory, 2004). Gas biohidrogen akan masuk ke bagian *inlet* PEMFC dan berkontak dengan anoda dan terpecah menjadi proton H⁺ selanjutnya proton tersebut mengalir ke bagian katoda dan berkontak dengan gas oksigen (O₂) menghasilkan uap air, sementara itu aliran elektron mengalir ke *current collector* untuk menangkap energi listrik, Kemudian, energi listrik tersebut dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif pada Pabrik Gula Kerebet, maupun sumber energi listrik bagi warga desa Kerebet mengingat listrik konvensional yang digunakan pada saat ini masih bersumber dari fosil dan menghasilkan emisi gas CO₂. Penggunaan teknologi **Suscogy** dapat berdampak baik bagi pengurangan efek GRK yang disebabkan oleh emisi karbon dioksida tersebut. Mekanisme kerja teknologi ini dijelaskan dalam ilustrasi berikut:



Gambar 1 Ilustrasi Teknologi Suscogy dalam Mengkonversi Limbah Cair dan Limbah Blotong Menjadi Energi Listrik

Pertama-tama, limbah cair dan limbah blotong dari pabrik gula dimasukkan ke dalam bioreaktor dengan penambahan kultur *Clostridium Sp* untuk difermentasi gelap selama 6 hari. Glukosa dalam limbah blotong dipecah melalui reaksi glikolisis oleh kultur tersebut menghasilkan hidrogen dengan reaksi sebagai berikut:



Gas biohidrogen yang masih mengandung zat pengotor keluar melalui outlet bioreaktor untuk dialirkan ke kontraktor membrane yang berisi modul NPPM (*Nonporous Polymer Membrane*) untuk memurnikan gas hydrogen. Zat pengotor kemudian dipompa untuk dialirkan ke tangki pembuangan zat pengotor dan gas biohidrogen melewati bagian filtrasi untuk kemudian masuk ke PEMFC untuk direaksikan dengan O_2 menghasilkan energi listrik dan uap air sebagai produk samping. Energi listrik tersebut dapat digunakan sebagai sumber energi operasional pabrik gula Kregbet, ataupun dialirkan ke *power station* untuk selanjutnya dimanfaatkan oleh masyarakat Desa Kregbet, Kabupaten Malang.

Teknologi **Suscogy** memiliki keunggulan dalam kemampuannya mengkonversi limbah yang sudah tidak terpakai dan dapat mencemari lingkungan yaitu limbah blotong dan limbah cair pabrik gula Krebet menjadi sumber energi baru terbarukan yang murah, lebih berkelanjutan serta ramah lingkungan hanya dengan mengintegrasikan sistem bioreaktor sederhana, kontraktor membran serta PEMFC. Apabila dapat diimplementasikan, tidak hanya permasalahan limbah yang dapat diatasi namun juga warga sekitar dapat merasakan manfaat berupa suplai energi. Bioreaktor berukuran 1500 Liter dapat memberikan suplai energi ramah lingkungan sebanyak 5 kW, dan menggantikan penggunaan batubara sebanyak 7.25 kilogram. (Rahman, dkk., 2015). **Suscogy** pun turut mendukung program SDG's poin ke-7 yaitu "Menjamin Akses energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan dan modern untuk semua."

Melalui teknologi **Suscogy**, penulis berharap terciptanya inovasi yang dapat mewujudkan sumber energi alternatif yang murah, aman, ramah lingkungan serta tidak menyebabkan efek GRK. Serta beberapa saran yang dapat mendukung keberhasilan inovasi ini meliputi:

1. Bagi pemerintah, hendaknya senantiasa mendukung segala bentuk kegiatan yang bertujuan untuk mengurangi dan mengatasi permasalahan limbah serta lebih ketat dalam regulasi pengelolaan limbah demi kenyamanan masyarakat.
2. Bagi Pabrik Gula Krebet, hendaknya senantiasa mengadaptasi inovasi baru dalam pemanfaatan limbah industri gula.
3. Bagi media massa, hendaknya senantiasa mensosialisasikan kepada khalayak mengenai inovasi pemanfaatan limbah menjadi energi ramah lingkungan.
4. Bagi masyarakat Desa Krebet, hendaknya lebih kritis terhadap dampak permasalahan limbah terhadap lingkungan serta berpartisipasi aktif dalam segala upaya yang dilakukan oleh pihak yang bermaksud menanggulangi limbah industri Pabrik Gula Krebet.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Lingkungan Hidup Kabupaten Malang, (2011) Warga Malang Keluhkan Pencemaran Udara Pabrik Gula. (Diakses dari <https://jatim.antaranews.com/berita/72912/warga-malang-keluhkan-pencemaran-udara-pabrik-gula> pada tanggal 27/4/2021)
- Humas EBTKE. (2019) Kejar Target Bauran Energi 2025, Dibutuhkan Investasi EBT Hingga USD36,95 Miliar. (Diakses dari <https://ebtke.esdm.go.id/post/2019/12/06/2419/kejar.target.bauran.energi.2025.dibutuhkan.investasi.ebt.hingga.usd3695.miliar> pada tanggal 27/4/2021)
- Kementerian ESDM (2006) BLUEPRINT PENGELOLAAN ENERGI NASIONAL 2006 – 2025. Jakarta.
- Meunchang S, dkk. (2005). Co-composting of Filter Cake and Baggase, by-Product from a Sugar Mill. *Biores Technol.* 96:437-442.
- Rahman, dkk. (2015) Overview of Biohidrogen Production Technologies and Application in Fuel Cell. *American Journal of Chemistry* 2015, 5(3A): 13-23 DOI:10.5923/c.chemistry.201501.03
- Sasongko, Pramono dan Tantalu, Lorine. (2018). Potensi Limbah Blotong PG. Kreet Sebagai Bahan Baku Produksi Biogas dalam Upaya Pengembangan Industri Terintegrasi. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur (SENTIKUIN) VOLUME 1 Tahun 2018*, page A3.1-A3.6. ISSN : 2622-2744 (print), ISSN : 2622-9730 (online)
- Service, RF. (2005). Is it time to shoot for the Sun?, *Science Vol 309*, July 22, 2005, 548-551.



Artikel 5

Antara Energi Baru Terbarukan dan Energi Baru Tanpa Harapan; Potensi Sampah Plastik bagi Pembangunan Energi Berkelanjutan

Glenn Lucas Hendrajaya

(Institut Teknologi Nasional – ITENAS, Bandung)

Konsep EBT (Energi Baru Terbarukan) yang dapat diperbarui tidak dapat menjadi solusi bagi energi fosil. EBT tidak pantas untuk itu. Tidak, selama sumbernya masih bergantung pada alam yang ada di bumi ini. Lubang besar pada penerapan konsep EBT merupakan jalan buntu bagi masa depan yang berkelanjutan.

A. Dapat Diperbarui Saja Tidak Cukup

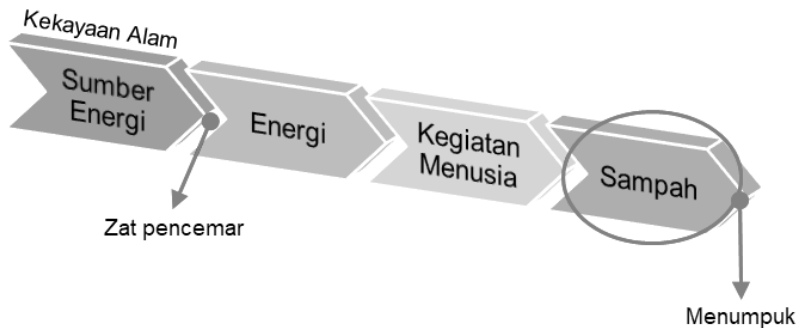
Sekarang ini, mulai banyak EBT yang sedikit demi sedikit menggantikan energi fosil di Indonesia. Banyak pembangkit listrik tenaga EBT mulai menopang pasokan listrik negara. EBT menjadi sangat diminati karena konsep “berkelanjutan” yang dibangun akibat sumbernya yang dapat diperbarui. Namun, tidak baik jika melihat dari sisi “dapat diperbarui”nya saja.

Pembangkit listrik di Indonesia saat ini masih bergantung pada energi fosil. Sebagian besar energi tersebut berasal dari pembakaran batu bara yang terpasang di PLTU (Pembangkit Listrik Tenaga Uap).¹ Pembakaran batu bara ini menimbulkan banyak polutan yang mencemari udara, air, bahkan tanah. Polutan tersebut dapat berupa senyawa NOx, SOx, CO, CO2 dan material partikulat. Maka dari itu, masalah dari energi fosil ini bukan hanya tidak dapat diperbarui, tapi juga tidak ramah lingkungan.

¹ Thomas, “Energi Fosil Sumbang 85% Listrik RI per Mei 2020.”

Masalah yang sama timbul pada berbagai pembangkit listrik bertenaga EBT seperti tenaga surya, bayu/angin, maupun geotermal. Masalah utama pada penerapan panel surya ada pada kerusakan baterai.² Limbah yang dihasilkan dari baterai rusak ini dapat menghasilkan limbah beracun yang berbahaya bagi lingkungan. PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) dapat mengubah iklim lokal maupun global akibat berubahnya turbulensi udara pada daerah atmosfer. Selain itu, dapat mengurangi populasi burung dan kelelawar karena mengganggu proses migrasi.³ Selanjutnya, PLTG (Pembangkit Listrik Tenaga Geotermal) mengharuskan pembukaan lahan hutan dan proses pengeborannya melepaskan banyak gas berbahaya.⁴ Jadi, sumber energi yang dapat diperbarui saja tidak cukup, tapi juga harus ramah lingkungan.

B. Lubang Besar Konsep Pemanfaatan Alam sebagai Sumber Energi



Masalah sebenarnya dari semua penghasil energi ini yaitu manusia mengeksploitasi kekayaan alam yang ada di bumi, kemudian mengubahnya menjadi energi (mengeluarkan zat pencemar), kemudian menggunakannya untuk berkegiatan, lalu berakhir pada timbunan sampah. Tanpa disadari, yang terjadi adalah berkurangnya kekayaan alam, bertambahnya zat pencemar, lalu berakhir pada kekayaan sampah. Proses ini menyisakan dua lubang besar yaitu terus meningkatnya zat pencemar dan kekayaan sampah. Contoh konkretnya yaitu saat

2 Djamin, "Penelitian Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya," 221-225

3 Antonius, "Dampak Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Angin."

4 Falah, "Mengapa batu bara masih digunakan."

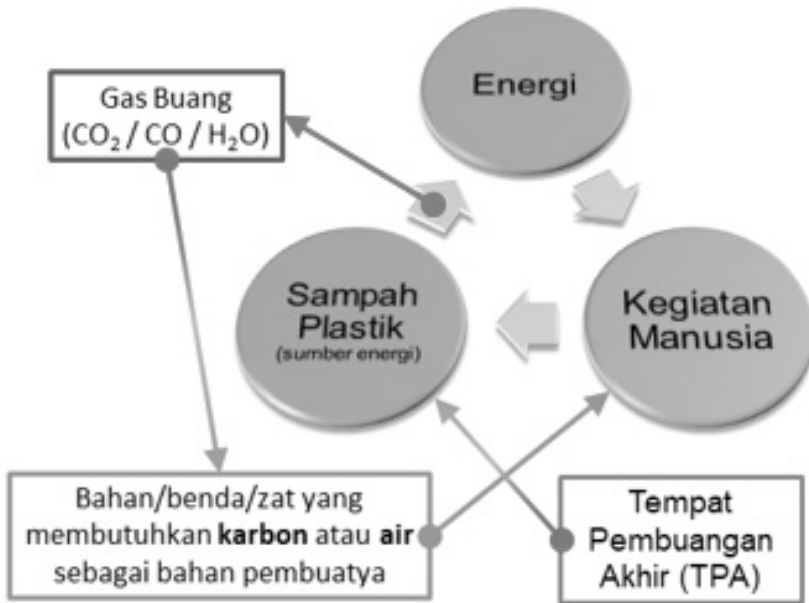
mengambil batu bara, kemudian mengubahnya menjadi energi dengan membakarnya (terdapat zat pencemar), lalu menggunakannya untuk berkegiatan, kemudian berakhir pada sampah di TPA (Tempat Pembuangan Akhir). Hal yang terlupakan adalah bahwa setiap hari batu bara baru terus dibakar dan terus merusak lingkungan dengan zat pencemar dan sampahnya. Begitu juga yang terjadi pada banyak EBT yang harus memproduksi baterai berbahan berbahaya, membuka lahan hutan, ataupun merusak ekosistem. Maka dari itu, dibutuhkan konsep yang dapat menambal dua lubang maut tersebut.

Manusia harus menggunakan energi untuk berkegiatan, kemudian kegiatan tersebut menghasilkan sampah. Sampah yang terus menumpuk dan sulit terurai adalah sampah plastik. Kini, gerakan mengurangi sampah plastik sudah buntu pada gerakan 3R (*Reduce, Reuse, and Recycle*). Namun, volume sampah plastik yang dikurangi jauh lebih sedikit dari yang berakhir di TPA. Pertanyaannya adalah, mengapa sampah tersebut dibuat berakhir? Mengapa tidak membuat suatu konsep agar seluruh kegiatan tersebut menjadi sebuah siklus tanpa lubang, sehingga tidak ada sampah plastik yang berakhir di TPA? Siklus tanpa lubang ini dapat dibuat dengan adanya energi, kegiatan manusia, sampah plastik sebagai sumber energi, dan daur ulang emisi.

C. Potensi Sampah Plastik

Sampah sebagai energi sudah lama diterapkan pada PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah). Namun, kehadirannya menjadi masalah baru akibat zat berbahaya yang dihasilkannya seperti dioksin dan furan. Hal ini terjadi karena PLTSa membakar semua sampah plastik, organik dan B3 tanpa pemilahan.⁵ Maka dari itu, pembakaran harus difokuskan pada sampah plastik saja. Selanjutnya, kadar air yang sedikit dalam sampah plastik membantu mengurangi energi yang diperlukan untuk pembakaran.

⁵ Azhani, WK, "Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa)."



Plastik merupakan benda yang tersusun oleh molekul-molekul dengan ikatan polimer. Polimer merupakan molekul yang sangat panjang yang tersusun atas molekul kecil yang saling berikatan. Polimer umumnya tersusun atas atom C, H, dan beberapa unsur nonlogam lain.⁶ Berkat ikatan polimer tersebut, plastik menyimpan energi yang lebih besar dibanding jenis sampah lain. Perbandingannya dengan jenis sampah lain dan yang didapat dari batu bara dapat dilihat pada dua tabel berikut.

78

No	Komponen	kkal/kg	Tingkatan kualitas batubara		
		*1	No	Jenis Batubara	Nilai Kalori kkal/kg
1	Organik	3357.97	1	Gambut	300 – 2200
2	Kertas	4331.08	2	Lignit	2400 – 4800
3	Plastik	5166.21	3	Subbituminous	4600 -6400
4	Kaca	68.27	4	Bituminous	5700 – 8300
5	Kain	4242.53	5	anthracite	6200 – 7900
6	Karet	4270.51			
7	Kaleng	37.62			

*Hasil Penelitian

Bahkan, energi yang dimiliki plastik lebih besar dari jenis batu

6 Arnata, "Teknologi Polimer."

7 Salim, "Analisis Karakteristik Fisik dan Kimia Sampah."

8 Bono, dkk, "Analisis Konsumsi Batubara Spesifik," 50-53.

bara gambut dan lignit. Pertanyaan selanjutnya adalah, “Bagaimana mengubah energi yang tersimpan tersebut menjadi energi listrik, sekaligus menutup dua lubang pada kasus sebelumnya?”. Jawabannya adalah dengan cara dibakar. Ya, dibakar.

Ikatan polimer plastik yang dibakar sempurna menghasilkan senyawa CO₂ (karbondioksida) atau CO (karbonmonoksida), H₂O (air), dan energi dalam bentuk panas. Energi panas inilah yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Unsur penyusun plastik yang didominasi oleh karbon dan hidrogen dapat membuat fokus permasalahan lingkungan hanya pada CO₂ dan CO saja. Hal ini dikarenakan hasil pembakaran sempurna dari ikatan polimer plastik hanya berupa CO₂ atau CO dan H₂O saja.⁹ Karbondioksida yang dihasilkan dapat diolah kembali menjadi bahan pembuatan semen seperti CaCO₃,¹⁰ sehingga dapat meningkatkan pembangunan di Indonesia. Selain itu, dapat juga direaksikan dengan bahan kimia lain untuk dijadikan bahan-bahan untuk kebutuhan laboratorium. Bahkan, perusahaan Air Products menjual CO₂ untuk berbagai keperluan industri seperti pendinginan makanan, makanan berkarbonasi, fabrikasi logam, dan masih banyak lagi.¹¹ Banyak yang bisa dilakukan dengan emisi CO₂ yang dihasilkan ini. Bahkan, H₂O yang dihasilkan dapat dikumpulkan melalui proses kondensasi untuk menyumbang kebutuhan air yang ada.

Perbedaan energi konvensional dan EBT dengan sampah plastik adalah sumbernya. Jika energi konvensional mengeksploitasi alam sebagai sumbernya, maka dalam konsep ini yang dieksploitasi adalah sampah yang dihasilkan masyarakat termasuk yang berada di TPA. Jika EBT membutuhkan alat-alat modern mahal yang menghasilkan senyawa-senyawa baru yang lebih berbahaya, maka dalam konsep ini yang dihasilkan adalah produk bermanfaat yang dapat meningkatkan sosial ekonomi negara. Jika semua sumber energi itu menghasilkan sampah plastik, maka dalam konsep ini jumlah sampah plastik diturunkan.

9 Tidak semua jenis plastik, contohnya polivinilklorida (PVC) dapat menghasilkan gas klor yang beracun ketika dibakar.

10 Soemargono dan Mu'tasim, “Pembuatan Kalsium Karbonat,” 14-21.

11 Air Products, “Karbon Dioksida.”

D. Sumber dan Keterjangkauan

Sumber sampah plastik di Indonesia tidak usah ditanya lagi. Indonesia merupakan negara penghasil sampah plastik ke-2 terbanyak di dunia.¹² Selanjutnya, sudah banyak TPA di Indonesia yang ditutup karena penuh oleh sampah.¹³ Selain itu, Indonesia juga masih banyak mengimpor sampah dari negara lain.¹⁴ Jadi, Indonesia sama sekali tidak kurang dalam menghasilkan sampah plastik, melainkan berlebihan. Sumbernya yang ada dimana-mana dapat menjadikan sumber energi ini sangat mudah diambil dan murah. Selain itu, menjadi dapat diperbarui karena masyarakat menghasilkan sampah plastik baru setiap hari dan terdapat TPA yang selalu siap dieksploitasi. Masyarakat yang dekat dengan sumber energi (sampah plastik) ini juga menjadikannya lebih mudah berkontribusi dalam siklus ini (pemilahan sampah). Jumlah masyarakat Indonesia yang sangat banyak menyebabkan tidak pernah kurangnya dukungan dalam memberlangsungkan siklus ini.

Indonesia dapat meniru Singapura yang dapat memproses sampah-sampah plastik menjadi energi hanya dalam waktu satu hari, tetapi tetap menghasilkan buangan yang ramah lingkungan.¹⁵ Selain itu, Indonesia juga dapat meniru Jepang yang dapat melakukan pemilahan sampah plastik yang wajib dilakukan masing-masing rumah tangga.¹⁶ Namun, jika di Jepang tujuannya adalah untuk didaur ulang, maka di Indonesia dijadikan sumber energi, kemudian emisinya yang didaur ulang. Kemungkinan, efek dari pemilahan ini tidak berdampak langsung kepada masyarakat, sehingga mereka enggan melakukannya. Maka dari itu, harus terjadi ketergantungan terlebih dahulu terhadap sumber energi ini, sehingga setiap orang mau tidak mau harus bertanggung jawab atas pemilahan sampah mereka.

12 Wahyuni, "Indonesia Penyumbang Sampah Plastik Terbesar Ke-2 di Dunia."

13 CNN Indonesia, "Risma Sebut Masalah Sampah di Jakarta Menakutkan."

14 Siregar, "Kenapa Indonesia Impor Sampah?"

15 Nas. "The Exiting Journey of Trash."

16 Vani, "Buang Sampah Makanan di Jepang."

E. Tantangan dan Kesimpulan

Tantangan terbesar dalam penerapan konsep ini adalah terkait edukasi. Edukasi ini harus menyadarkan masyarakat bahwa sumber energi yang dapat diperbarui saja tidak cukup, tetapi juga harus ramah lingkungan. Selanjutnya, edukasi tentang pentingnya memilah sampah untuk terus berputarnya siklus ini. Terakhir, yaitu harus adanya standar jenis sampah plastik yang aman untuk dibakar dan alat-alat keamanan saat berada di TPA, sehingga eksploitasi TPA dapat benar-benar terjadi.

Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa sumber energi konvensional dan EBT masih memiliki banyak kekurangan dalam pelaksanaannya. Solusi yang ditawarkan EBT pun hanya menjadi napas pendek bagi keberlanjutan yang diharapkan. Oleh karena itu, dengan hadirnya konsep ini, diharapkan dapat menambal lubang tak kasat mata yang ada pada konsep sebelumnya. Karena yang pasti, akhir bahagia tidak ada dalam dunia yang berkekurangan. Namun, paling tidak masih ada harapan jika kekurangan itu dimanfaatkan.

Daftar Pustaka

- Air Products, “Karbon Dioksida”, <http://www.airproducts.co.id/Products/Gases/Carbon-Dioxide.aspx>, diakses pada 11 April 2021 pukul 01.05.
- Antonius. 2012. “Dampak Lingkungan Pembangkit Listrik Tenaga Angin (selesai)”, https://kbr.id/nasional111-2012/dampak_lingkungan_pembangkit_listrik%20tenaga_angin%20selesai_/12924.html, diakses pada 9 April 2021 pukul 11.29.
- Arnata, I Wayan dan Bambang Admadi H. 2015. “Teknologi Polimer”, https://simdos.unud.ac.id/uploads/file_pendidikan_dir/8ffad0a5ccff31f14f934e1bad254493.pdf, diakses pada 9 April 2021 pukul 11.38.
- Azhani, WK Faizin, 2020, “Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa), Solusi atau Masalah Baru ?”, <https://kumparan.com/wk-faizin/pembangkit-listrik-tenaga-sampah-pltsa-solusi-atau-masalah-baru-1uQbrPU3LSM/full>, diakses pada 18 April 2021 pukul 12.04

- Bono, dkk. 2017. “Analisis Konsumsi Batubara Spesifik Ditinjau Dari Nilai Kalor Batubara dan Perubahan Beban di PLTU Tanjung Jati B Unit 2”, dalam *Jurnal Teknik Energi Vol 13* (hlm. 50-53). Semarang: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang.
- CNN Indonesia, “Risma Sebut Masalah Sampah di Jakarta Menakutkan”, <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20190730204800-20-416926/risma-sebut-masalah-sampah-di-jakarta-menakutkan>, diakses pada 9 April 2021 pukul 12.06
- Djamin, Martin. 2010. “Penelitian Penerapan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dan Dampaknya Terhadap Lingkungan”, dalam *Jurnal Teknik Lingkungan Vol 11* (hlm. 221-225). Jakarta: Peneliti di Pusat Pengkajian dan Penerapan Teknologi Konversi dan Konservasi Energi – BPPT.
- Falah, Fajrul. 2020. “Mengapa batu bara masih digunakan sebagai sumber energi listrik walaupun ia merusak lingkungan?”, <https://id.quora.com/Mengapa-batu-bara-masih-digunakan-sebagai-sumber-energi-listrik-walaupun-ia-merusak-lingkungan/answer/Fajrul-Falah?ch=3&share=ee11a7c8>, diakses pada 9 April 2021 pukul 11.30.
- Nas. 2020. “The Exiting Journey of Trash”, <https://www.instagram.com/p/B8Y5R78JHVH/>, diakses pada 9 April 2021 pukul 12.16.
- Salim, Suhendra. 2020. “Analisis Karakteristik Fisik dan Kimia Sampah Sejenis Rumah Tangga Pada Hotel Di Kota Yogyakarta”, <http://docplayer.info/192953890-Analisis-karakteristik-fisik-dan-kimia-sampah-sejenis-rumah-tangga-pada-hotel-di-kota-yogyakarta.html>, diakses pada 9 April 2021 pukul 21.53.
- Siregar, Efrem Limsan, 2019. “Kenapa Indonesia Impor Sampah?”, <https://www.cnbcindonesia.com/news/20190706182210-4-83157/kenapa-indonesia-impor-sampah>, diakses pada pukul 12.07.
- Soemargono dan Mu’stasim. B. 2007. “Pembuatan Kalsium Karbonat dari Bittern dan Gas Karbon Dioksida Secara Kontiyu”, dalam *Reaktor, Vol. 11, No. 1* (hlm. 14-21).

- Thomas, Vincent. F. 2020. “Energi Fosil Sumbang 85% Listrik RI per Mei 2020, Terbanyak PLTU”, <https://tirto.id/energi-fosil-sumbang-85-listrik-ri-per-mei-2020-terbanyak-pltu-fU1K>, diakses pada 9 April 2021 pukul 11.16.
- Vani. 2021. “Buang Sampah Makanan di Jepang”, <https://www.instagram.com/p/CM9M3S0HQdP/>, diakses pada 9 April 2021 pukul 12.20.
- Wahyuni, Tri. 2016. “Indonesia Penyumbang Sampah Plastik Terbesar Ke-2 di Dunia”, <https://www.cnnindonesia.com/gaya-hidup/20160222182308-277-112685/indonesia-penyumbang-sampah-plastik-terbesar-ke-dua-dunia>, diakses pada 9 April 2021 pukul 12.04.



Artikel 6

Jelly Green Flame Stove: Inovasi Teknologi Gel Etanol Selulosa Dari Tongkol Jagung Sebagai Bahan Bakar Nabati Masa Depan Untuk Aplikasi Flowtune Di Desa Humbang Hasundutan, Kabupaten Tanah Karo

Muhammad Gading Akbar

(Teknik Kimia, Universitas Sumatera Utara – USU)

PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar fosil sebagai sumber energi utama menyebabkan munculnya masalah di seluruh dunia seperti lingkungan polusi dan pemanasan global salah satunya penggunaan gas LPG yang mayoritas digunakan untuk memasak yaitu 13,08% yang mana produksi gas LPG Indonesia 70% berasal dari impor. Oleh karena itu, diperlukan suatu solusi untuk mencari energi terbarukan agar dapat mengurangi konsumsi bahan bakar fosil. Salah satu energi alternatif yang sedang dilirik oleh dunia yaitu etanol selulosa yang mewakili 40% dari total konsumsi energi di dunia. Sehingga etanol selulosa sangat berpotensi diterapkan di Indonesia dikarenakan jumlah bahan baku selulosa dari biomassa sangatlah melimpah dikarenakan Indonesia merupakan Negara Agraris. Secara konvensional, etanol cair memiliki beberapa kelemahan diantara sangat mudah terbakar secara langsung dan mudah menguap dikarenakan bersifat higroskopis. Sehingga pada essay ini, penulis menawarkan suatu gagasan untuk mengembangkan etanol selulosa menjadi produk yang lebih baik yang akan diterapkan untuk bahan bakar nabati pada kompor yang didesain khusus yaitu dengan memodifikasinya menjadi bentuk gel yang memiliki sifat tidak berbau menyengat seperti etanol konvensional sehingga lebih aman, dan kualitas pembakaran setara gas LPG.

Gel etanol selulosa disintesis dari α -selulosa limbah tongkol jagung *food estate* Humbang Hasundutan, Kab. Tanah Karo yang merupakan

daerah pertanian jagung terbesar di Sumatera Utara yang memiliki potensi produksi jagung mencapai 6-7 ton per hektarnya pada tahun 2021 yang mana 30% adalah limbah tongkol jagung yang belum dimanfaatkan secara maksimal. Selain itu, di desa Humbang Hasundutan jumlah pasokan gas LPG 3 kg cukup langka dan memiliki harga yang mahal. Oleh karena itu, inovasi gel etanol selulosa yang diintegrasikan dengan kompor desain khusus sangat berpotensi diterapkan di daerah tersebut. Proses pembuatan gel nabati yaitu **zat lignoselulosa** tongkol jagung yang mengandung 48% selulosa dilakukan proses fermentasi dengan mikroorganisme *Zymomonas mobilis* dan *Saccharomyces cerevisiae* dan didistilasi azeotrop pada suhu 78,5° sehingga terbentuk etanol selulosa yang kemudian direkatkan dengan zat pengental *carboxymethyl cellulose* (CMC) yang mana menurut penelitian Dr. Yu Wang dari Iowa State University menyebutkan bahwa etanol tongkol jagung mengeluarkan gas rumah kaca 50% lebih sedikit daripada etanol jagung. Selain itu, untuk kompor gel etanol selulosa dikonstruksi dengan memanfaatkan teknologi flowtune yang mana disediakan tabung gel dan ditekan secara otomatis sehingga tercipta pembakaran selaras. **Keunggulan** produk kompor flowtune berbahan bakar gel etanol selulosa diantaranya aman dan nyaman, simple dan ergonomis.

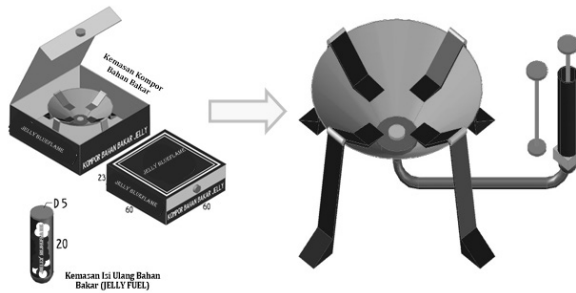
Tujuan inovasi ini untuk menawarkan suatu gagasan inovasi teknologi baru berupa bahan bakar alternatif untuk menurunkan penggunaan gas LPG berbasis gel etanol selulosa dari pemanfaatan limbah tongkol jagung yang merupakan hasil pertanian lokal Humbang Hasundutan yang termodifikasi kompor flowtune sehingga lebih ramah lingkungan, praktis, dan efisien.

ISI

Desain konsep dari inovasi ini yaitu membuat gel etanol selulosa dari treatment hidrolisis limbah tongkol jagung dengan memanfaatkan proses fermentasi menggunakan mikroorganisme *Zymomonas mobilis* dan *Saccharomyces cerevisiae* yang didistilasi secara azeotrop kemudian dipadatkan dengan bahan perekat berupa *carboximethyl cellulose* (CMC) dikarenakan etanol selulosa memiliki sifat mudah menguap

dan higroskopis untuk menurunkan penggunaan gas LPG yang bersifat volatil, mudah meledak dan bersifat racun jika terhirup. Tongkol jagung memiliki kandungan selulosa 48% dan jumlahnya sangat melimpah di food estate Humbang Hasundutan, Kab. Tanah Karo Sumatera Utara sehingga memiliki potensi sebagai bahan baku utama pembuatan gel etanol selulosa. **Proses pembuatan gel etanol selulosa** yaitu pertama limbah tongkol jagung dikeringkan pada suhu 80°C selama 3 jam dan dihaluskan dengan alu mortal kemudian diblender dan diayak 40 mesh serta ditimbang 90 gram. Kemudian ditambah 300 mL NaOH 1 M dan dihomogenisasi menggunakan *shaker* dengan kecepatan 100 rpm selama 3 menit dan dipanaskan dalam *autoclave* pada suhu 121°C selama 15 menit. Setelah itu, sampel disaring dan dibilas dengan 3000 mL akuades sampai pH netral. Bagian holoselulosa tongkol jagung dikeringkan dalam oven sampai berat konstan. Selanjutnya dilakukan sakarifikasi dan fermentasi serentak yaitu substrat hidrolisat tongkol jagung dengan konsentrasi 10%wt dimasukkan dalam tabung reaksi ukur 30 mL dan ditambahkan media nutrisi (*yeast* ekstrak 1%wt dan pepton 2%wt) dan buffer sitrat hingga 12 mL pH 4,5 kemudian disterilisasi pada suhu 121 °C selama 15 menit. Setelah dingin, ditambahkan enzim selulase 1,5 mL dengan konsentrasi 30 FPU (v/v) dan starter *Z. mobilis* : *S. cerevisiae* dengan konsentrasi 2:1 (v/v) hingga total filtrat 15 mL. Sampel tersebut diinkubasi di dalam *shaker water bath* pada suhu 38°C dengan kecepatan goyangan *reciprocating shaker* 150 rpm selama 72 jam. Filtrat dari hasil inkubasi tersebut dianalisis kadar etanolnya. Hasil etanol selulosa dijadikan sebagai gel etanol selulosa yaitu dengan menambahkan zat pengental berupa CMC yang telah digelamkan dengan aquadest yang kemudian diaduk secara perlahan lahan sampai homogen selama 45 menit sehingga berbentuk gel.

Cara kerja teknologi *jelly greenflame stove* yaitu gel etanol selulosa dimasukkan kedalam wadah berbentuk tabung, kemudian dipompa atau ditekan sesuai dengan besarnya api yang diinginkan menggunakan metode flowtune. Berikut ini prototipe *jelly greenflame stove* :



Gambar 1. Ilustrasi Prototipe *Jelly Greenflame Stove* Berbasis Gel Etanol Selulosa

Gel etanol selulosa yang termodifikasi kompor ramah lingkungan yang dikemas dalam bentuk produk *Jelly Greenflame Stove*, memiliki dampak positif terhadap **efisiensi** yaitu kualitas api yang tahan lama dan lebih panas, aman dan tidak mudah meledak karena berbentuk jelly, serta apinya bersifat *greenflame* tanpa menghasilkan emisi asap atau jelaga yang banyak dikarenakan hasil dari fermentasi bahan organik. Selain itu lebih hemat dikarenakan adanya sistem pengontrol otomatis berbasis *flowtune* yang mana teknologi ini membantu aliran bahan bakar yang diinjeksi dengan tekanan yang diatur sehingga lebih selaras dengan keperluan bahan bakar yang ingin digunakan operator yang berdampak lebih efektif dan hemat dalam konsumsi bahan bakar tersebut.

Kemudian dampak positif terhadap **ekonomi** yaitu harga bahan bakar jelly ini sangat terjangkau Rp 4.500/500gr, karena cukup dengan etanol kadar 70 - 96% sehingga lebih ekonomis dalam penggunaan produk ini untuk memasak terkhusus masyarakat Desa Humbang Hasundutan sebagai solusi penurunan tingkat konsumsi LPG yang kedepannya dapat membangkitkan Indonesia menjadi raja bahan bakar nabati ataupun pengeksport serta sekaligus menjadikan Indonesia lebih bersih karena memanfaatkan limbah biomassa tongkol jagung dari hasil pembuangan panen perkebunan jagung di food estate Humbang Hasundutan, Kab. Tanah Karo.

PENUTUP

Produk *jelly greenflame stove* yang termodifikasi bahan bakar padat gel etanol selulosa memiliki potensi dalam menurunkan konsumsi gas

LPG yang masih impor, mudah meledak dan langka. Dimana bahan bakunya yang mudah diperoleh dan melimpah serta mempunyai dampak positif terhadap masyarakat khususnya Humbang Hasundutan dikarenakan produk ini menggalakkan kepedulian terhadap lingkungan. Beberapa **rencana jangka panjang** untuk memastikan produk inovasi ini bersifat berkelanjutan dan menghadapi resiko usaha yang kemungkinan dialami oleh produk inovasi ini maka perlu dilakukan **arah dan strategi pengembangan produk** guna meningkatkan kualitas produk yaitu senantiasa melakukan *continuous improvement*, yaitu menggunakan teknologi-teknologi dengan konsep terbaru dan mengembangkan produk inovasi dengan memperluas jaringan distribusi nasional dan internasional serta membuka cabang toko sehingga akan memperluas lapangan pekerjaan. Dengan terealisasinya pengembangan tersebut, produk *jellyfuel* berbasis etanol selulosa gel dapat menggantikan penggunaan energi fosil. Beberapa hambatan yang menjadi faktor utama pengembangan, yaitu :

a. Bahan Baku

Limbah tongkol jagung sangat mudah ditemukan di Indonesia salah satunya Sumatera Utara karena penyebarannya yang merata hampir disetiap wilayah dan merupakan perkebunan lokal yang telah banyak dibudidaya tanaman jagung. Namun, karena pemanfaatan limbah tersebut masih kurang yang hanya dijadikan pupuk kompos maupun pakan ternak yang memiliki nilai ekonomis rendah. Hal ini menyebabkan sulitnya mencari relasi untuk pengadaan tongkol jagung sebagai bahan baku pembuatan produk etanol selulosa gel. Adapun solusi dari kendala tersebut adalah menjalin kerjasama dengan mitra perkebunan jagung rakyat/pemerintah dan industri pakan jagung dengan memberikan suatu penyuluhan dan edukasi bahwa limbah tongkol jagung ini memiliki potensi sebagai bahan baku produk bahan bakar nabati yang memiliki nilai ekonomis yang sangat tinggi dan dapat mengatasi krisis energi.

b. Pemasaran

Jelly Greenflame Stove memiliki beberapa kelebihan dibandingkan produk kompor yang menggunakan gas LPG namun karena tergolong

teknologi baru, kepercayaan konsumen terhadap produk ini masih rendah. Selain itu, jaringan kerjasama dalam hal pemasaran dan promosi produk menjadi kendala dalam pengembangan produk ini. Solusi untuk permasalahan tersebut yaitu perlu dilakukan pengiklanan dan promosi dengan gencar dengan memberikan motto : **kompor ramah lingkungan anti meledak dengan etanol selulosa gel**, melalui berbagai media guna mensosialisasikan *jelly fuel*, maupun mulut ke mulut kelebihan produk ini di masyarakat luas. Selain itu, kemitraan dari instansi atau perusahaan energi juga dibutuhkan dalam membantu memperluas pemasaran produk ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Albert, A. 2016. Pembuatan Bioetanol Menggunakan *Zymomonas mobilis* Dari Limbah Tongkol Jagung. Skripsi, Universitas Tanjungpura : Pontianak.
- Fadly, K. (2015) 'Pembuatan Bioetanol Dari Limbah Tongkol Jagung Menggunakan Proses Simultaneous Sacharificatian and Fermentation (SSF) Dengan Variasi Konsentrasi Enzim Dan Waktu Fermentasi', Jom Fteknik, 2(2), p. 1.
- Hetanews.com, 2019. Warga Mengeluh, Gas 3 Kg di Humbahas Capai Rp 35 Ribu. URL: <https://www.hetanews.com/article/145428/warga-mengeluh-gas-3-kg-di-humbahas-capai-rp-35-ribu>, Diakses pada 28 April 2021
- Itelima, J Ogbonna, S. 2013. Simultaneous Saccharification and Fermentation of Corn Cobs to Bio-Ethanol by Co-Culture of *Aspergillus Niger* and *Saccharomyces Cerevisiae*. *International Journal of Environmental Science and Development*, 4(2):1-10
- Rencana Strategis (RENSTRA) Dinas Pertanian Kabupaten Humbang Hasundutan Tahun 2016-2021.
- Ruhinur, R. et al. (2019) 'Optimalisasi Limbah Tongkol Jagung pada Pembuatan Bioetanol dan Karakteristiknya dengan Perlakuan Periode Fermentasi dan Konsentrasi Ragi', *Jurnal Teknologi Agro-Industri*, 6(2), p. 81. doi: 10.34128/jtai.v6i2.94.



Artikel 7

**Bioetanol Dari Rumput Laut
Sebagai Bahan Bakar Mesin Perahu
Di Kampung Teluk Kadere,
Bontang, Kalimantan Timur**

Mpu Alit

(Politeknik Negeri Jakarta – LNG Academy)

LATAR BELAKANG

Dewasa ini, penggunaan bioetanol sebagai bahan bakar terbarukan untuk kendaraan bermotor di berbagai negara terus dikembangkan, termasuk di antaranya adalah negara Indonesia. Secara garis besar sistem penyediaan bahan bakar di Indonesia masih berorientasi pada penggunaan energi fosil. Padahal sudah tersedia berbagai macam energi baru terbarukan (EBT), salah satu diantaranya adalah bioetanol. Menurut laporan US EPA pada tahun 2020, sektor transportasi (dalam hal ini kendaraan bermotor, perahu, kereta, dan moda transportasi lain) menyumbang 29% dari total emisi gas hasil pembakaran dari seluruh aspek kehidupan. Dalam rangka mengurangi emisi dari pembakaran bahan bakar fosil, dikeluarkan suatu regulasi berupa Peraturan Menteri ESDM No. 01 tahun 2013 tentang Pengendalian Penggunaan Bahan Bakar Minyak. Zat-zat emisi pembakaran berdampak negatif kepada lingkungan diantaranya menjadi faktor utama terjadinya pemanasan global dan penyebab fenomena efek rumah kaca.

Sedemikian pula hal yang terjadi di kampung Teluk Kadere, mesin-mesin perahu yang beroperasi masih menggunakan bahan bakar fosil berupa bensin premium dan memerlukan bahan bakar minimal 2 Liter dalam sekali melaut. Jarak terdekat Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) yang dapat beroperasi saat ini dengan kampung teluk kadere berkisar 30 – 40 km yaitu terletak di SPBU Tanjung Laut,

Bontang Selatan. Warga sekitar biasa membeli kebutuhan bahan bakar mereka secara mengecur di warung-warung terdekat yang tentunya harga bensin tersebut akan lebih mahal dibandingkan dengan membeli langsung di SPBU. Belum lagi apabila terjadi kelangkaan bahan bakar yang notabene sering terjadi di Bontang mengakibatkan kebutuhan bakar masyarakat tidak dapat terpenuhi.

Di sisi lain, kampung yang terletak di atas air laut ini memiliki kekayaan hayati berupa rumput laut. Rumput laut terhampar luas di sepanjang laut yang tidak terhitung jumlahnya. Namun sayangnya pemanfaatan rumput laut di kampung ini terbilang jauh dari kata maksimal. Di kampung Teluk Kadere saat ini hanya terdapat seorang pengusaha yang memiliki tambak rumput laut dengan kapasitas produksi sejumlah 500 kg sampai dengan 1 ton rumput laut dalam sekali proses panen yang biasa dilakukan sebulan sekali.

Menurut Farid Wajdi Rahim selaku Kepala Bidang (Kabid) Perikanan, Budi Daya, dan Penguatan Daya Saing Produk Dinas Kelautan dan Perikanan (DKP) Kaltim, pihaknya kini berupaya memprioritaskan pengembangan budi daya dan pengolahan rumput laut di dua daerah yaitu Bontang dan Kutai Timur. “Daerah mana pun yang terdapat hamparan laut yang luas, cocok untuk budi daya rumput laut. Namun untuk prioritas pengembangannya, yang paling potensial terdapat di Bontang dan Kutai Timur,” sambungnya (berdasarkan wawancara oleh Benny Oktariyanto pada Selasa, 21 April 2020) .

TUJUAN ESAI

Pernyataan tersebut sejalan dengan tujuan penulisan esai ini, yaitu sebagai upaya memaksimalkan pemanfaatan rumput laut di Kota Bontang secara umum dan kampung Teluk Kadere secara khusus. Dengan harapan masyarakat mampu memenuhi kebutuhan bahan bakar mereka sendiri karena bioetanol yang dihasilkan nantinya dapat digunakan sebagai campuran bensin premium sebagai bahan bakar mesin perahu sehingga tercipta swasembada energi di kampung Teluk Kadere.

Hal ini menjadi fokus penulisan esai dikarenakan untuk prioritas saat ini, masyarakat mengumpulkan rumput laut hanya sebagai produk

jual sebagai rumput laut kering saja. Petani rumput laut cenderung menyukai proses penjualan rumput laut kering karena dinilai lebih cepat dan tidak memerlukan proses pengolahan yang sulit. Setelah panen, rumput laut dijemur sampai akhirnya kering dan siap untuk dijual. Mereka enggan dan belum memiliki minat untuk mengolah rumput laut menjadi produk lain yang memiliki nilai jual yang lebih tinggi, misalnya sebagai bioetanol. Padahal, terdapat kendala di dalam menjual rumput laut kering, yaitu perihal permintaan dari konsumen dan harga dimana kedua hal ini sama-sama tidak menentu. Harga rumput laut sendiri saat ini berkisar di harga Rp 10.000,00 sampai dengan Rp16.000,00 per kilogram untuk rumput laut kering jenis *Euchema Cottoni*. Sedangkan produk berjenis *Gracillaria* memiliki harga Rp2.000,00 sampai Rp 5.000,00 per kilogram.

ISI

Bioetanol sebagai bahan bakar nabati (BBN) menjadi komoditas energi yang strategis karena bisa menyubstitusi BBM dalam semua pasarnya. Penggunaan bioetanol memiliki manfaat di antaranya: mengurangi impor BBM, mengurangi polusi udara karena pembakaran bioetanol lebih bersih daripada bahan bakar fosil, mengatasi permasalahan kelangkaan BBM, dan mesin kendaraan yang menggunakan campuran bioetanol akan bekerja lebih bagus dibandingkan mesin kendaraan yang menggunakan bahan bakar tanpa campuran bioetanol. Syarat yang harus dipenuhi di dalam pencampuran bioetanol ke dalam bahan bakar adalah campuran tersebut harus memiliki tingkat pemurnian 99% - 99,5% yang berarti tidak ada kandungan zat pengotor lain di dalamnya.

Klasifikasi bioetanol dibedakan menjadi 4, yaitu bioetanol generasi 1 (G1) berbahan dasar pati atau gula, bioetanol generasi 2 (G2) berbahan dasar biomassa lignoselulosa, bioetanol generasi 3 (G3) berbahan dasar mikroalga maupun makroalga, dan bioetanol generasi 4 (G4) yang dihasilkan dari biomassa atau oleh mikroba yang telah mengalami proses modifikasi genetika. (Syahrul, 2019)

Bioetanol G3 merupakan bioetanol yang dapat dibuat dengan bahan dasar dari kelompok alga, yaitu mikroalga dan makroalga (dalam

konteks esai ini adalah rumput laut). Kandungan yang terdapat pada alga antara lain : minyak (lipid), karbohidrat, protein dengan variasi komposisi sangat luas, tergantung jenis alga dan kondisi hidupnya. Secara garis besar, alga bisa mengandung sampai 50% (dari berat sel kering) karbohidrat, atau 25-77% asam lemak dan sejumlah protein. (Syahrul, 2014)

Bioetanol G3 dibuat mengikuti prinsip fermentasi rumput laut yang mengandung polisakarida oleh khamir *Saccaromyces cerevisiae*. Salah satu jenis polisakarida yang terdapat pada rumput laut adalah selulosa yang kemudian selulosa ini akan melalui tahap hidrolisis untuk berubah menjadi glukosa dengan media air dan dibantu dengan katalis asam maupun enzim (Budiharjo et al, 2015). Kemudian memasuki tahap fermentasi yang bisa dilakukan dalam jangka waktu satu minggu yang akan mengubah glukosa menjadi etanol. Tahap selanjutnya dan menjadi tahap yang krusial adalah tahap distilasi dilanjutkan tahap dehidrasi dengan harapan mencapai kemurnian bioetanol setinggi mungkin.

Berikut tahapan pembuatan bioetanol:



Menurut Abdul Wahid dalam penelitiannya, bioetanol mempunyai nilai oktan yang lebih tinggi dibandingkan dengan premium. Bioetanol apabila dicampur dengan premium dapat meningkatkan nilai oktan, dimana nilai oktan untuk bioetanol 98% adalah sebesar 115, selain itu mengingat bioetanol mengandung 30% oksigen, sehingga campuran bioetanol dengan bensin premium dapat dikategorikan high octane gasoline (HOG), dimana campuran sebanyak 15% bioetanol setara dengan pertamax (RON 92) dan campuran sebanyak 24% bioetanol setara dengan pertamax plus (RON 95).

Namun, bioetanol dapat membuat mesin lebih sulit distarter dan bersifat korosif. Sifat korosif dapat ditangani dengan pemilihan material yang tahan korosif pada komponen-komponen mesin seperti, tanki bahan bakar, karburator, pipa-pipa, karet-karet penyekat dan komponen

lainnya. Sedangkan kesulitan dalam starter ini memang sulit dihindari, karena temperatur pembakaran sendiri/flash point etanol yang tinggi sehingga pembakaran secara homogen akan sulit tercapai pada tekanan kompresi di ruang bakar. Oleh karena itu, penggunaan campuran bioetanol dalam bensin premium dibatasi antara 5 – 25% agar kinerja mesin tidak terlalu berbeda, sedangkan pemakaian campuran yang lebih besar harus menggunakan mesin yang sudah dimodifikasi atau mesin yang khusus untuk pemakaian etanol.

Perbandingan Emisi Bahan Pencemar dari Campuran Bioetanol dan Premium

Emisi	E10	E85
Karbon Monoksida (CO)	Berkurang 25-30%	Berkurang 40%
Karbon Dioksida (CO ₂)	Berkurang 10%	Berkurang 14 %
Nitrogen Oksida	Berkurang 5%	Berkurang 30%
Senyawa Organik yang mudah menguap	Berkurang 7%	Berkurang 30% lebih
Sulfur Dioksida (SO ₂)	Berkurang	Berkurang sampai 80%
Partikulat	Berkurang	Berkurang 20%
Aldehid	Meningkat 30-50%	-
Senyawa Aromatik (benzena dan butadiena)	Berkurang	Berkurang lebih dari 50%

Sumber: <http://www.renewableenergypartners.org/ethanol.html>

E85 memiliki kandungan oksigen tertinggi dari semua bahan bakar yang tersedia saat ini. Laboratorium Nasional Argonne menyimpulkan bahwa penggunaan etanol yang diturunkan dari jagung dapat mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 14-19 % jika dibandingkan dengan bensin. E85 adalah bahan bakar berperforma lebih tinggi dengan nilai oktan 105-110. Pengguna E85 akan berakibat pada jarak tempuh dan pengurangan jarak 10% -30% karena perbandingan satu galon etanol hanya mengandung 70% energi daripada satu galon bensin. Namun, karena kendaraan akan berkinerja lebih baik dengan

penggunaan etanol daripada bensin, kendaraan dapat dioptimalkan dengan etanol untuk mencapai jarak tempuh bahan bakar yang lebih baik dibandingkan dengan bensin.

KESIMPULAN

Secara umum, bioetanol tipe E85 dapat digunakan sebagai bahan bakar perahu para nelayan di kampung Teluk Kadere, Bontang, Kalimantan Timur. Penggunaan campuran bahan bakar berbasis premium dan bioetanol dari rumput laut memiliki keunggulan dapat mengurangi emisi hasil pembakaran. Dengan adanya bioetanol dari rumput laut menjadi solusi bagi kelangkaan bahan bakar yang kerap terjadi di kampung Teluk Kadere. Hal ini menunjukkan bahwa di suatu desa kecil pun terdapat potensi swasembada energi yang dapat dikembangkan oleh peneliti maupun pemerintah sehingga tercipta falsafah Pancasila sila ke-5 yaitu keadilan sosial bagi seluruh rakyat Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- Aiman, Syahrul. 2014. Perkembangan Teknologi dan Tantangan dalam Riset Bioetanol di Indonesia. Pusat Penelitian Kimia-Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia Komplek PUSPITEK, Tangerang Selatan.
- Aiman, Syahrul et al. 2019. Perkembangan Bioetanol G2 : Teknologi dan Perspektif. LIPI Press, anggota Ikapi Gedung PDDI LIPI, Lantai 6 Jln. Jend. Gatot Subroto 10, Jakarta 12710.
- Budiharjo, Anto et al. 2015. Produksi Bioetanol dari Rumput Laut dan Limbah Agar *Gracilaria sp.* dengan Metode Sakarifikasi yang Berbeda. Magister Biologi, Fakultas Sains dan Matematika, Undip Jl Prof Soedharto, Tembalang Semarang.
- Kementerian ESDM. 2013. Peraturan Menteri ESDM No. 01 tentang Pengendalian Penggunaan Bahan Bakar Minyak.
- M. Abdul Wahid .2004. PEMANFAATAN BIO-ETHANOL SEBAGAI BAHAN BAKAR KENDARAAN BERBAHAN BAKAR PREMIUM .
- US EPA. 2020. Greenhouse Gas Emmisions. Amerika Serikat.



Artikel 8

Renewable Energy dan Sustainable Technology (Rest) Zone dengan Kolaborasi Pentahelix Guna Mewujudkan Desa yang Berkelanjutan

Riki Purwanto

(Universitas Sebelas Maret – UNS, Surakarta)

Kantong-kantong minyak mentah, batubara dan gas alam di perut bumi kian menipis. Bersamaan dengan itu pabrik, kendaraan, pengatur suhu ruangan, dan alat elektronik lainnya semakin menyesaki kota dan merambah ke desa-desa dengan kecepatan yang sulit dikontrol. Kebutuhan listrik juga turut meningkat, Kementerian ESDM mengungkapkan konsumsi listrik mencapai 1.021 KWh/kapita pada tahun 2017 meningkat menjadi 1.200 KWh/kapita pada tahun 2019 (IESR, 2019). Meningkatnya kebutuhan listrik membuat produksi energi listrik terus ditingkatkan, tetapi penyediaan energi masih didominasi oleh energi fosil. Masih menurut Kementerian ESDM hingga Juni 2020 kapasitas terpasang masih di dominasi Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) sebesar 35.220 MW. Sumber lainnya berasal dari PLT Gas/PLT Gas dan Uap/PLT Mesin Gas (20.537 MW), PLT Air/Minirohidro/Mikrohidro (6.096 MW), PLT Diesel (4.781 MW) dan PLT Panas Bumi (2.131 MW), dan PLT EBT lainnya (2.200 MW). Tercatat, pembangkit EBT menyumbang 14,69% atau 10.467 MW dari total kapasitas terpasang (Kementerian ESDM, 2020). Jika produksi listrik masih didominasi oleh energi fosil, hal ini tidak menutup kemungkinan energi listrik menjelma menjadi barang antik dengan harga selangit yang kian sulit ditemukan.

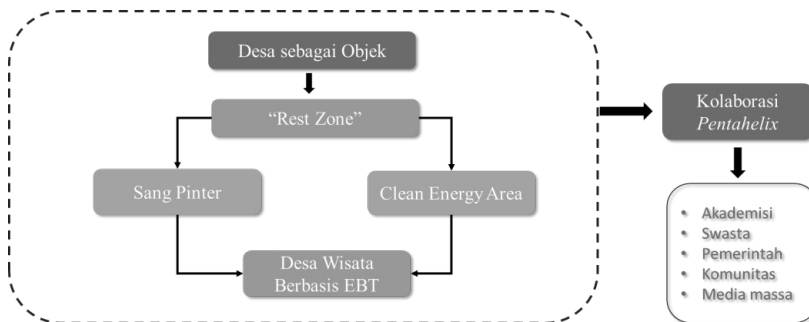
Lantas siapakah yang paling terpukul? Siapa lagi kalau bukan warga desa, yang semakin miskin untuk mengakses barang-barang

elektronik dan energi listrik. Kondisi tersebut juga memperparah permasalahan di desa seperti kemiskinan, pengangguran, kualitas sumber daya manusia, dan infrastruktur. Indonesia terutama di daerah pedesaan memiliki bentang alam dan sosial yang dapat menjadi faktor pendukung bagi pengembangan potensi energi terbarukan, seperti: 1) matahari bersinar sepanjang tahun; 2) masih ada ladang yang dapat dimanfaatkan warga desa; 4) biodiversitas sebagai sumber diversifikasi energi berbasis makhluk hidup (biofuel berbasis ekstraksi tumbuhan atau ganggang); 5) gunung berapi dan hutan, sebagai potensi energi panas bumi, biomassa, serta fungsi konservasi air dan biodiversitas; 6) sungai, pegunungan, dan saluran irigasi sebagai sumber energi air (pikohidro, mikrohidro, minihidro, Pembangkit Listrik Tenaga Air); serta 7) konsumsi protein hewani yang besar (unggas, sapi, kambing, dan babi), sebagai sumber biogas (Budiarto, dkk, 2017). Potensi desa lainnya adanya dukungan program pemerintah dengan membangun Indonesia mulai dari pinggiran yaitu dana desa. Jumlahnya tidak bisa dianggap remeh karena setiap tahun jumlah anggaran dana desa mencapai triliunan dan selalu meningkat (Direktorat Jenderal Perimbangan Keuangan, 2019). Sayangnya, potensi tersebut belum dimanfaatkan secara optimal, sebab dari potensi 400 gigawatt baru 10,5 gigawatt yang dimanfaatkan atau (2,5%) (IESR, 2020). Penggunaan dana desa juga belum memperhatikan secara mendalam terhadap kesejahteraan masyarakat. Dapat dilihat dari rendahnya presentase alokasi dana desa diluar pembangunan. Padahal alokasi dana desa untuk pemberdayaan masyarakat terbukti mampu meningkatkan pertumbuhan ekonomi masyarakat (Direktorat Jenderal Perimbangan Keuangan, 2019). Berdasarkan urgensi dan fenomena tersebut penulis merekomendasikan *Renewable Energy Dan Sustainable Technology (REST) Zone* dengan Kolaborasi *Pentahelix* Guna Mewujudkan Desa yang Berkelanjutan.

“Rest Zone” merupakan program edukasi dan implementasi EBT di desa dengan memanfaatkan potensi desa dengan memberdayakan masyarakat. Dinamakan “Rest Zone” karena program ini dibentuk sebagai pusat EBT dalam satu zona di desa. Adapun tujuan dari “Rest

Zone” yaitu sebagai upaya mewujudkan EBT bersifat lokal dengan memanfaatkan teknologi sehingga dapat bermanfaat secara sosial dan ekonomi yang kembali kepada masyarakat desa sendiri. “Rest Zone” dikonsepsikan terdiri dari beberapa area yang digambarkan sebagai berikut:

Gambar 1. Konsep “Rest Zone”



Sumber: diolah penulis, 2021

Gambar di atas kemudian dapat dijabarkan sebagai berikut:

1. Sang Pinter (Sanggar Pendidikan Energi Baru Terbarukan)

Sang Pinter merupakan zona edukasi untuk meningkatkan literasi dan kesadaran masyarakat desa akan pentingnya EBT. Alur edukasi terdiri dari tiga tahapan. Tahap pertama, dimulai dengan melakukan *open recruitment* terhadap pemuda dan masyarakat yang ingin belajar EBT dan menjadi pengurus “Rest Zone”. Tahap kedua, pembekalan materi tentang EBT yang sudah disesuaikan dengan sumber daya atau potensi desa tersebut sehingga ke depannya mampu mengeksplorasi dan memanfaatkan kekayaan sumber daya desa. Pemberian materi termasuk perhitungan ekonomis penggunaan penyimpanan EBT, administrasi, organisasi, manajemen, keuangan, dan teknologi produksi. Setelah mendapatkan materi, peserta melakukan praktik dengan metode simulasi atau demonstrasi dalam skala kecil. Edukasi ini dapat dibimbing oleh akademisi dari berbagai perguruan tinggi,

pihak pemerintah, dan swasta. Tahap ketiga, peserta diberikan kesempatan untuk mengaplikasikan ilmu yang didapat melalui praktik secara nyata di *clean energy area* dan diharapkan mampu meningkatkan capaian EBT serta berdampak secara sosial dan ekonomi bagi masyarakat sekitar.

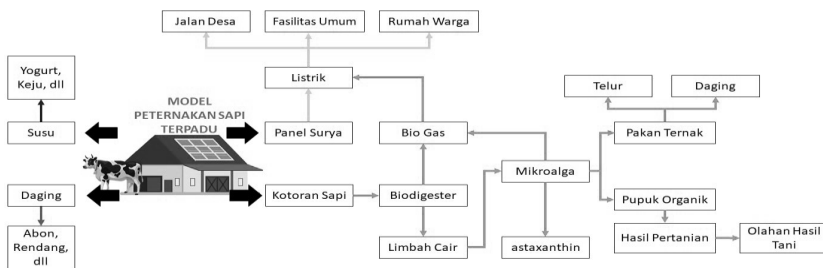
2. *Clean Energy Area*

Clean energy area merupakan zona untuk mengasilkan sumber EBT yang inovatif dengan berbagai cara sesuai dengan masing-masing potensi desa. Adapun inovasinya dapat dijabarkan sebagai berikut:

a. Model Peternakan Sapi Terpadu

Peternakan merupakan ciri khas sosial budaya yang ada di masyarakat pedesaan. Oleh karena itu model peternakan sapi terpadu dengan memanfaatkan hasil peternakan sapi dan konsep *biorefinery* menjadi zona yang inovatif. *Biorefinery* dapat dijadikan strategi sebagai fondasi untuk menciptakan EBT dan bermanfaat bagi kehidupan desa lainnya. Konsep ini sangat cocok diterapkan dalam skala desa karena desa merupakan pusat tempat bahan baku berada. Agar lebih mudah membayangkan penulis mengilustrasikan pada gambar dibawah ini:

Gambar 2. Model Peternakan Sapi Terpadu



Sumber: data diolah penulis, 2021

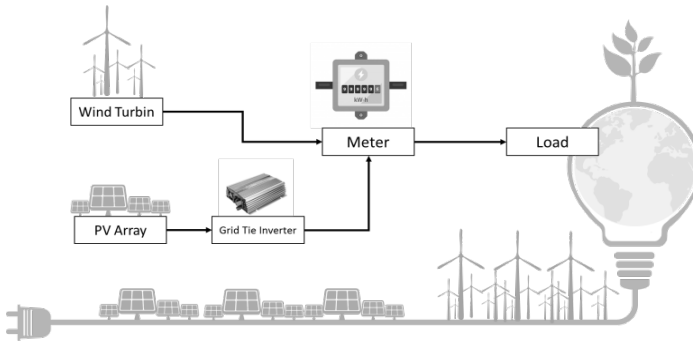
Peternak atau pengelola dapat memanfaatkan daging dan susunya untuk diolah kembali atau langsung dijual yang pada gilirannya akan memenuhi kebutuhan protein hewani terutama

daging sapi di Indonesia. Selanjutnya, untuk mengatasi permasalahan kotoran sapi dengan menerapkan konsep *biorefinery*. Kotoran sapi dapat menghasilkan biogas untuk mengganti kebutuhan LPG (Sulistiyanto, Sustiyah, & Satata, 2016). Tidak cukup sampai disitu, air yang dihasilkan dari proses pembuatan biogas dapat dimanfaatkan sebagai medium tumbuh untuk mikroalga (Azhar dkk, 2017). Mikroalga ini dapat menghasilkan protein, lemak dan senyawa *astaxanthin* (Raposo et. al, 2013 dan Kim et al, 2016). Jika belum mampu mengolahnya, biomassa mikroalga yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai pupuk organik untuk menyokong pertanian di desa. Biomassa mikroalga selain menghasilkan senyawa bioaktif, juga menghasilkan produk yang lain seperti lipid yang berpotensi menjadi sumber bahan bakar alternatif di masa depan pengganti bahan bakar fosil (Suryaningtyas, 2019). Biogas dari kotoran sapi juga dapat dikonservasikan menjadi energi listrik (Joshi, dkk., 2017). Panel surya dalam kandang dapat dimanfaatkan sebagai tambahan energi listrik, sehingga dapat digunakan untuk kebutuhan listrik.

b. Sistem Energi *Hybrid*

Sistem energi *hybrid* mengombinasikan dua sumber energi yang akan memberikan daya ke beban, yaitu mengandalkan panas matahari dan angin. Energi *hybrid* memiliki kehandalan dan efisiensi tinggi, tidak menimbulkan polusi dan biayanya rendah (Hendrayana, 2017). Sawah dipilih sebagai tempat pengembangan mengingat sawah memiliki kecepatan angin yang tinggi dan panas yang optimal. Agar lebih mudah membayangkan penulis mengilustrasikan pada gambar dibawah ini:

Gambar 3. Model Sistem Energi Hybrid



Sumber: diolah peneliti, 2021

“Rest Zone” juga dapat dikembangkan menjadi desa wisata berbasis EBT dengan kegiatan sederhana sehingga tidak hanya terfokus pada pengembangan sosial ekonomi masyarakat lokal melainkan juga sarana belajar masyarakat umum. Manfaat yang didapat dari “Rest Zone” dapat meningkatkan kapasitas dan pengetahuan teknis masyarakat, karena sifat EBT yang sensitif pada kondisi lokal, sehingga membutuhkan keterlibatan masyarakat sejak perencanaan hingga pelaksanaan pembangunan (instalasi), meningkatkan cakupan EBT dan menguatkan kondisi sosial ekonomi masyarakat lokal, dan meningkatkan literasi dan kepedulian masyarakat umum tentang EBT. Lantas apa kaitannya dengan dana desa? Dana desa digunakan sebagai sumber investasi dalam “Rest Zone”. Dana desa ini sangat cukup jika setiap desa mengadakan program “Rest Zone” setidaknya ada beberapa desa yang dapat mengimplementasikan sebagai percontohan awal sebelum diimplementasikan secara keseluruhan.

Tentunya dalam mengimplementasikan “Rest Zone” tidak hanya tugas pemerintah, diperlukan kolaborasi pihak-pihak terkait dalam kerangka *pentahelix*. Menurut Aribowo, Handy, dan Yudithia (2018) bahwa *pentahelix* adalah kolaborasi lima unsur *stakeholders* yaitu akademisi, swasta, pemerintah, komunitas, dan media massa. 1) Kementerian ESDM, Kementerian Pertanian, Kemendes PDTT, Pemerintah Daerah dan Pemerintah Desa sebagai pihak dari

pemerintah berperan sebagai regulator dan fasilitator. Sebagai regulator merumuskan dan menjalankan kebijakan yang mendukung, sedangkan sebagai fasilitator menyediakan fasilitas yang diperlukan dalam pengembangan “Rest Zone” di setiap desa. 2) Akademisi merupakan peneliti, tim ahli, ataupun mahasiswa yang berasal dari berbagai perguruan tinggi mempunyai peran untuk melakukan riset dan pengembangan “Rest Zone” terutama model *clean energy* area lainnya dengan menganalisis potensi dan masalah yang ada. 3) Swasta atau perusahaan sebagai stimulus dana untuk masyarakat desa melalui kegiatan CSR (*Corporate Social Responsibility*). Bagi pelaku industri perlu meningkatkan kesadaran menggunakan EBT hasil “Rest Zone”. 4) Komunitas berasal dari karang taruna, gapoktan, dan kelompok ternak dan tani desa mengelola dengan bijak “Rest Zone” agar berjalan dengan baik serta meningkatkan kesadaran dalam menggunakan EBT untuk kegiatan sehari-hari. 5) Media massa baik berupa media elektronik ataupun cetak berperan sebagai pendukung *branding* dari daerah yang sukses melaksanakan “Rest Zone” supaya dapat diketahui oleh masyarakat secara luas.

Jika “Rest Zone” diterapkan di seluruh desa di Indonesia, akan mempermudah pemerintah mendistribusikan EBT secara merata, berkelanjutan, dan harga terjangkau. Tidak ada lagi alasan pemerintah untuk mengempiskan subsidi kebutuhan sosial dasar dan menggelumbungkan harga-harga barang konsumsi. Adapun tujuan jangka panjang “Rest Zone” ini adalah dapat membantu masyarakat desa menjadi lebih mudah dalam mengakses kebutuhan energi dan manfaat sosial ekonomi lainnya secara berkelanjutan. Dengan demikian, “Rest Zone” diharapkan menjadi solusi untuk mencapai target 23% bauran EBT nasional pada tahun 2025. Untuk mencapai target tersebut tentunya diperlukan kesadaran bersama dari pemerintah, akademisi, swasta, komunitas, dan media massa.

DAFTAR PUSTAKA

- Aribowo, H., Wirapraja, A., & Putra, Y. D. (2018). Implementasi Kolaborasi Model Pentahelix Dalam Rangka Mengembangkan Potensi Pariwisata Di Jawa Timur Serta Meningkatkan Perekonomian Domestik. *Jurnal Mebis (Manajemen Dan Bisnis)*, 3(1).
- Azhar, A., Dharma, A., Chaidir, Z., Yanti, S., & Nasir, N. (2017). Integrasi bioremediasi limbah peternakan sapi dan kultivasi mikroalga *chlorella vulgaris* dan *chlorella pyrenoidosae*. *Jurnal Katalisator*, 2(2), 67-78.
- Budiarto R; Widhyarto DS; Prasetya A; Wardhana AR; Hidayat JJ. 2017. Energi Surya untuk Komunitas – Meningkatkan Produktivitas Masyarakat Pedesaan Melalui Energi Terbarukan. Jakarta: LAKPESDAM-PBNU.
- Direktorat Jenderal Perimbangan Keuangan. 2019. Buku Pintar Dana Desa Cetakan ke II: Jakarta. Direktorat Jenderal Perimbangan Keuangan
- Hendrayana. (2017). Simulasi sistem hybrid pembangkit surya, angin dan generator untuk mengoptimalkan pemanfaatan daya energi terbarukan. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*, (1) 1, 26-43.
- IESR. (2019). *Akses Energi yang Berkelanjutan untuk Masyarakat Desa: Status, Tantangan, dan Peluang*. Jakarta: *Institute for Essential Services Reform*.
- IESR. (2020). Paparan Kementerian ESDM tentang Energi Kolaborasi. https://iesr.or.id/wpcontent/uploads/2020/11/201111-Bahan-Paparan-IESR_Climate-Justice.pdf . Diakses 24 April 2021 (10.21)
- Joshi, A., Jose, J., Bansawal, N., & Soni, N. (2017). Study on Electricity Generation through biogas on small scale. *Int. J. of Innovative Research in Sci. Eng. and Tech*, 6, 6662-9.
- Kementerian ESDM. (2020). Hingga Juni 2020, Kapasitas Pembangkit di Indonesia 71 GW. <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hingga-juni-2020-kapasitas-pembangkit-diindonesia-71-gw>. Diakses 23 April 2021 (23.00)

- Raposo, M.F.D., R.M.S.C. de Morais and A.M.M.B. de Morais. (2013). Health applications of bioactive compounds from marine microalgae. *Life Sci.* 93 (15) : 479–486.
- Sulistiyanto, Y., Sustiyah, S. Z., & Satata, B. (2016). Pemanfaatan Kotoran Sapi Sebagai Sumber Biogas Rumah Tangga di Kabupaten Pulang Pisau Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Udayana Mengabdi*, 15(2), 150158.
- Suryaningtyas, I. T. (2019). Senyawa Bioaktif Mikroalga Dan Prospeknya Di Masa Depan. *Oseana*, 44(1), 15-25.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Contoh Kurikulum Sang Pinter

Berikut contoh kurikulum yang dapat dibuat penulis, tetapi tidak menutup kemungkinan untuk dikembangkan menjadi lebih baik:

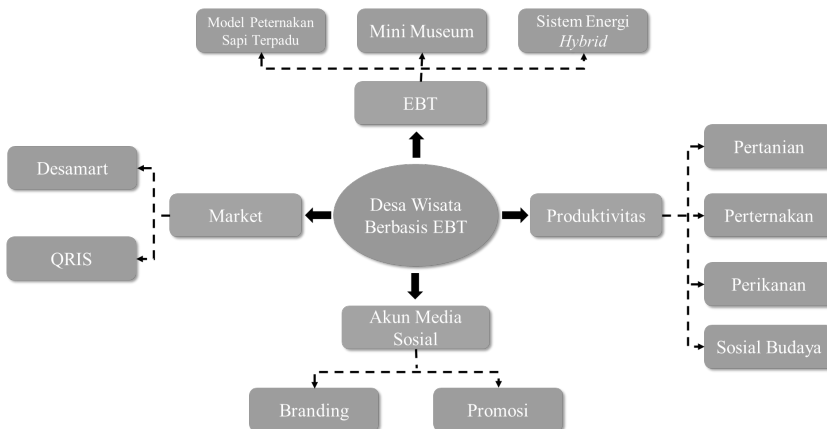
Tabel 1. Contoh Kurikulum Sang Pinter

Kemampuan Akhir
1. Masyarakat mampu mengerti jenis-jenis sumber EBT dan diversifikasi energi.
2. Masyarakat mampu memahami prinsip kerja dan karakteristik dari berbagai macam pembangkit energi. baru dan terbarukan (PV, <i>wind</i> , <i>biomass</i> , <i>mikrohydro</i> , <i>fuel cell</i> , tidal dan lain-lain).
3. Masyarakat bisa menghitung kapasitas kebutuhan pembangkit energi baru dan terbarukan.
4. Masyarakat dapat menghitung kapasitas kebutuhan penyimpan energi.
5. Masyarakat mampu secara administratif, keuangan, organisasi, dan manajemen tentang “Rest Zone”.

Materi Pokok	Metode Pembelajaran	Waktu	Pengalaman Belajar
Pengantar EBT dan Kebijakan pemerintah terkait EBT	Seminar	180 menit	Menelaah pentingnya EBT untuk <i>sustainable</i> energi di Indonesia.
Intro Energi Terbarukan: Konservasi energi, Pemakaian Energi, Sumber-sumber Energi, dan Penggunaan Energi.	Board Games	360 menit	Mengidentifikasi dan merekonstruksi hubungan antara aspek penting yang mendukung keberlangsungan energi terbarukan.
Pembangkit PV, wind, biomass, mikrohydro, fuel cell, tidal	Demonstrasi	480 menit	Mengidentifikasi, memahami dan menjelaskan pembangkit energi solar, wind, mikrohidro, fuelcell, dan tidal dalam bentuk miniatur.
Analisis dan perhitungan kapasitas kebutuhan pembangkit energi baru dan terbarukan	Seminar	120 menit	Menganalisis dan menghitung kapasitas kebutuhan pembangkit energi baru dan terbarukan

Menjelaskan jenis-jenis dan peran penyimpanan sistem EBT.	Berbasis Video	240 menit	Menelaah jenis-jenis dan peran penyimpanan energi pada sistem EBT.
Analisis dan per hitungan ekonomis penggunaan penyim panan energi pada sistem EBT.	Seminar	180 menit	Menganalisis dan menghitung keekonomisan kapasitas penyimpanan energi
Pelepasan	-	-	Setelah pelepasan peserta dapat mengelola <i>clean energy area</i> tetapi masih mendapatkan pendampingan

Lampiran 2. Mapping Pengembangan Desa Wisata Berbasis EBT



Keterangan:

Produktivitas: 1) Pengunjung dapat melihat langsung dan mempraktikkan proses pembibitan, penanaman, pemeliharaan, dan pemanenan. Pengunjung dapat belajar tentang suatu pertanian dengan cara yang menyenangkan. 2) Dalam area perternakan sapi termasuk di dalamnya pengolahan pakan ternak dari limbah pertanian dan peternakan serta hasil peternakan yaitu susu dan daging. 3) Pengunjung juga dapat memberi ikan dan memancing serta mengolah hasil mancing tersebut. Limbah dari perternakan, pertanian, dan perikanan dapat dimanfaatkan sebagai energi biomass yang dapat dilihat secara langsung oleh pengunjung. 4) Jika beruntung pengunjung dapat melihat kegiatan sosial dan budaya masyarakat lokal.

EBT: Di area ini pengunjung dapat belajar banyak hal tentang EBT. Pengunjung dapat mengunjungi mini museum yang dapat menambah wawasan tentang EBT. Selain itu, pengunjung dapat melihat langsung EBT yang diterapkan di desa tersebut.

Market: Desamart merupakan toko yang dapat dikunjungi pengunjung untuk membeli hasil pertanian dan peternakan lokal, olahan masyarakat lokal, dan barang lainnya yang dapat dibawa sebagai buah tangan. Transaksi dalam desa wisata berbasis wisata ini tentunya sudah didukung dengan QRIS. Bank Indonesia kini telah mengeluarkan kebijakan tentang standar nasional *QR Code* pada Agustus 2019 yang dikenal dengan istilah QRIS (*Quick Response Indonesian Standard*). QRIS merupakan metode transaksi dengan *scan QR Code* melalui kamera *smartphone*, setelah itu itu *klik* bayar. Sekarang, satu *QR Code* bisa dipindai dari semua aplikasi pembayaran. Jadi, *QR Code* terbitan OVO, ini bisa dipindai dari aplikasi lainnya seperti GoPay, Dana, LinkAja, atau sekarang melalui *mobile banking* juga bisa.

Akun Sosial Media: Desa wisata berbasis EBT ini membuat akun media sosial media berupa *instagram*, *youtube*, *facebook*, dan lain sebagainya sebagai branding dan promosi supaya dapat diketahui oleh masyarakat secara luas.



Artikel 9

Implementasi Pembangkit Listrik Terdistribusi (PeLiT) sebagai Langkah Efektif Penyediaan Energi Baru Terbarukan di Daerah 3T Indonesia

Rudi Chandra Adinugraha

(Fakultas Teknik, Universitas Indonesia – UI)

1. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan jumlah penduduk sebesar 274 juta jiwa pada tahun 2020. Jumlah penduduk Indonesia yang tinggal di daerah pedesaan diproyeksikan mencapai angka 119.300.000, atau sekitar 43,6% dari total jumlah penduduk (Worldometer, 2020). Seiring bertumbuhnya penduduk dan kebutuhan listrik, Indonesia memproduksi energi sebesar 2.475 TWh, atau ± 1000 KWh/kapita pada tahun 2019 (Ritchie & Roser, 2020). Selama tahun 2014–2020, Indonesia berhasil meningkatkan rasio elektrifikasi dari 84,35% menjadi 99,20% dengan rincian 29 provinsi memiliki 95% rasio elektrifikasi, 4 provinsi memiliki 90–95% rasio elektrifikasi, dan 1 provinsi memiliki rasio elektrifikasi sebesar 80–90% (Kementerian ESDM RI, 2020).

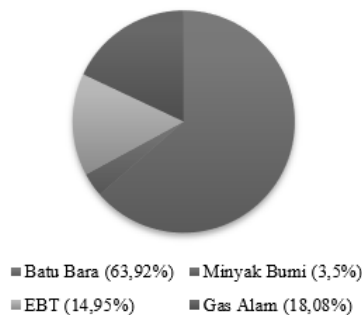
Perbandingan *generating capacity* (GW) dengan jumlah populasi menunjukkan bahwa Indonesia hanya mendapatkan indeks sebesar 0,26. Indeks ini tergolong kecil jika dibandingkan dengan Cina (1,4), Malaysia (1,1) dan Singapura (2,2) sebagai negara tetangga Indonesia (Unit Pengembangan dan Penelitian PT Hutama Karya, 2021). Sehingga, dapat disimpulkan bahwa rasio elektrifikasi Indonesia hanya terbatas di mana suatu daerah telah terhubung dengan jaringan listrik nasional tanpa kepastian layanan listrik setiap saat, khususnya pada daerah 3T.

Tabel 1. Indeks Perbandingan *Generating Capacity* dengan Jumlah Populasi

No	Negara	<i>Generating Capacity</i>	Populasi	Indeks
		GW	Juta	GW / Capita
1.	Indonesia (2020)	71	274	0,26
2.	Cina (2020)	2.069	1.439	1,4
3.	Malaysia (2019)	35	32	1,1
4.	Singapura (2020)	13	6	2,2

Sumber: (Unit Pengembangan dan Penelitian PT Hutama Karya, 2021)

Dalam memenuhi kebutuhan energi penduduknya, Indonesia sangat bergantung kepada bahan bakar fosil. Akan tetapi, dengan tren konsumsi saat ini, *lifespain* bahan bakar fosil di Indonesia hanya tersisa selama 65 tahun untuk batu bara, 21 tahun untuk gas alam, dan 8 tahun untuk minyak bumi (British Petroleum, 2020). Selain itu, lokasi pembangkit listrik yang tidak terjangkau oleh masyarakat di daerah 3T karena terletak secara *centralized*, membuat lebih dari 2.500 desa di pelosok dan pulau terluar Indonesia belum menikmati layanan listrik modern (The ASEAN Post Team, 2018).

Grafik 1. Bauran Energi Indonesia Berdasarkan Jenis Pembangkit Tahun 2020

Sumber: (Kementerian ESDM RI, 2020)

Dapat dilihat bahwa investasi swasta di bidang EBT masih belum maksimal dan elektrifikasi pedesaan belum mencapai akses listrik universal. Oleh karena itu, diperlukan sistem produksi dan penyimpanan energi terdesentralisasi dengan skema pendanaan yang jelas sehingga akan menguntungkan investor yang terlibat. Desentralisasi diharapkan dapat memproduksi energi yang efisien, *resilient*, ramah lingkungan, dan kompetitif sehingga akses dan tarif listrik dapat menjadi lebih terjangkau.

2. Identifikasi Masalah

Pemerintah telah menyusun beberapa regulasi untuk mendorong pihak swasta berinvestasi dalam bidang EBT, khususnya di daerah 3T, seperti:

- Peraturan Menteri Keuangan PMK No.21/PMK.011/2010 tentang Pemberian Fasilitas Perpajakan dan Kepabeanan dalam Kegiatan Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan.
- Peraturan Pemerintah PP No.47 Tahun 2012 tentang Tanggung Jawab Sosial Perusahaan bagi Perseroan Terbatas.
- Peraturan Pemerintah PP No.23/2014 sebelumnya PP No.14/2012 tentang Usaha Ketenagalistrikan yang memperbolehkan perusahaan swasta untuk berpartisipasi.
- Peraturan Kementerian ESDM No. 35/2014 tentang Pembentukan “Pelayanan Terpadu Satu Pintu” tentang Penerbitan Izin untuk Sektor Ketenagalistrikan.
- Peraturan Kementerian ESDM No.38/2016 tentang Percepatan Listrik Pedesaan di Pulau–Pulau Kecil Terencil, Berbatasan, dan Berpenduduk Melalui Usaha Penyediaan Tenaga Listrik Skala Kecil.
- Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral–Peraturan Menteri ESDM No. 50/2017 tentang Pemanfaatan Energi Terbarukan dalam Pembangkit Listrik.
- Peraturan Kemenkeu tentang Skema Pembiayaan *Public–Private Partnership* yang memberikan fasilitas antara lain:

Project Development Fund (PDF), Viability Gap Fund (VGF), Availability Payment (AP) dan jaminan pemerintah untuk proyek infrastruktur. PMK Nomor 223/PMK.011/2012; PMK No.190/PMK.08/2015 dan PMK No. 95/PMK.08/2017.

Akan tetapi, teridentifikasi beberapa masalah yang menghambat, yaitu:

Tabel 2. Hambatan Investasi EBT di Daerah 3T

Jenis Hambatan	Rincian
Hambatan Kelembagaan	<ul style="list-style-type: none"> a) Pengembangan energi tersentralisasi di PLN sebagai pemain utama dalam produksi, pasokan dan distribusi listrik. b) Keterbatasan data yang disediakan oleh otoritas terkait untuk melacak populasi pedesaan yang belum memiliki akses listrik.
Hambatan Finansial	<ul style="list-style-type: none"> a) Kurangnya skema pembiayaan yang menarik bagi investor swasta. Hal ini terjadi karena keterpencilan, populasi yang tersebar secara tidak merata (jarang), dan biaya awal untuk pengembangan energi terbarukan yang relatif mahal bagi masyarakat di daerah 3T. b) Sebagian besar lembaga <i>financing</i>, terutama bank komersial, memandang proyek energi terbarukan sebagai investasi yang terlalu berisiko.

Sumber: (Wafa, 2017)

3. Rekomendasi

3.1 Skema Pendanaan

Pendanaan menjadi aspek penting dalam membangun infrastruktur energi di daerah 3T. Sektor swasta dapat memainkan peran penting untuk mendukung Pemerintah Indonesia dalam membiayai infrastruktur

yang berkontribusi untuk memenuhi target elektrifikasi. Hal ini bisa dicapai melalui dua opsi, yaitu:

A. Investasi Langsung Sektor Swasta Berbasis *Public Private Partnership* (PPP)

Pemerintah dapat mengembangkan paket insentif khusus yang dapat menarik bisnis swasta di daerah yang saat ini kurang terlayani listrik untuk menawarkan layanan yang terjangkau sebagai bagian dari operasi normal mereka. Sebagai contoh konkret, PT Austindo Nusantara Jaya Tbk (ANJ), sebuah perusahaan produsen minyak sawit di Belitung, dapat menjadi *role model* bagaimana agroindustri berbasis pedesaan berkontribusi untuk menyediakan listrik. Melalui anak perusahaannya, PT Austindo Aufwind New Energy (AANE), ANJ berhasil mengembangkan pembangkit listrik tenaga biogas 1,2 MW untuk menghasilkan listrik yang digunakan sendiri. Menyusul *feed-in tariff* yang menarik dan perjanjian jual beli listrik selama 15 tahun, pada tahun 2015, pembangkit listrik tersebut diperbesar kapasitasnya menjadi 1,8 MW. Perkembangan ini memungkinkan kelebihan listrik yang dihasilkan untuk kemudian disuplai ke PLN untuk elektrifikasi 2.000 rumah tangga pedesaan yang berada di Belitung (Wijayanto, 2017).

Selain itu, sektor swasta dapat berkolaborasi dengan Organisasi *Intergovernmental* seperti UNDP, UNEP, IRENA, EIA, dll. Di Indonesia, UNDP telah bekerja sama dengan Kementerian Keuangan dengan meluncurkan “Green Sukuk”, sebuah Surat Berharga Nasional Syariah pertama di dunia yang bertujuan untuk membantu pembiayaan proyek-proyek ramah lingkungan, dengan total biaya mencapai US\$ 1,25 miliar (Rp 18.141.937.500.000)¹ (Steiner, 2018). Kerjasama UNDP–Kemenkeu menunjukkan bahwa pendanaan berbasis PPP akan berkembang ke seluruh jenis sektor swasta, baik perusahaan besar, menengah, maupun kecil dan mikro.

¹ Sesuai nilai tukar uang US\$-IDR (Rp) per tanggal 19 April 2021

B. Menggunakan Konsep Pendanaan Berbasis *Company Social Responsibility* (CSR)

CSR adalah praktik yang sudah diterapkan oleh berbagai sektor swasta yang dirancang untuk mengabdikan kepada komunitas masyarakat yang membutuhkan, serta sebagai peluang pengurangan pajak yang dibebankan kepada pihak swasta. Contoh perusahaan yang telah menerapkan CSR adalah Bank Jambi yang memberikan kontribusi sekitar 45% dari total biaya proyek pembangkit listrik tenaga air mikro melalui dana CSR-nya (Kementerian ESDM RI & UNDP, 2018). Faktanya, beberapa investasi CSR dalam jangka panjang dapat berkontribusi pada bisnis dengan memperluas basis pasar. Sebagai contoh, dalam hal dana CSR Bank Jambi untuk penyediaan akses listrik, keberadaan listrik dapat mendorong kegiatan ekonomi pedesaan yang akan menjadi pasar potensial bagi jalur peminjaman kredit mikro dari Bank Jambi.

3.2 Implementasi PeLiT pada Daerah 3T

3.2.1 Penjelasan

PeLiT merupakan skema atau sistem energi untuk daerah-daerah yang memiliki akses energi dan kondisi finansial yang rendah. PeLiT memiliki empat elemen penting: (1) Panel Surya *Thin-film*, (2) Turbin Angin, (3) *Gravitational Water Vortex Power Plant* (GWVPP), (4) *Monitoring System*, (5) Baterai. Penggunaan pembangkit dari sumber energi berbeda bertujuan untuk mengatasi sifat EBT yang *intermittency* (terjadi pada interval yang tidak teratur; tidak stabil). Berikut penjelasan cara kerja dan peranan masing-masing komponen penyusun sistem PeLiT:

Tabel 3. Penjelasan Komponen Penyusun PeLiT

No.	Komponen	Penjelasan
1.	Panel Surya <i>Thin-film</i>	Teknologi panel surya yang memiliki ketebalan 20–350 kali lebih tipis dibandingkan panel surya versi sebelumnya. Selain itu, perusahaan komersial yang menjual teknologi ini diperkirakan telah mendapatkan investasi sebanyak US\$ 2 miliar yang memungkinkan panel surya ini lebih efisien, ringan, dan <i>affordable</i> (Lee & Ebong, 2015).
2.	Turbin Angin	Listrik dari turbin angin dapat dijual dengan harga stabil dalam jangka waktu panjang (20+ tahun) dan memiliki biaya operasional rendah karena energi angin bisa didapatkan secara gratis (WETO, 2021).
3.	GWVPP	Sebuah turbin mikro-hidro yang aman untuk biota daerah sungai karena kecepatan rotasinya relatif rendah. GWVPP dipasang di sungai dan membutuhkan <i>hydraulic head</i> rendah untuk meningkatkan produksi tenaga (Rahman, Tan, Fadzlita, & Muzammil, 2017).
4.	<i>Monitoring & Control System</i>	Sistem sensor yang berfungsi mengontrol operasianol komponen PeLiT, memberi diagnosa otomatis terkait <i>hardware</i> , dan mengirimkan data antara sistem yang berbeda komponen untuk kebutuhan pengguna.
5.	Baterai	Penyimpanan listrik yang bertujuan agar energi listrik dapat digunakan walau produksi energi sedang tidak optimal. Dengan konsumsi rata-rata rumah di daerah 3T adalah 450 Wh/bulan, diperlukan baterai dengan kapasitas ± 1590 Watt (Aryani, et al., 2018).

Sumber: (Aryani et al., 2018; Lee & Ebong, 2015; Rahman, Tan, Fadzlita, & Muzammil, 2017; WETO, 2017)

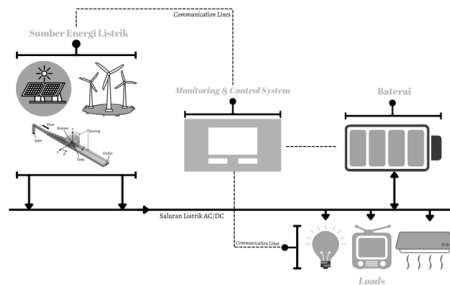
3.2.2 Flowchart Kerja PeLiT

PeLiT bekerja dengan mengoperasikan berbagai sumber energi digunakan untuk menghasilkan listrik dalam sistem *off-grid* dan *mini-grid*, antara lain: Panel surya *thin-film*, turbin angin, dan GWVPP. Lalu, saluran listrik yang berupa AC (arus bolak-balik) atau DC (arus

searah) digunakan untuk mentransfer listrik dari sumber energi baik langsung ke *loads* (komponen listrik atau bagian dari rangkaian yang mengkonsumsi daya listrik, seperti peralatan listrik dan lampu di dalam rumah), atau ke sistem baterai untuk disimpan dan digunakan kelak. Selain itu, sistem manajemen baterai diperlukan untuk mengontrol aliran daya masuk dan keluar baterai dalam kapasitas yang dapat diterima. Ini penting untuk memastikan pengoperasian yang andal dan menjamin masa pakai baterai yang diharapkan. Adapun spesifikasi baterai yang cocok digunakan di daerah 3T, yaitu:

- AC-400V 50Hz untuk sistem 3 fase atau 230V 50Hz untuk sistem fase tunggal,
- DC-12V, 24V, 48V (dengan kemungkinan voltase lebih tinggi).

Gambar 1. Flowchart Kerja PeLiT



Sumber: (Analisis Penulis, 2021)

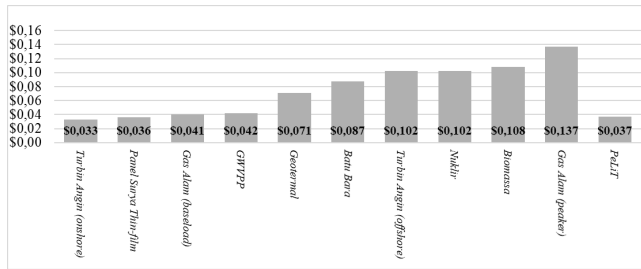
PeLiT menggunakan sistem *off-grid* dan *mini-grid*, di mana *Communication Lines* diatur melalui *Monitoring & Control System* untuk mengirimkan data antara sistem yang berbeda komponen, mengoptimalkan efisiensi dan kinerja keseluruhan sistem setiap saat, serta mengurangi kasus pemadaman listrik.

3.2.3 Analisis Biaya Operasional PeLiT

Setelah menghimpun data dari Energy Information Administration (EIA), National Renewable Energy Laboratory (NREL), Lawrence Berkeley Lab (LBL), Lazard, Bloomberg New Energy Finance (BNEF), dan GreenTech Media (GTM) sebagai sumber kredibel terkait

perkembangan energi di dunia, penulis memperoleh visualisasi data terkait *Levelized Cost of Electricity* (LCoE) berdasarkan jenis energi seperti berikut:

Grafik 2. *Levelized Cost of Electricity* (US\$/kWh) Berdasarkan Jenis Energi Dibandingkan dengan PeLiT



Sumber: (EIA, 2020; NREL, 2020; LBL, 2020; Lazard, 2020; BNEF, 2020; & GTM, 2020)

3.2.4 Analisis SWOT

Gambar 2. Analisis SWOT PeLiT

S <i>STRENGTHS</i>	W <i>WEAKNESSES</i>	O <i>OPPORTUNITIES</i>	T <i>THREATS</i>
<ul style="list-style-type: none"> • Biaya relatif lebih murah dari pembangkit listrik lainnya. • Memiliki jejak karbon yang rendah karena berbasis EBT. • Reliabel karena jangka waktu perawatan yang panjang. • Membuka lapangan kerja baru bagi masyarakat pedesaan. • Pemantauan kondisi <i>software</i> dan <i>hardware</i> yang mudah. • Penggunaan listrik <i>seamless</i> karena didukung data <i>driven decision device</i> menggunakan <i>Monitoring & Control System</i>. • Tidak mengganggu ekosistem di lingkungan sekitar. • Kombinasi pembangkit listrik dari sumber energi berbeda mengurangi sifat <i>intermittency</i>. 	<ul style="list-style-type: none"> • Hingga 2021, GWVPP hanya memiliki kapasitas maksimal sebesar 100 kW. • GWVPP hanya dapat digunakan di daerah yang memiliki sungai dengan kecepatan $\geq 2,07$ m/s. • Kurangnya infrastruktur pendukung dan akses logistik. • Kurangnya jumlah korporasi dan <i>startup</i> eksisting yang berkecimpung di industri EBT. 	<ul style="list-style-type: none"> • SDM di sekitar lokasi pemasangan memiliki <i>awareness</i> terkait EBT. • Pendanaan PeLiT dapat dibantu oleh masyarakat karena memiliki pendapatan yang memadai. • PLN mampu membantu pembangunan pembangkit yang terintegrasi dengan <i>grid</i> PLN (<i>ongrid</i>). • Potensi penggunaan pembangkit berbasis EBT jenis lain, menyesuaikan kebutuhan masyarakat dan ketersediaan SDA serta SDM. • Masyarakat bersedia dan antusias untuk mengikuti pelatihan terkait sistem PeLiT. 	<ul style="list-style-type: none"> • Urbanisasi yang membuat jumlah masyarakat di daerah 3T semakin berkurang. • Keterbatasan akses internet (contoh: daerah pegunungan dan hutan dengan vegetasi rapat). • Tidak terdapatnya sungai atau sungai tidak memiliki spesifikasi yang memadai untuk dipasang GWVPP. • Masyarakat yang tidak setuju untuk dibantu atau represif dengan pendatang luar karena memegang teguh nilai konservatif yang sudah tertanam sejak dulu.

Sumber: (Analisis Penulis, 2021)

4. Kesimpulan

Skema pendanaan berbasis *Public-Private Partnership* (PPP) dan *Company Social Responsibility* (CSR) diharapkan dapat menghilangkan hambatan-hambatan yang dihadapi pada aspek regulasi, kelembagaan, dan pendanaan. Di sisi lain, PeLiT diestimasikan memiliki tarif produksi listrik sedikit lebih mahal dibandingkan turbin angin dan panel surya *thin-film*, tetapi lebih murah dibandingkan dengan GWVPP. Akan tetapi, dengan biaya yang tidak berbeda jauh, pengguna dapat terbebas dari sifat *intermittency* yang akan muncul jika turbin angin, panel surya *thin-film*, dan GWVPP dioperasikan sendiri-sendiri. Kemudian, PeLiT dipercaya dapat menjadi solusi bagi masyarakat yang tinggal di 2.500 desa Indonesia demi mencapai produksi, penyimpanan, dan penyaluran energi terdistribusi guna memperoleh elektrifikasi yang efisien, *resilient*, ramah lingkungan, serta kompetitif sehingga akses dan tarif listrik dapat menjadi lebih terjangkau. Dengan elektrifikasi yang terdistribusi, akan mendukung penerapan nilai-nilai *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya poin ke-7 (*Affordable and Clean Energy*), poin ke-13 (*Climate Action*), dan poin ke-17 (*Partnership for The Goals*) yang akan mendukung poin-poin lain di SDGs guna menciptakan kesejahteraan hidup seluruh masyarakat Indonesia, khususnya di daerah 3T.

5. Daftar Kepustakaan

- Aryani, D. R., Hunsnayain, F., Edward, A. P., Song, H., Pambudi, Y. D., Zulfia, A., & Hudaya, C. (2018). Implementation of talis and dc house system for rural areas in indonesia. *MATEC Web of Conferences*.
- British Petroleum. (2020). *Statistical Review of World Energy*. London: BP PLC. Retrieved April 11, 2021, from <https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-r>
- EIA, NREL, LBL, Lazard, BNEF, & GTM. (2020). *Levelized Cost of Electricity from Various Energy Sources*. Energy Cost Report. Retrieved April 17, 2021

- Kementerian ESDM RI & UNDP. (2018). *Pembangunan Dan Revitalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Provinsi Jambi*. Jambi: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral berkolaborasi dengan UNDP. Retrieved April 12, 2021
- Kementerian ESDM RI. (2020). *Bauran Energi Berdasarkan Indonesia Jenis Pembangkit Tahun 2020*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Retrieved April 10, 2021
- Kementerian ESDM RI. (2020). *Rasio Elektrifikasi Tahun 2020*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Retrieved April 10, 2021
- Lee, T. D., & Ebong, A. (2015). Thin film solar technologies: A review. *International Conference on High-capacity Optical Networks and Enabling/Emerging Technologies (HONET)*.
- Rahman, M. M., Tan, J. H., Fadzlita, M. T., & Muzammil, A. R. (2017). Kajian Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Gravitational Water Vortex Sebagai Sumber Energi Alternatif Terbaru. *International Conference on Materials Technology and Energy*. doi:10.1088/1757-899X/217/1/012007
- Ritchie, H., & Roser, M. (2020). *Indonesia: Energy Country Profile*. Our World in Data. Retrieved April 11, 2021, from <https://ourworldindata.org/energy/country/indonesia>
- Steiner, A. (2018, April 20). *The Role of Islamic Finance*. Retrieved from United Nation Development Programme: <https://www.undp.org/content/undp/en/home/news-centre/speeches/2018/-the-role-of-islamic-finance.html>
- The ASEAN Post Team. (2018, February 16). *Bringing electricity to rural Indonesia*. Retrieved April 12, 2021, from The ASEAN Post: <https://theaseanpost.com/article/bringing-electricity-rural-indonesia>
- Unit Pengembangan dan Penelitian PT Utama Karya. (2021). *New Approach to Measure Indonesia's Economy Competitiveness*. Jakarta: PT Utama Karya (Persero). Retrieved April 10, 2021
- Wafa, A. (2017). *Country Report: Electricity Sector in Indonesia*. Jakarta: Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral RI.

- WETO. (2021). *Advantages and Challenges of Wind Energy*. Retrieved April 17, 2021, from Office of ENERGY EFFICIENCY & RENEWABLE ENERGY: <https://www.energy.gov/eere/wind/advantages-and-challenges-wind-energy#:~:text=Advantages%20of%20Wind%20Power,Wind%20power%20is%20cost%2Deffective.&text=Because%20the%20electricity%20from%20wind,to%20traditional%20sources%20of%20energy>.
- Wijayanto, N. (2017, December 15). *Belitung Punya Pembangkit Listrik Biogas Pertama di Indonesia*. (R. Rajagukguk, Editor) Retrieved April 12, 2021, from iNews: <https://www.inews.id/finance/makro/belitung-punya-pembangkit-listrik-biogas-pertama-di-indonesia>
- Worldometer. (2020). *Jumlah Penduduk Indonesia, Kota dan Persentase Penduduk Kota terhadap Jumlah Penduduk Indonesia 2015-2025*. worldometers. Retrieved April 10, 2021



Artikel 10

Solar Paint: Solusi Pemanfaatan Potensi Energi Surya di Daerah Padat Penduduk

Kamila Aghny

(Institut Teknologi Sepuluh Nopember)

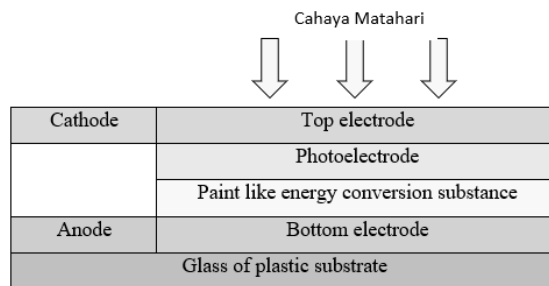
Pendahuluan

Sudah tiba saatnya ketika dunia yang selama ini bergantung pada energi fosil beralih menuju energi baru terbarukan mengingat peningkatan suhu global yang secara drastis sejak masa Revolusi Industri yang berimbas pada terjadinya pemanasan global. Laporan khusus *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) mengenai pemanasan global 1,5 derajat pada tahun 2018 menguak akan dampak dari pemanasan global di berbagai aspek yang meliputi kesehatan manusia, ketahanan pangan, dan ekosistem. Upaya yang tanggap dari setiap negara sangat dibutuhkan dalam mengatasi hal ini. Upaya yang dimaksud yakni peningkatan penggunaan energi baru terbarukan. Menurut Peraturan Presiden No. 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional Pasal 1 Ayat 4, energi terbarukan merupakan sumber energi yang dihasilkan dari sumber daya energi yang secara alamiah tidak akan habis dan dapat berkelanjutan jika dikelola dengan baik. Contoh energi terbarukan adalah energi surya. Energi surya merupakan energi yang bersumber dari energi matahari. Dalam pemanfaatannya, sering kali digunakan teknologi *solar panel* yang dapat diaplikasikan di atap bangunan maupun lahan kosong untuk skala yang besar. Secara teknis, *photovoltaic cells* didalam *solar panel* mengubah cahaya matahari ke arus DC yang kemudian dikonversikan kedalam arus AC. Di sisi lain penggunaan *photovoltaic* tradisional ini membutuhkan biaya

yang cukup mahal yakni sekitar USD 1.000 atau Rp 14.000.000,00 per 1Kwp serta membutuhkan lahan yang luas untuk dapat menghasilkan jumlah listrik yang diinginkan apalagi untuk wilayah padat penduduk seperti di Pulau Jawa dan Bali dengan jumlah kebutuhan listrik yang mencapai 203,19 TWh. Oleh karena itu dibutuhkan suatu generasi baru dari *photovoltaic* yang memiliki efisiensi yang tinggi serta dapat diaplikasikan dengan mudah. Dalam hal ini adalah *solar paint*.

Isi

Solar paint merupakan bagian dari teknologi thin film yang dibuat dalam bentuk larutan. Larutan ini dapat diaplikasikan pada substrat kaca maupun plastik melalui penyemprotan/pegecatan. *Solar paint* ini akan bekerja ketika cahaya matahari mengenai fotoelektroda, elektron dari fotoelektroda akan memperoleh energi yang mengakibatkan elektron tersebut bergerak ke lapisan dalam suatu zat sehingga meninggalkan kekosongan elektron. Elektroda atas transparan mengumpulkan elektron dan menghasilkan daya dari energi elektron. Elektron ini kemudian bergerak ke elektroda bawah dan melengkapi rangkaian dengan menggabungkan kekosongan elektron seperti yang sudah diilustrasikan pada gambar 1.



Gambar 1. Skema diagram *thin film photovoltaic paint*

Konversi daya *solar cell* didasarkan pada prinsip efek *photovoltaic*. Ketika energi foton lebih besar daripada celah energi (E_g) yang diserap maka, elektron akan tereksitasi dari pita valensi ke pita konduksi. Sel surya memiliki asimetri bawaan yang menyebabkan elektron mencapai sirkuit eksternal menggunakan potensial listrik. Untuk mencapai

efisiensi yang lebih baik, diperlukan peningkatan tegangan rangkaian terbuka (Voc), Kerapatan arus hubung singkat (Jsc), dan faktor pengisian (FF) secara bersamaan. Kinerja *solar cell* ditentukan berdasarkan pengukuran kerapatan arus mengingat potensi di seluruh perangkat *photovoltaic* yang bias dengan beban variabel selama iradiasi. Adapun dalam pembuatan *thin film photovoltaic paint* dibutuhkan material dengan spesifikasi tertentu diantaranya jumlahnya yang melimpah, memiliki nilai toksik yang rendah, memiliki stabilitas mekanika yang baik, dan beberapa spesifikasi lainnya yang akan diuraikan secara terperinci melalui tabel dibawah ini:

Tabel 1. Karakteristik material yang dibutuhkan untuk *thin film photovoltaic paint*

Karakteristik Material	Material
Jumlah yang melimpah	CZTS, <i>Perovskite</i>
Nilai toksik yang rendah	CZTS, <i>Quantum dot</i> , <i>Dye sensitized</i>
Material bertemperatur tinggi	CIGS, CdTe, <i>Quantum dots</i> , <i>Dye sensitized</i> , <i>Perovskite</i>
<i>Roll to roll</i>	Organik, <i>Perovskite</i> , <i>Dye sensitized</i> , CIGS, CdTe, <i>Quantum dot</i>
Stabilitas mekanik yang baik	<i>Perovskite</i> , Organik

Untuk menghasilkan nilai efisiensi dari *solar cell* yang tinggi. Diperlukan pemilihan material serta teknik pengendapan yang tepat. Dalam hal pengendalian ketebalan dan keseragaman film, metode *spin coating* cocok untuk diterapkan. Metode ini merupakan metode yang menggunakan percepatan sentrifugal sehingga menyebabkan larutan menyebar pada substrat yang berputar tinggi. Adapun dalam pemilihan material, material terbagi menjadi tiga generasi, yakni generasi pertama, kedua, dan ketiga. Material generasi pertama tidak memiliki kemampuan untuk membentuk *liquid solar cell* dengan cukup baik sehingga pemanfaatan material generasi kedua dan ketiga banyak digunakan. Material generasi kedua adalah sekelompok material yang

menawarkan lapisan deposisi yang tebal, luas permukaan yang besar dan penggunaan bahan beracun yang mahal sehingga berpengaruh terhadap kinerja yang kurang memadai dibandingkan dengan material generasi pertama. Material generasi kedua ini terdiri dari material amorf dan polikristalin. Material generasi ketiga sendiri merupakan material yang didasarkan pada film tipis polimer organik, pewarna organik, dan lapisan anorganik yang diendapkan pada substrat konduktif atau sebagai nanokristal titik kuantum yang tertanam pada matriks yang menggunakan pendekatan “*bottom up*”. Adapun efisiensi dari setiap generasi material adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Efisiensi dari setiap tipe *solar panel*

Generasi	Tipe <i>solar panel</i>	Efisiensi (%)
Pertama	<i>Crystalline silicon</i>	26.7 ± 0.5
Pertama	<i>Multi crystalline silicon</i>	22.3 ± 0.4
Kedua	<i>Amorphous silicon</i>	14.0 ± 0.4
Kedua	<i>Micro crystalline silicon</i>	11.9 ± 0.3
Kedua	<i>Cigs (cell)</i>	23.3 ± 1.2
Kedua	<i>Cdte (thin film)</i>	22.1 ± 0.5
Ketiga	<i>Dye sensitized (cell)</i>	11.9 ± 0.4
Ketiga	<i>Organic (thin film)</i>	11.2 ± 0.3
Ketiga	<i>Perovskite (thin film)</i>	22.7 ± 0.8
Ketiga	<i>Quantum dot sensitized</i>	9.56 ± 0.12

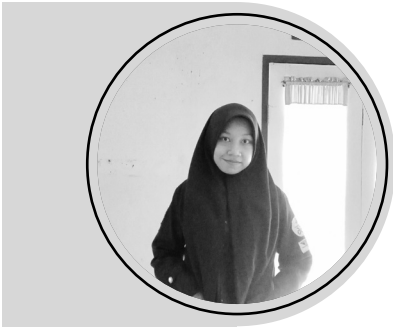
Penutup

Energi surya menjadi salah satu energi yang sangat menjanjikan mengingat wilayah geografis Indonesia yang disinari matahari selama 10 sampai 12 jam dalam sehari. Oleh karena itu diperlukan suatu teknologi yang dapat memaksimalkan potensi yang ada. Penggunaan *solar panel* dinilai kurang efisien untuk daerah padat penduduk seperti Pulau Jawa dan Bali mengingat diperlukannya lahan yang luas untuk

dapat menghasilkan listrik dalam skala yang besar. Sehingga penemuan *solar paint* ini dapat menjadi solusi dari permasalahan yang ada karena teknologi ini dapat diaplikasikan ke bangunan-bangunan yang berkaitan erat dengan daerah padat penduduk. Adapun dengan penggunaan material perovskite dengan teknik spin coating memiliki efisiensi yang tinggi yakni sebesar 22.7%.

DAFTAR PUSTAKA

- Dzulfikar, D. dan Broto, W. (2016) 'Optimalisasi Pemanfaatan Energi Listrik Tenaga Surya Skala Rumah Tangga', V, pp. SNF2016-ERE-73-SNF2016-ERE-76. doi: 10.21009/0305020614.
- Erna (2016) 'Wujudkan Ketahanan Energi Nasional melalui Pengolahan Rumput Laut sebagai Sumber Energi Terbarukan', Kendari: Universitas Halu Oleo.
- http://iesr.or.id/v2/publikasi_file/Buletin-EnergiKita-Juli-2019.pdf (diakses 27 April 2021)
- <https://jdih.kemenkeu.go.id/fulltext/2006/5TAHUN2006PERPRES.HTM#:~:text=PERATURAN%20PRESIDEN%20REPUBLIK%20INDONESIA%20NOMOR%205%20TAHUN%202006&text=a.,b>.
- Khan, Shaheer A dan Rahman, A. (2019) *Efficiency of thin film photovoltaic paint: A brief review*. Tersedia di: https://www.researchgate.net/publication/332762858_The_efficiency_of_thin_film_photovoltaic_paint_A_brief_review (diakses 24 April 2021).
- Muchlis, M. dan Permana, A. D. (2003) 'Proyeksi Kebutuhan Listrik PLN 2003 s.d. 2020', *Pengembangan Sistem Kelistrikan dan Menunjang Pembangunan Nasional Jangka Panjang*, p. 11 Halaman. Tersedia di: http://www.oocities.org/markal_bppt/publish/slistrk/slmuch.pdf.



Artikel 11

Implementasi Institutional Analysis of Development Framework Dalam Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Berbasis *Octangle Model* Guna Mewujudkan Desa Mandiri Energi

Sahaya Aulia Azzahra

(Institut Pertanian Bogor – IPB)

Pendahuluan

Permintaan rumah tangga terhadap listrik mengalami tren yang positif. Hal ini ditunjukkan oleh data dari HEESI (2018) dalam Buku *Outlok Energi Indonesia 2019* tentang konsumsi listrik menurut sektor yang didominasi oleh sektor rumah tangga hingga mencapai angka 42% atau sebesar 97.800 GWh, kemudian diikuti oleh sektor industri (33% atau sebesar 76.900 GWh), sektor komersial (25% atau sebesar 59.500 GWh), dan sektor transportasi (0,12% atau sebesar 274 GWh). Selain dipengaruhi oleh jumlah penduduk yang terus meningkat, pertumbuhan ekonomi Indonesia yang diperkirakan akan mencapai angka 5,6% pada tahun 2045 juga akan berimplikasi pada peningkatan permintaan listrik (Bappenas, 2018 dalam Dewan Energi Nasional/DEN, 2019). Menurut DEN (2019), pada tahun 2050 permintaan energi di sektor rumah tangga dengan skenario BaU akan mencapai 120 MTOE, 109 MTOE dengan skenario PB, dan 94,7 MTOE dengan skenario RK di mana 90% dari total permintaan tersebut didominasi oleh permintaan terhadap listrik.

Permintaan rumah tangga terhadap listrik yang tinggi tersebut dapat menjadi permasalahan di kemudian hari apabila tidak dipersiapkan dengan baik. Pada tahun 2018, energi pembangkit listrik di Indonesia masih didominasi oleh fosil dengan jenis batubara hingga mencapai angka 50%, gas bumi (29%), minyak bumi (7%), dan energi

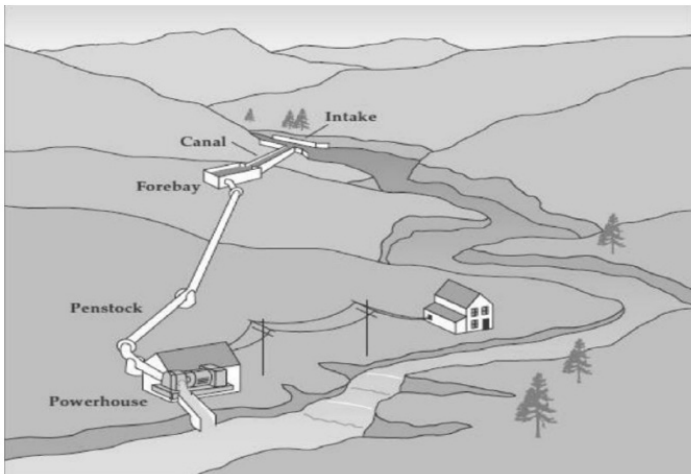
baru dan terbarukan (EBT) (14%) (HEESI, 2018 dalam DEN, 2019). Sementara itu, tren penyediaan batubara, gas bumi, dan minyak bumi terus mengalami penurunan sehingga stok bahan bakar fosil tersebut tidak akan mencukupi kebutuhan energi dalam negeri (Kementerian ESDM, 2018). Hal ini juga ditunjukkan oleh neraca perdagangan minyak bumi dan gas (migas) yang terus mengalami defisit dalam lima tahun terakhir. Nilai impor migas Indonesia terus mengalami peningkatan dari angka 18.739,8 juta US\$ pada tahun 2016, 24.316,2 juta US\$ pada tahun 2017, hingga 29.868,8 juta US\$ pada tahun 2018 (Kementerian Perdagangan, 2018).

Oleh karena itu, pemerintah melalui PP Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional mengamanatkan untuk menurunkan penggunaan batu bara, gas bumi, dan minyak bumi, serta menargetkan peningkatan pada pemanfaatan EBT. Selama kondisi perekonomian cukup stabil, pemanfaatan EBT sebagai energi primer ditargetkan mencapai minimal 23% pada tahun 2025 dan 31% pada tahun 2050. Pada tahun 2050, total kapasitas listrik terpasang menurut skenario RK akan mencapai 584 GW. Dari total tersebut, 466 GW bersumber dari EBT, 96 GW bersumber dari batubara, 23 GW bersumber dari gas bumi, dan sebagian kecil bersumber dari minyak bumi (DEN, 2019).

Salah satu sumber EBT yang dapat dimanfaatkan untuk mewujudkan desa mandiri energi (DME) adalah sumber daya air. Selain dapat mereduksi emisi gas rumah kaca juga dapat menghindari potensi konflik seperti pemanfaatan sumber daya energi berbasis pangan (LIPI, 2017). Topografi Indonesia yang dipenuhi dataran tinggi baik berupa pegunungan ataupun perbukitan mengakibatkan desa-desa di wilayah tersebut kesulitan mendapat pasokan listrik dari PT PLN. Kondisi wilayah yang demikian juga dapat memberikan keuntungan karena daerah-daerah tersebut umumnya memiliki sumber daya air yang melimpah sehingga Maka dari itu, pemanfaatan sumber daya air yang bersifat lokal dan mudah ditemukan di wilayah pedesaan sebagai sumber energi listrik merupakan opsi kebijakan yang layak untuk dikembangkan untuk mewujudkan desa mandiri energi.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan pembangkit listrik skala kecil yang mampu menghasilkan energi dari 1 MW hingga 10 MW (IMIDAP, 2010 dalam Subekti, 2015). Pembangkit listrik ini memanfaatkan aliran air dan ketinggian air (Subekti, 2015). Aliran air tidak dibendung seperti PLTA pada umumnya melainkan disalurkan melalui sebuah pipa pesat kemudian dijatuhkan di atas kincir air atau turbin (Bahtiar *et al*, 2019). Energi potensial dari jatuhnya air akan berubah menjadi energi mekanik yang data menggerakkan kincir air atau turbin untuk menghasilkan listrik (LIPI, 2017).

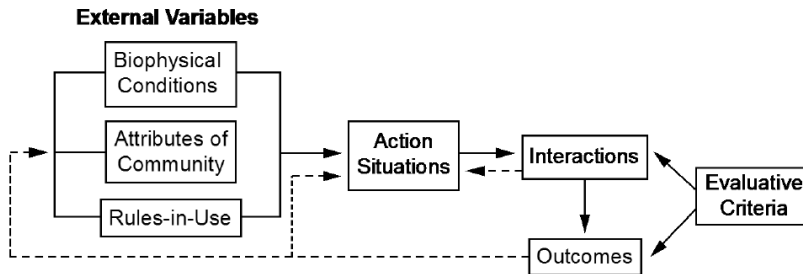


Gambar 1. Model PLTMH

Institutional Analysis of Development (IAD) Framework

Dalam pembuatan kebijakan untuk pembangunan PLTMH, tindakan-tindakan dari para aktor terlibat akan sulit diprediksi sehingga dapat menimbulkan masalah yang kompleks (Heikkila dan Andersson, 2018). *IAD framework* dapat diterapkan untuk menganalisis insentif bagi para aktor yang terlibat dan hasil yang didapatkan dari suatu tindakan (Ostrom *et al*, 2014). Maka dari itu, kerangka kerja ini dapat berfungsi untuk mengharmonisasikan aksi yang dilakukan oleh para aktor yang terlibat serta membatasi perilaku-perilaku yang bersifat oportunistis

sehingga keberlanjutan dalam pembangunan PLTMH. *IAD framework* secara umum direpresentasikan oleh gambar 2.



Gambar 2. *IAD Framework*

Dalam pembangunan PLTMH, situasi aksi dibatasi pada pembangunan PLTMH pada suatu kawasan pedesaan dengan kondisi biofisik berupa area yang memiliki aliran air yang baik serta memiliki ketinggian lahan yang berbeda. Adapun aktor-aktor yang terlibat akan dibahas pada bagian selanjutnya. Aturan-aturan yang digunakan dalam pembangunan PLTMH yaitu PP Nomor 79 Tahun 2014 pada *constitutional level*, peraturan daerah (Perda) setempat pada *collective level*, dan aturan-aturan teknis yang disepakati bersama oleh para aktor terlibat pada *operational level*. Interaksi dalam situasi aksi tersebut menghasilkan suatu hasil berupa pembangunan PLTMH. Pola interaksi dan hasil yang didapatkan tersebut dievaluasi berdasarkan kriteria-kriteria yang telah disepakati bersama. Adapun, kriteria evaluasi yang dapat digunakan tersaji pada tabel 1.

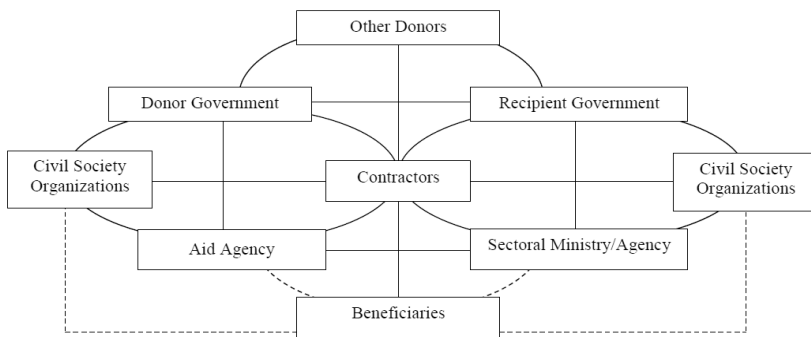
Tabel 1. Dimensi dan Kriteria Evaluasi

Dimensi	Efisiensi	Keberlanjutan
Ekologi	Kesesuaian area pembangunan	Perubahan kualitas air
Ekonomi	Peningkatan pendapatan masyarakat	Keuntungan jangka panjang

Teknologi	Daya listrik yang dihasilkan	Perkembangan dan penguasaan teknologi mutakhir
Sosial-Budaya	Akses masyarakat terhadap listrik	Motivasi dan partisipasi masyarakat
Politik-Kepemerintahan	Kepatuhan terhadap aturan yang berlaku	Hubungan kemitraan antar- <i>stakeholders</i>

Octangle Model

Octangle model ialah model yang digunakan untuk merepresentasikan interaksi dari delapan pemangku kepentingan lintas sektoral maupun lintas negara dalam menyampaikan suatu bantuan sosial (Ostrom *et al*, 2014). Aktor-aktor yang terlibat di antaranya: (1) pemerintah donor; (2) pemerintah resipien; (3) donor lainnya; (4) lembaga donor; (5) lembaga resipien; (6) organisasi pihak ketiga (LSM, kontraktor); (7) organisasi sosial-masyarakat; dan (8) penerima manfaat. Seluruh aktor yang terlibat membentuk “jaringan” yang saling membatasi insentif dari masing-masing aktor untuk berlaku oportunistis sehingga dapat meminimalisasi terjadinya inefisiensi.



Gambar 3. *Octangle Model*

Pada kasus pembangunan PLTMH, delapan aktor yang terlibat dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Delapan Aktor yang Terlibat

Peran	Posisi	Fungsi
Pemerintah donor	DPMPTSP Daerah	Menaungi jalannya proses pemberian bantuan secara legal
Pemerintah resipien	DESDM Daerah	Menaungi jalannya proses pembangunan secara legal
Donor lainnya	IBEKA, PT HIBS	Memberikan bantuan sukarela
Lembaga donor	UNESCAP	Memberikan bantuan kepada lembaga resipien
Lembaga resipien	Bidang Gatrik Daerah	Menerima bantuan dari lembaga donor
Organisasi pihak ketiga	EnDev	Mengelola jalannya proses pembangunan
Organisasi sosial-masyarakat	METI	Mengadvokasi saran dari penerima manfaat
Penerima manfaat	Masyarakat lokal	Menerima manfaat

Kesimpulan

Kemandirian energi di pedesaan merupakan salah satu isu yang sangat penting dalam mendorong kemajuan negara. Kemandirian energi dapat dicapai dengan mengelola sumber daya yang bersifat lokal di daerah masing-masing seperti air untuk dijadikan sumber energi. Salah satu contoh yang dapat diterapkan di Indonesia adalah pemanfaatan sumber daya air untuk pembangunan PLTMH. Wilayah Indonesia yang banyak dialiri oleh sungai dinilai sangat cocok dengan pembangunan PLTMH. Pada kenyataannya, proses pembangunan PLTMH dapat menimbulkan permasalahan apabila tidak dikelola dengan baik. Maka dari itu, implementasi *institutional analysis of development framework* dalam pembangunan PLTMH merupakan salah satu cara

untuk meminimalisasi hal tersebut. Proses pembangunan PLTMH dilaksanakan dengan penerapan *octangle model* sehingga interaksi para pemangku kepentingan yang terlibat di dalamnya dapat berjalan selaras dengan tujuan bersama untuk mewujudkan desa mandiri energi.

Saran

Konsep pembangunan PLTMH berbasis *octangle model* perlu diterapkan guna menciptakan desa mandiri energi. Penyusunan visi dan sosialisasi perlu dilakukan sebelum menerapkan gagasan yang telah dirancang.

DAFTAR PUSTAKA

- Bahtiar R, Falatehan FA, Sari D, dan Thamrin S. 2019. Economic impact of microhydro power project in Jambi province. Proceedings of The 2nd International Conference On Advance And Scientific Innovation (ICASI) 2019; 2019 Jul 18; Banda Aceh, Indonesia. Bent (BE): European Alliance for Innovation. Doi: 10.4108/eai.18-7-2019.2288677.
- [DEN] Dewan Energi Nasional. 2019. *Outlook Energi Indonesia 2019*. Jakarta (ID): Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional.
- Heikkila T dan Andersson KP. 2018. Policy design and the added-value of the institutional analysis development framework. *Policy & Politics*. 46 (2): 309-324. Doi: 10.1332/030557318X15230060131727.
- [Kemendag] Kementerian Perdagangan. 2021. *Neraca Perdagangan Indonesia Total 2016-2021*. URL: <https://statistik.kemendag.go.id/indonesia-trade-balance>. Diakses tanggal 23 April 2021.
- [LIPI] Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia. 2017. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Sebuah Pilihan: Belajar Dari Koperasi Mekar Sari, Subang*. Jakarta (ID): LIPI Press.
- Ostrom E, Gibson C, Shivakumar S, dan Andersson K. 2014. *Institutional Analysis of Development Cooperation*. Environment

and Development Economics: Essays in Honour of Sir Partha Dasgupta. Oxford (UK): Oxford Univesity Press.

Presiden RI. 2014. *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional*. Jakarta (ID): Sekretariat Negara Republik Indonesia.

Subekti RA. 2015. Studi kelayakan pengembangan pembangkit listrik tenaga minihidro di desa Sukamaju kabupaten Garut Jawa Barat. *Jurnal Teknik Hidraulik*. 6 (2): 105-116. Doi: <https://doi.org/10.32679/jth.v6i2.515>.



Artikel 12

Desa Geotermal: Pemanfaatan Maksimal Geotermalnya Indonesia

Ilham Ardhi Prasetya

(Institut Teknologi Sepuluh November – ITS, Surabaya)

Peningkatan jumlah penduduk Indonesia menyebabkan kenaikan konsumsi energi. Dewan Energi Nasional (2019) melaporkan bahwa terjadi peningkatan rata-rata konsumsi energi 3% per tahun, dimana pemenuhan kebutuhan ini 95,7% berasal dari energi fosil. Sudah menjadi pengetahuan umum bahwa energi fosil adalah energi yang tidak dapat diperbaharui. Waktu produksinya mencapai jutaan tahun, namun eksploitasinya sangat besar. Selain itu, penggunaan energi ini juga menimbulkan efek negatif yang tidak murah. Kesehatan dan keberlangsungan hidup manusia terancam dengan polusi, efek rumah kaca, hingga pemanasan global.

Peralihan energi fosil ke energi terbarukan (EBT) menjadi suatu hal mutlak dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi, serta tentu saja, keberlangsungan hidup manusia. Pemerintah pun sadar dengan hal ini, terbukti dengan peningkatan kapasitas pembangkit listrik EBT per tahun pada Capaian Kinerja 2019 dan Program 2020 Kementerian ESDM (Tabel 1). Meskipun peningkatan ini belum setara dengan potensi EBT Indonesia, yaitu sekitar 400 GW. Pada Tabel 1, peningkatan kapasitas pembangkit listrik di dominasi oleh PLTP dengan sumber energi panas bumi atau geotermal. Tentu saja hal ini bukan hal yang aneh, mengingat fakta bahwa Indonesia memiliki lebih dari 200 gunung berapi dan terletak di antara ujung timur Sabuk Vulkanik Mediterania serta sisi barat Circum Sabuk Vulkanik Pasifik, sehingga disebut sebagai

zona *ring of fire* (Maarif, 2012). Dengan keuntungan tersebut, potensi sumber daya geotermal Indonesia dengan mencapai 25.387 MW (Dewan Energi Nasional, 2019).

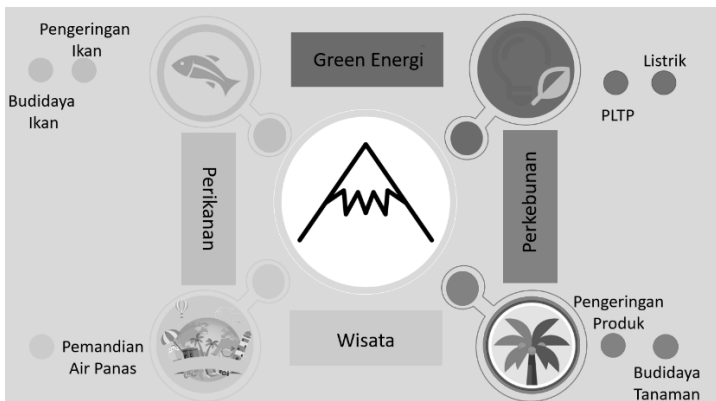
Tabel. 1 Peningkatan Kapasitas Listrik EBT

Energi	Tahun					
	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Hybrid	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Bayu	1,5	1,5	1,5	143,5	154,3	154,3
Surya	33,4	43,1	50,9	60,2	97,4	231,9
Bio- en- ergi	1.741,7	1.783,1	1.856,8	1.882,8	1.884,6	2.131,5
Panas Bumi	1.438,3	1.533,3	1.808,3	1.948,3	2.130,6	2.270,7
Air	5.227,5	5.620,9	5.675,9	5.742,1	5.885,5	6.050,7

Sumber: Capaian Kinerja 2019 dan Program 2020 Kementerian ESDM

Namun, selain pemanfaatannya yang masih tergolong rendah, eksplorasi geotermal di Indonesia masih terfokus pada potensinya untuk menghasilkan listrik. Padahal, ada banyak potensi lain yang bisa dimanfaatkan dari keberadaan geotermal di suatu wilayah, sebut saja potensi pada bidang perkebunan, perikanan, dan pariwisata. Berdasarkan Mulyana et al, (2017), potensi-potensi tersebut memanfaatkan penggunaan energi geotermal secara langsung, tanpa mengubahnya ke bentuk energi lain (misalnya energi listrik) dan sudah terbukti pemanfaatannya, namun masih terbatas pada pemanfaatan di masing-masing wilayah berbeda (misalnya pemanfaatan panas bumi pada wisata pemandian air panas, penanaman jamur di Kamojang, Jawa Barat, dan budidaya ikan lele, pengeringan kopra serta kakao di Lampung). Sangat disayangkan bila potensi sebesar ini diabaikan dan tidak terintegrasi dalam suatu sistem satuan wilayah. Oleh karena itu, pembangunan “ekosistem” EBT geothermal dapat menjadi jawaban atas minimnya eksplorasi dan disintegrasi potensi geotermal melalui konsep wilayah terbarukan, Desa Geotermal.

Desa Geotermal merupakan suatu konsep wilayah dengan pemanfaatan maksimal dan integrasi dari berbagai potensi geothermal. Konsep ini akan meruntuhkan berbagai keterbatasan dalam pemanfaatan energi geotermal dengan semangat “Dari Desa, Untuk Desa, dan Oleh Desa”. Dimana, sumber daya yang digunakan sebagian besar akan berasal dari desa tersebut, termasuk pembangunan dengan melibatkan semangat gotong royong dari warga, penggunaan sumber daya hayati dalam proses produksi, hingga tenaga kerja. Sehingga, kondisi alami dari desa semaksimal mungkin dipertahankan. Walaupun, keterbatasan sumber daya lain, seperti teknologi mesin untuk mengarahkan energi panas bumi sesuai dengan sasaran potensi dan berbagai benih ikan serta tanaman untuk menambah keberagaman hayati di desa tersebut, dapat berasal dari bantuan pemerintah ataupun diperoleh dari daerah lain. Warga pun akan mendapatkan peningkatan penghasilan atas keuntungan kegiatan ekonomi di Desa Geotermal.



Gambar 1. Visualisasi Desa Geotermal

Desa Geotermal akan terdiri dari Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi (PLTP), daerah perkebunan, perikanan, dan pariwisata. PLTP akan menyediakan kebutuhan energi listrik dan dibangun menggunakan teknologi *binary cycle* yang ramah lingkungan karena tidak mengeluarkan emisi dan dapat dimanfaatkan pada sumber panas bumi bersuhu rendah (Sugiyono, 2012). Teknologi ini menggunakan panas bumi untuk memanaskan *working fluid* (memiliki titik didih lebih

rendah daripada air) pada *heat exchanger*, kemudian akan dihasilkan uap yang dialirkan untuk memutar turbin dan menggerakkan generator untuk menghasilkan listrik (Kementerian ESDM, 2010).

Selanjutnya, perkebunan akan memanfaatkan energi geotermal sebagai penghasil panas ruang penanaman dan pengeringan produk hasil. Disisi lain, pencampuran air panas bumi dengan air kolam penangkaran akan menjaga kestabilan suhu dan mendorong peningkatan keberhasilan kegiatan perikanan, termasuk hingga metode pengawetan produk menggunakan pengeringan energi geotermal. Terakhir, memanfaatkan energi geotermal sebagai sumber daya utama wisata pemandian dan kolam renang air panas yang akan menarik kunjungan wisatawan untuk mengunjungi Desa Geotermal. Sejalan dengan hal tersebut, kegiatan perkebunan dan perikanan juga dapat dikomersialisasikan untuk peningkatan keuntungan dan memberikan edukasi pemanfaatan potensi geotermal pada wisatawan. Keseluruhan kegiatan di atas akan menyerap banyak tenaga kerja dari wilayah tersebut dan menghasilkan produk yang dapat digunakan untuk konsumsi warga dan sebagian besar akan dijual ke daerah atau negara lain.

Berdasarkan paparan di atas, Desa Geotermal akan sangat menguntungkan karena menghasilkan kebutuhan energi desa dengan nol emisi, membangun peningkatan sumber ekomi masyarakat desa, dan dengan tercapainya sasaran eksplorasi dan pemanfaatan maksimal serta kesinambungan energi geotermal, maka ketahanan ekonomi daerah akan tercapai. Dengan besarnya dampak, biaya yang dibutuhkan relatif kecil karena memanfaatkan sumber daya lokal dan teknologi minim perawatan setelah pemasangan, serta memangkas berbagai ketergantungan terhadap kebutuhan energi lain selama proses produksi.

Oleh karena itu, Desa Geotermal adalah jawaban atas eksplorasi dan pemanfaatan maksimal potensi geotermalnya Indonesia. Selain keuntungan ekonomi, pengaplikasian ekosistem EBT melalui Desa Geotermal akan melebihi berbagai *prototype* terkait eksplorasi dan pemanfaatan energi ini. Sehingga, riset akan semakin mudah dan terfokus dengan konsep integrasi sistem dalam suatu sistem satuan wilayah. Konsep ini juga dapat diimplementasikan dengan sumber

daya EBT lainnya. Lebih dari itu, konsep ini berbicara terkait potensi desa dan energi geotermal dalam suatu pembangunan yang harus terus berkelanjutan demi Indonesia. Indonesia dengan posisi strategis dan potensi besar terhadap sumber daya yang berlimpah wajib hukumnya untuk memanfaatkan keuntungan ini. Pemerintah diharapkan dapat membangun desa ini, melengkapi seri “kampungnya Indonesia” (kampung bebas sampah, bebas narkoba, dan sebagainya) dan mendorong kemunculan berbagai desa EBT lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Dewan Energi Nasional. (2019). Laporan Kajian Penelaahan Neraca Energi Nasional 2019. In *Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral*.
- Kementerian ESDM. (2010). *Mengenal Teknologi Pembangkit Listrik Panas Bmi*. Website Kementerian ESDM.
- Kementerian ESDM. (2020). Capaian Kinerja 2019 dan Program 2020. In *Website Kementerian ESDM*. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-capaian-kinerja-2019-dan-program-2020.pdf>
- Maarif, S. (2012). Pikiran dan Gagasan Penanggulangan Bencana di Indonesia. In *Bintek Manajemen Penyusunan Peta Rawan Bencana*.
- Mulyana, C., Luthfi, N., & Hi Saad, A. (2017). Model Pendayagunaan Energi Geotermal Entalpi Rendah (Direct-Use) Di Jawa Barat. *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 1(1), 11–23. <https://doi.org/10.24198/jiif.v1n1.3>
- Sugiyono, A. (2012). Keekonomian Pengembangan PLTP Skala Kecil. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia Indonesia Dan Musyawarah Nasional APTEKINDO 2012*, 33–39.



Artikel 13

Energi Terbarukan Desa Gunungpanti

Leo Candra Puspito

(Politeknik Negeri Semarang)

Desa Gunungpanti, sebagian penduduknya bermata pencaharian sebagai petani. Di samping itu, ada juga penduduk yang mendapat penghasilan sampingan dari industri berbahan baku kayu, seperti lemari, meja, kursi dan lain-lain. Namun karena bahan baku semakin terbatas, akhirnya sebagian penduduk terutama generasi muda merantau ke negeri tetangga seperti ke Korea, Malaysia dan Arab Saudi.

Awal tahun 2012, di desa ini dibuka proyek explorasi minyak bumi oleh sebuah perusahaan dari Jakarta. Tetapi, di sayangkan pengeboran ini tidak mendapatkan hasil yang diinginkan, sehingga proyeknya dianggap gagal.

Sebagai desa yang terkenal subur, di Desa Gunungpanti mengalir sungai. Berasal dari Gunung Kidul hingga melewati desa tetangga. Airnya sangat jernih. Alirannya deras, ada juga yang tenang, tergantung ketinggian medan yang dilalui. Tidak hanya mata air yang bersumber dari Gunung Kidul, ada juga mata air dari sela-sela akar pohon besar di sekitaran hilir sungai.

Air sungai ini dijadikan sumber kehidupan. Tidak hanya itu. Alirannya, dimanfaatkan untuk menggerakkan kincir air. Pada bagian bawah terdapat lubang-lubang saluran air, yang berfungsi mengubah energi kinetik menjadi energi mekanik sehingga bisa menggerakkan generator listrik.

Energi listrik yang berasal dari energi kinetik air disebut hydroelectric.

Walau belum sepenuhnya menjadi sumber energi baru untuk warga Desa Gunungpanti, tapi ke depannya, ini bisa dikembangkan. Warga di sana masih perlu diberikan pengetahuan dan dukungan agar bisa mewujudkan kemandirian energi dari sumber air.

Untuk selanjutnya, perlu mencari dukungan dari donatur atau sponsor dalam mewujudkan sumber energi listrik yang bisa digunakan masyarakat sekitar, atau bahkan untuk disalurkan ke desa-desa tetangga. Ke depannya, suplai kelebihan listrik mungkin bisa jadi tambahan income desa. Apalagi, Desa Gunungpanti, termasuk katagori tertinggal dan kurang mendapat perhatian Pemerintah Daerah.

Pemanfaatan aliran sungai atau arus sungai sebagai energi baru di sana, memang belum maksimal. Tetapi, ini patut diberi apresiasi. Warga Desa Gunungpanti sudah melakukan terobosan, membuat hidroelektrik dari aliran sungai, demi kemandirian energi.

Dilihat dari manfaatnya, kincir air ini menjadi sangat penting. Sebagai sumber energi baru terbarukan di Desa Gunungpanti. Sekaligus, menjadi aset di masa depan.

Referensi:

Wikipedia, Gunungpanti, Winong, Pati

Desa Gunungpanti, Pemanfaatan Energi Terbaharukan

Artikel 14

A Brief Review: Potensi Pengembangan Community-Based Renewable Energy (CBRE) Projects sebagai Solusi Penciptaan Energi Berkelanjutan di Indonesia

Belinda Azzahra

(Universitas Indonesia – UI)

Indonesia saat ini sedang tertatih-tatih di ambang krisis energi. Dengan populasi yang tumbuh pesat - saat ini 260 juta - selama 25 tahun ke depan (Jones, 2010), Indonesia sedang berjuang untuk memenuhi permintaan energi yang murah dan dapat diandalkan. Untuk memenuhi permintaan ini, Indonesia sebagai negara kepulauan hanya berpegang teguh pada bahan bakar fosil tua yang dapat habis dan tidak berkelanjutan, sebagaimana tercermin dalam penggunaan energi negara pada tahun 2018 yang menunjukkan dominasi besar energi bahan bakar fosil: 58,64% batubara, 22,48% gas, dan minyak 6,18% (Tempo, 2018). Ketergantungan yang berlebihan pada bahan bakar fosil ini sangat disesalkan melihat potensi besar yang dimiliki Indonesia untuk energi terbarukan: kekuatan 788.000 megawatt (MW) yang sangat besar — melebihi 14 kali konsumsi listrik negara saat ini — dapat dihasilkan dari sumber energi terbarukan (Walton, 2019) . Namun, energi terbarukan hanya 12,71% dari bauran energi negara. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Indonesia mengungkapkan perkiraan yang cukup tidak memuaskan, pada tingkat produksi saat ini, Indonesia memiliki sekitar 23 tahun sisa cadangan minyak, 59 tahun gas, dan 146 tahun batubara (Tharakan, 2015). Dalam jangka panjang, cadangan ini tidak akan dapat memasok kebutuhan energi yang terus tumbuh yang, dalam jangka pendek, akan membuat kesulitan dalam penambangan dan pengangkutan bahan bakar serta konsekuensi lingkungan yang lebih menonjol (Dayal, 1983). Cadangan bahan bakar fosil Indonesia yang semakin menipis dan konsekuensi negatif yang ditimbulkan oleh ketergantungan pada lingkungan menuntut perlunya berinvestasi dan beralih ke energi terbarukan sebelum terlambat, terutama mengingat

bahwa konsumsi energi Indonesia akan meningkat 30% pada tahun 2030 (IRENA, 2017).

Berangkat dari statistik yang disebutkan di atas, kita dapat menyimpulkan bahwa Indonesia terjebak dalam dilema: memanfaatkan potensi energi terbarukan, dan memenuhi permintaan energi yang terus meningkat. Untuk mencapai tujuan tersebut, Indonesia dirasa masih menggunakan bom waktu yang tidak berkelanjutan dan kebijakan yang salah tempat, salah satunya adalah subsidi bahan bakar fosil atas dasar membantu operasional masyarakat kelas menengah ke bawah. Namun, ada masalah yang menonjol dengan kebijakan ini yaitu di samping tujuannya secara teori adalah untuk mengurangi kemiskinan, tetapi dalam praktiknya, subsidi ini tidak mencapai populasi yang ditargetkan. Bank Dunia mengungkapkan pada 2012 bahwa hampir 40% dari subsidi ini diberikan kepada 10% orang terkaya dalam apa yang dijuluki ‘transfer uang pembayar pajak yang kaya kepada orang kaya’. Di Indonesia sendiri, hanya 5% rumah tangga termiskin di Indonesia yang mendapat manfaat dari BBM bersubsidi, sementara 70% konsumen bahan bakar bersubsidi berasal dari sepertiga rumah tangga terkaya (Chelminski & van Asselt, 2018). Namun ibaratnya, itu hanyalah puncak gunung es. Subsidi bahan bakar menimbulkan sejumlah masalah lain: subsidi ini mendorong konsumsi bahan bakar fosil, akibatnya meningkatkan emisi gas rumah kaca, dan pada akhirnya menghambat transisi ke energi terbarukan. Kepedulian Indonesia terhadap poin terakhir — transisi energi terbarukan — dapat dibenarkan. Pergeseran ke energi terbarukan memang dapat meningkatkan kemiskinan energi dan dapat meningkatkan ketidaksetaraan (McGee & Greiner, 2019). Namun, adalah keliru untuk melihat transisi energi terbarukan sebagai musuh utama kesejahteraan. Faktanya, negara-negara yang lebih miskin telah melihat upaya yang bisa dilakukan dalam pengentasan kemiskinan energi adalah beralih ke sumber energi terbarukan (McGee & Greiner, 2019).

Konsep CBRE didefinisikan sebagai “partisipasi ekonomi dan operasional” atau kepemilikan oleh warga atau anggota komunitas tertentu dalam proyek energi terbarukan” (IRENA, 2018). CBRE

berbeda dari pendekatan *top-down* yang ditemukan dalam bahan bakar fosil konvensional. Dalam hal proyek energi terbarukan berbasis komunitas, semua bagian di masyarakat memiliki kepentingan dan secara kolektif dapat memperoleh manfaat darinya; sebuah fitur yang hilang dari sistem energi bahan bakar fosil yang terpusat (Guerreiro & Botetzagias, 2018). Inisiatif komunitas ini memiliki keunggulan terhadap bahan bakar fosil: hal ini menawarkan lebih banyak fleksibilitas dan tuntutan tanggung jawab yang lebih tinggi terhadap kebutuhan dan nilai-nilai lokal; serta struktur pemerintahannya lebih transparan. Selain itu, anggota masyarakat, bersama dengan koperasi dan LSM lokal, memahami lebih baik tentang tantangan lokal yang ada dalam komunitas mereka, yang akan membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik dan bertujuan baik (Guerreiro & Botetzagias, 2018). Tiga fitur utama CBRE telah disorot oleh Hargreaves, et. Al. (2013): pertama, multidimensi karena tidak bergantung pada teknologi atau aspek perilaku tertentu; kedua, ini menyatukan masyarakat untuk tujuan komunitas bersama dan mengatasi tantangan struktural untuk memastikan keberlanjutan; ketiga, ini mempercepat pengetahuan dan jejaring lokal serta penemuan solusi yang tepat, baik itu dalam konteks lokal maupun regional. Selain itu, CBRE lebih unggul jika dibandingkan dengan proyek energi terbarukan konvensional; yang membutuhkan investasi besar dan memiliki pasokan energi satu arah yang terpusat.

Sebaliknya, proyek CBRE lebih terdesentralisasi; memastikan tata kelola energi yang demokratis melalui keterlibatan aktif dan adil masyarakat lokal dalam pengelolaan, kepemilikan, dan kendali proyek -proyek energi terbarukan regional (Hoffman & High-Pippert, 2005). CBRE, melalui manajemen kolaboratif dalam produksi energi, memastikan pembangunan berkelanjutan, yang harus dilakukan melalui pendekatan kolaboratif dengan pemerintah, organisasi regional dan non-pemerintah. Karenanya, CBRE menciptakan alternatif di mana pembentukan energi yang terpusat dapat digantikan dengan akses energi yang adil, ditandai oleh otoritas yang didesentralisasi berdasarkan prinsip-prinsip demokrasi.

Table 1. Factors identified as promoting the successful implementation of a CRE project.

External/STEEP factors	Internal/Community factors
<p><i>Social</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Community involvement/ownership • Community's experience with cooperatives • Existence of intermediate organizations • Promoting gender empowerment 	<p><i>Cultural</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • CRE Is legitimized under the light of the community's values and history
<p><i>Technical</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Use of (socially and technically) appropriate technology • Local manufacturing base 	<p><i>Organizational</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Existence of organizations active in the community, which can support CRE development
<p><i>Economic</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Availability of financial assistance • Generating income/jobs for the community • Cost sharing between actors • Operational cost recovery 	<p><i>Infrastructural</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Existence of infrastructures with the community which are conducive to CRE development
<p><i>Environmental</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Improve local economic conditions 	<p><i>Personal</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Individuals within the community possess resources and/or capacities conducive to CRE development.
<p><i>Policy</i></p> <ul style="list-style-type: none"> • Stable and consistent institutional and regulatory environment, at local, intermediary and national levels • Existence of coordinating/regulatory agency • Policy incentives (feed-in-tariffs) 	

Note. Reprinted from *Empowering communities - the role of intermediary organisations in community renewable energy projects in Indonesia*, by Susana Guerreiro & Iosif Botetzagias, retrieved from <https://doi.org/10.1080/13549839.2017.1394830> Copyright 2017 by Informa UK Limited

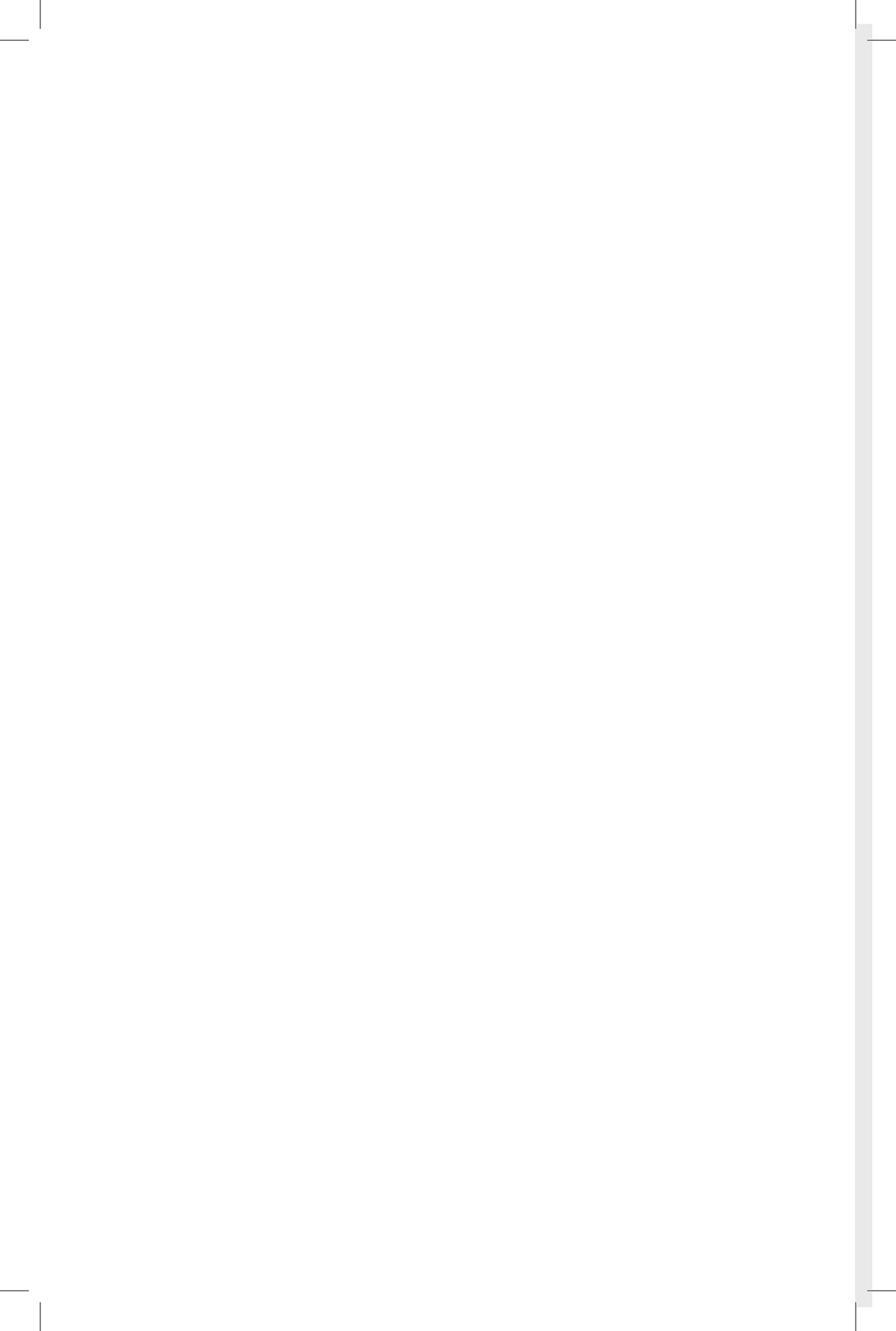
Peran yang dimainkan oleh komunitas semacam itu dapat mengirimkan riak positif pada demokratisasi dan desentralisasi sistem energi di seluruh dunia. Selain itu, dibandingkan dengan sistem energi yang tersentralisasi, sistem energi desentralisasi lebih tangguh terhadap perubahan iklim dan bencana (IRENA, 2018). Seperti halnya inisiatif lain, CBRE juga memiliki kelemahan dan hambatan implementasi yang adil, khususnya terkait dengan tantangan peraturan atau kebijakan serta tantangan keuangan, yang semakin diperburuk oleh kurangnya kejelasan tentang definisi energi masyarakat, tantangan budaya, dan tantangan terkait perbedaan. dalam komunitas (IRENA, 2018). Patut disebutkan, bahwa sebagian besar kegagalan proyek CBRE bukan karena

inovasi teknologi, melainkan “kompleksitas pendanaan, pemasangan, pengaturan hukum, dan operasional yang perlu diberlakukan” (Guerreiro & Botetzagias, 2018). Agar CBRE berhasil, penting untuk mempertimbangkan dua faktor: apa yang “eksternal” untuk proyek dan apa yang “internal”. Kerangka kerja *STEEP* digunakan untuk menganalisis peran “eksternal” yang dimainkan oleh faktor-faktor Sosial, Teknis, Ekonomi, Lingkungan, dan Kebijakan. Sementara itu, faktor “internal” atau komunitas terdiri dari peran budaya, organisasi, infrastruktur, dan pribadi (Guerreiro & Botetzagias, 2018). Untuk lebih jelasnya, lihat Tabel kerangka kerja framework *STEEP*.

Walaupun memiliki potensi utama yaitu mempertahankan pertumbuhan industri saat perubahan iklim sedang menyerang dan kelebihan yang ideal, namun konsep CBRE di Indonesia belum banyak dieksplorasi. Faktor-faktor pendukung sudah ada; kita khususnya para pemangku kepentingan hanya perlu memanfaatkan dan mengevaluasi potensi tersebut agar sampai ke implementasi riil di masyarakat. Indonesia sebagai negara berinvestasi lebih banyak dalam energi terbarukan dan CBRE untuk mendukung dan memberdayakan masyarakat dengan, antara lain, meningkatkan kesadaran, memberikan dukungan kelembagaan, memberikan langkah-langkah pembangunan kapasitas dan bantuan untuk memastikan keberlanjutan dalam jangka panjang selagi mempertahankan dan memajukan kualitas hubungan kedua sisi. Di atas segalanya, komitmen yang kuat dan teguh dari para pemangku kepentingan yang terlibat adalah elemen paling penting yang diperlukan untuk memperbanyak proyek berbasis masyarakat seperti CBRE. Pengembangan dan transisi energi terbarukan tentu masih terasa eksklusif bagi sebagian negara, termasuk Indonesia. Tetapi yang perlu menjadi pertimbangan ialah, dalam jangka panjang, biaya untuk tidak berinvestasi dalam energi terbarukan akan jauh lebih tinggi daripada berinvestasi di dalamnya. Dengan demikian, transisi menuju produksi dan penggunaan energi terbarukan menjadi sangat penting melihat potensi besar di dalamnya dan harus dilakukan. Jika tidak, Indonesia harus membayar harga yang lebih mahal di masa depan, di saat pilihan energi fosil sudah memasuki kelangkaan dan tidak mungkin digunakan lagi.

Daftar Referensi

- Chelminski, K., & van Asselt, H. (2018). Fossil Fuel Subsidy Reform in Indonesia. In *The Politics of Fossil Fuel Subsidies and their Reform* (pp. 193-211). Cambridge University Press.
- Dayal, M. (1983). *Renewable Sources of Energy*. India International Centre Quarterly, 297.
- Guerreiro, S., & Botetzagias, I. (2018). Empowering communities - the role of intermediary organisations in community renewable energy projects in Indonesia. *The International Journal of Justice and Sustainability*, 158-177.
- Hoffman, S. M., & High-Pippert, A. (2005). *Community Energy: A Social Architecture for an Alternative Energy Future*. *Bulletin of Science, Technology & Society*.
- IRENA. (2017). *Renewable Energy Prospects: Indonesia, a REmap analysis*. Abu Dhabi: International Renewable Energy Agency (IRENA).
- Jones, G. W. (2010). *The 2010 – 2035 Indonesian Population Projection: Understanding the Causes, Consequences and Policy Options for Population and Development*. Jakarta: UNFPA.
- McGee, J. A., & Greiner, P. T. (2019). *Renewable energy injustice: The socio-environmental implications of renewable energy consumption*. *Energy Research & Social Science*.
- SIBAT. (2011). *Gender Mainstreaming to Strengthen Community Based Renewable Energy Systems in the Philippines*. SIBAT. Tempo. (2018, November 25). *Indonesia's Target of Electrification Set at 99.9 Percent in 2019*.
- Retrieved from <https://en.tempo.co/read/923712/indonesias-target-of-electrification-set-at-99-9-percent-in-2019> Tharakan, P. (2015). *Summary of Indonesia's Energy Sector Assessment*. Manila: Asian Development Bank.



Tema III

Energi Baru Terbarukan sebagai Solusi Menghadapi Perubahan Iklim





Artikel 1

**Konsep Penerapan Macc-Tree:
Microalgae Based CO₂ Capture
Tree, Inovasi CO₂ Capture dengan
Sistem Photovoltaik Sebagai Upaya
Mitigasi Perubahan Iklim di
Kawasan PLTU Batubara**

Bernadeta Eka Naftalina

(Universitas Diponegoro, Semarang)

Climate Change merupakan isu yang sedang hangat diperbincangkan dewasa ini. Fenomena ini diindikasikan dengan adanya peningkatan suhu permukaan bumi karena terjadinya efek rumah kaca (*greenhouse effect*) yang disebabkan oleh meningkatnya emisi gas-gas seperti karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), dinitrooksida (N₂O) dan CFC, sehingga energi matahari terperangkap dalam atmosfer bumi. Dampak perubahan iklim di Indonesia terkait erat dengan peningkatan cuaca ekstrim baik frekuensi dan intensitasnya (Asnawi,2015). Pengamatan temperatur global sejak abad 19 menunjukkan adanya perubahan rata-rata temperatur yang menjadi indikator adanya perubahan iklim. Perubahan temperatur global ini ditunjukkan dengan naiknya rata-rata temperatur hingga 0.74°C antara tahun 1906 hingga tahun 2005 (Susandi dkk,2008). Dalam isu *climate change*, konsentrasi CO₂ di atmosfer adalah penyebab utama perubahan global dan perubahan iklim (IPCC,2007). Emisi ini dapat dihasilkan dari berbagai sektor, seperti sektor energi, sektor industri, hingga sektor transportasi. Menurut data ESDM, pada tahun 2012 jumlah inventarisasi gas rumah kaca sektor energi mencapai 433,8 juta ton CO₂. Pelepasan emisi karbon dan emisi lainnya (SO₂, SO₄, NO_x dan NO₃) ke atmosfer dapat berasal dari banyak cara. Salah satu sumber terbesar emisi karbon berasal dari pembangkit listrik yang menggunakan bahan bakar fosil.

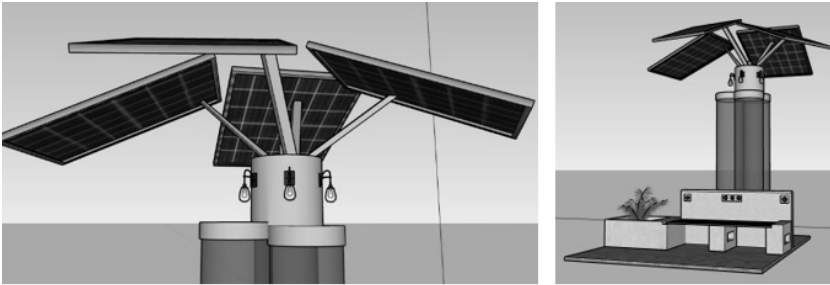
Proyek penyediaan tenaga listrik di Indonesia masih didominasi oleh pembangkit listrik batubara hingga 2026 yang merupakan

penyumbang emisi CO₂ disektor energi. Hingga November 2016, total kapasitas terpasang pembangkit di Indonesia yaitu 51,915 MW yang terdiri dari pembangkit PLN 39,856 MW, swasta 8,867 MW dan sewa 3,192 MW. Pembangkit tersebut masih didominasi PLTU Batubara 55,6%. Pembangkit listrik tenaga uap masih akan mendominasi energi listrik di Indonesia hingga 2026 yaitu sebesar 50.4% (ESDM, 2017 dalam Anggraini dkk,2018). Berdasarkan proyeksi PTPSE-BPPT, pada tahun 2050 sektor pembangkit listrik diprediksi akan menghasilkan gas rumah kaca sebesar 277,3 juta ton. Jumlah ini berasal dari jenis energi yang berbeda-beda seperti minyak, batu bara, gas, dan lainnya. Pada tahun 2005 emisi yang dihasilkan oleh minyak adalah yang tertinggi, tetapi pada tahun 2030 batubara merupakan jenis energi yang menghasilkan emisi CO₂ terbesar disusul oleh gas alam dan minyak (Boedoyo,2008) Perbandingan batubara, minyak, dan gas adalah 5:4:3 (Rizki dkk,2016), dimana prediksi emisi batubara sebesar 374,69 juta ton.

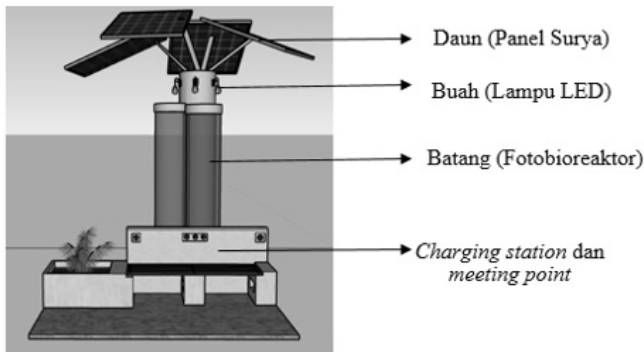
Sejalan dengan hal tersebut, guna mencegah dan mengurangi emisi gas CO₂ di atmosfer, pemerintah telah mengeluarkan berbagai regulasi dan kebijakan, salah satunya dengan diterbitkannya *Kyoto protocol* oleh PBB, sebagai upaya penurunan gas rumah kaca. Pemerintah Indonesia juga merespon upaya penurunan emisi gas rumah kaca dengan mengeluarkan Undang-Undang Nomor 17 tahun 2004 tentang pengesahan *Kyoto Protocol*. Komitmen Indonesia untuk mengurangi emisi gas rumah kaca juga dapat dilihat dalam Perpres No.61 Tahun 2011 mengenai Rencana Aksi Nasional Penurunan Emisi Gas Rumah Kaca dan Perpres No.71 tahun 2011 mengenai penyelenggaraan inventarisasi gas rumah kaca nasional (Prafitri dan Zulaikha, 2016). Indonesia menargetkan penurunan emisi GRK agar dapat mencapai sebesar 26% dari tingkat Business as Usual (BaU) dengan usaha sendiri yang akan dicapai pada tahun 2020 atau 41% apabila mendapat dukungan internasional. Untuk mencapai target ini tentunya Indonesia memerlukan dukungan dari berbagai sector termasuk sektor energi. Indonesia pun mulai beralih dari penggunaan energy fossil ke energy terbarukan untuk menekan membengkaknya emisi karbon yang dihasilkan dari sector pembangkit listrik. Namun, pada faktanya

Indonesia masih belum bisa sepenuhnya meninggalkan energy fosil untuk merealisasikan target pemerintah dalam penyediaan akses listrik bagi seluruh masyarakat Indonesia. Pemerintah juga mengambil kebijakan dalam penggunaan *Clean Coal Technology* (CCT) seperti penggunaan *boiler super critical* dan *ultra supercritical*, memprioritaskan pembangkit EBT serta mempertimbangkan teknologi *Carbon Capture Storage* (CCS) sesuai yang tertera pada RUPTL PLN 2017-2026.

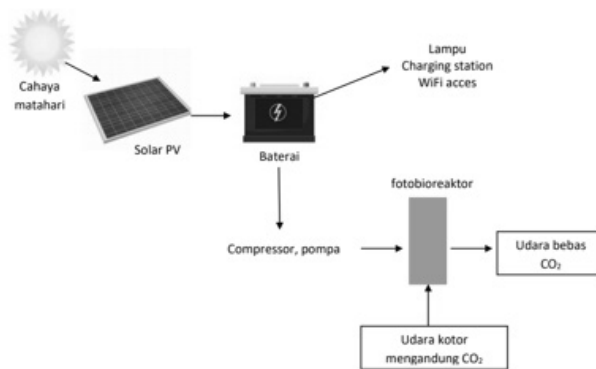
Terbitnya kebijakan tersebut telah mendorong munculnya kajian mengenai penerapan teknologi *carbon capture*. CCS merupakan teknologi yang berupaya untuk menangkap CO₂ dan menyimpannya pada cekungan dalam dibawah permukaan bumi. Dalam aplikasi teknologinya, cara konvensional yang biasa digunakan adalah dengan memanfaatkan larutan MEA (mono ethanol amine) sebagai larutan penyerap CO₂. Namun, teknik penangkapan dengan larutan MEA membutuhkan sirkulasi amine yang besar karena besarnya volume gas hasil pembakaran (Anggraini dkk, 2018). Selain itu, teknologi ini juga mahal dalam penerapannya. Oleh karena itu diperlukan adanya inovasi dalam CCS dengan penggunaan mikroalga. Mikroalga merupakan mikroorganisme yang memiliki potensi untuk dikembangkan dalam penyerapan emisi CO₂. Teknologi ini mengandalkan proses fotosintesis oleh sel-sel mikroalga yang menggunakan gas CO₂ sebagai substrat untuk pembentukan senyawa karbohidrat yang akan dikonversi menjadi biomassa. Secara teoritis, mikroalga dapat memfiksasi sekitar 513 Ton CO₂ yang menghasilkan 280 ton biomassa per ha dalam setahun (Bilanovic, 2009). Mikroalga memiliki tingkat efisiensi untuk memfiksasi CO₂ 10-50 kali lebih tinggi dibandingkan dengan tumbuhan darat (Christy, 2007 dalam Anggraini dkk, 2018). Dalam gagasan ini, mikroalga akan dipadukan dengan konsep fisiologis tumbuhan dan diintegrasikan dengan pemanfaatan solar PV sebagai *carbon capture* di kawasan sekitar PLTU batubara. Gagasan yang ditawarkan bernama MaCC-Tree "*Microalgae Based CO₂ Capture Tree*".



MaCC-Tree merupakan inovasi *carbon capture* menggunakan mikroalga yang dibudidayakan dalam fotobioreaktor berbasis energi terbarukan dengan menggunakan solar photovoltaic. Teknologi ini terinspirasi dari fisiologis tumbuhan pada umumnya yang dapat melakukan fotosintesis berupa penangkapan cahaya matahari oleh solar PV pada bagian daun untuk kemudian disimpan di dalam baterai sebagai sumber energi, ranting- ranting MaCC-Tree menggunakan *Tracking System* perangkat yang dapat mengikuti arah sinar matahari sehingga penyerapan energi oleh solar PV dapat berjalan secara optimal, lampu taman LED sebagai imitasi buah, dan bagian batang untuk respirasi penangkapan emisi CO₂ dengan fotobioreaktor. MaCC-Tree juga akan dilengkapi dengan *charging station*, *WiFi Acces*, dan bangku taman sehingga dapat digunakan sebagai *meeting point* masyarakat. Gagasan ini cocok untuk implementasi di kawasan sekitar PLTU Batu bara sebagai mitigasi perubahan iklim di Indonesia. Berikut merupakan rangkaian MaCC-Tree :



Prinsip kerja MaCC-Tree adalah memanfaatkan kemampuan fotosintetik dari mikroalga untuk menyerap CO₂. Udara atau *flue gas* yang mengandung karbon dioksida akan diumpungkan masuk kedalam fotobioreaktor oleh kompressor untuk selanjutnya digunakan oleh mikroalga dalam proses fotosintesis yang dibantu cahaya matahari. Saat mikroalga bertumbuh dan berkembang dalam sistem FBR untuk membentuk biomassa yang lebih besar volume dan bobotnya, maka terdapat kesetaraan dengan jumlah karbondioksida yang diserapnya.



Sumber energi yang digunakan dalam gagasan ini berasal dari panel surya yang disimpan dalam baterai dan nantinya dapat dimanfaatkan sebagai energi untuk proses absorpsi CO₂ menggunakan fotobioreaktor yang dilengkapi kompressor, lampu LED, WiFi acces, dan *charging station*. Dalam proses controllingnya, MaCC-Tree memanfaatkan *Internet of Things* untuk mempermudah dalam monitoring dan mengontrol kondisi pertumbuhan mikroalga, hal ini dimaksudkan agar mikroalga tidak terganggu pertumbuhannya dan tetap dapat berkembang dengan baik. Ketika tiba waktu panen, maka penggantian kultur mikroalga dilakukan secara manual untuk selanjutnya dapat digunakan sebagai biomassa guna kepentingan yang lain, misalnya pembuatan biodiesel. Pembersihan fotobioreaktor juga perlu dilakukan secara berkala agar tidak menurunkan produktivitas mikroalga dan kebersihan alat terjaga dengan baik.

“MaCC-Tree” merupakan konsep Carbon Capture yang dikombinasikan dengan photovoltaic dengan memanfaatkan mikroalga untuk menangkap CO₂ yang selanjutnya digunakan dalam metabolismenya. Gagasan ini mengadopsi fisiologis tumbuhan dalam penerapannya yang diharapkan dapat memberikan manfaat utama dalam menanggulangi permasalahan emisi karbon khususnya di kawasan PLTU Batu bara sehingga dapat memerangi adanya *climate change*.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, R. C. P. K., Kuntjoro, Y. D., & Sasongko, N. A. (2018). Potensi Pemanfaatan Mikroalga Untuk Mitigasi Emisi CO₂ (Studi Kasus Di PLTU Cilacap). *Ketahanan Energi*, 4(1).
- Asnawi, R. (2015). Perubahan iklim dan kedaulatan pangan di Indonesia. Tinjauan produksi dan kemiskinan. *Sosio Informa*, 1(3).
- Bilanovic, D., A. Andargatchew, T. Kroeger, and G. Shelef, (2009), Freshwater and marine microalgae sequestering of CO₂ at different C and N concentrations – response surface methodology analysis, *Energy Convers. Manage*, 50: 262–267.
- Boedoyo, M. S. (2008). Penerapan teknologi untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. *Jurnal Teknologi Lingkungan*, 9(1).
- IPCC Climate Change. (2007). The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to The Forth Assesment Report of The Ingovermental Panel on Climate Change.
- Prafitri, A., & Zulaikha, Z. (2016). Analisis pengungkapan emisi gas rumah kaca. *Jurnal Akuntansi Dan Auditing*, 13(2), 155-175.
- Rizki, D. F., Yulinawati, H., & Silalahi, M. D. (2016). Kajian Inventarisasi dan Estimasi Upaya Penurunan Emisi Karbon Dioksida di Pltu Suralaya Unit 1–7, Banten. In *Prosiding Seminar Nasional Cendekiawan* (pp. 6-1).
- Susandi, A., Herlianti, I., Tamamadin, M., & Nurlela, I. (2008). Dampak perubahan iklim terhadap ketinggian muka laut di wilayah Banjarmasin. *Jurnal ekonomi lingkungan*, 12(2).



Artikel 2

Energi Berkelanjutan untuk Indonesia yang Ramah Lingkungan

Faiky Luthfi Rivade

(Universitas Gadjah Mada - UGM)

Sumber energi fosil menghasilkan emisi gas karbon yang tinggi dan menimbulkan dampak terhadap keamanan lingkungan, perubahan iklim, dan keberlanjutan sumber daya (Opeyemi, 2021). Oleh sebab itu, dibutuhkan pengganti dari sumber energi fosil untuk mengurangi dampak dari perubahan iklim. Sumber energi baru terbarukan merupakan alternatif dari permasalahan di atas sebagai bentuk antisipasi akan persediaan energi berbahan baku fosil yang semakin menipis. Energi terbarukan menjadi alternatif dikarenakan sumber dayanya yang tidak terbatas dan tidak pernah habis. Esai ini akan mendiskusikan mengenai substitusi penggunaan energi fosil sebagai solusi dari perubahan iklim. Argumen utama dalam esai ini adalah sumber energi baru terbarukan lebih efisien dalam meminimalisir perubahan iklim saat ini. Argumen tersebut didukung oleh dua premis yaitu: 1) energi baru terbarukan menjamin keberlanjutan, 2) jika dimaksimalkan, sumber energi baru terbarukan akan jauh lebih terjangkau.

Sumber energi baru terbarukan adalah sumber energi yang bisa didaur ulang, dapat diperbarui dan terdapat dalam jumlah banyak. Saat ini sumber energi baru terbarukan yang telah digunakan adalah energi dari biogas, air, angin, dan sinar matahari (Novita, 2021). Perubahan iklim (*climate change*) merupakan hal yang tidak dapat dihindari akibat pemanasan global (*global warming*) dan diyakini akan berdampak luas terhadap berbagai aspek kehidupan, mulai dari perubahan pola curah

hujan, peningkatan frekuensi kejadian iklim ekstrem, serta kenaikan suhu udara dan permukaan air laut merupakan dampak serius dari perubahan iklim yang dihadapi Indonesia (Surmaini, Runtuuwu and Las, 2015). Dewasa ini, masyarakat hingga politisi mulai menyadari eksistensi dari perubahan iklim. Hal ini bisa dilihat dari penginklusian narasi pencegahan perubahan iklim yang disampaikan ketika kampanye. Selain itu, banyaknya aksi-aksi *climate justice* yang dilakukan masyarakat global seperti *long march*, demonstrasi, hingga *campaign* konsep ekonomi sirkular juga menunjukkan peningkatan kesadaran masyarakat akan adanya perubahan iklim. Sebagai respon dari hal tersebut, politisi di berbagai belahan dunia, contohnya Amerika Serikat, mengarahkan ideologi partai mereka sebagai partai yang peduli lingkungan, meskipun hal tersebut masih diidentifikasi sebagai tindakan politik untuk *gaining voters*. Kesadaran masyarakat akan perubahan iklim ini seharusnya menjadi dorongan bagi pemerintah untuk mulai beralih kepada sumber energi baru terbarukan. Selain proses pembuatannya yang ramah lingkungan, sumber energi baru terbarukan juga bisa di-*restore* sehingga tidak akan pernah habis.

Pertama, energi baru terbarukan bisa menjamin keberlanjutan sumber energi karena bisa didaur ulang serta dapat diperbarui dengan intensitas jumlah yang lebih banyak. Energi baru terbarukan dapat dipulihkan secara alami melalui proses yang berkelanjutan seperti air, angin, panas bumi, dan tenaga surya. Sumber energi ini akan selalu tersedia dan dapat terus diperbarui. Sementara itu, energi fosil sulit untuk mencukupi kebutuhan energi karena lamanya waktu untuk menghasilkan fosil kembali serta biaya yang tidak sedikit untuk mendapatkan hingga mengolah energi tersebut. Energi fosil berasal dari sisa-sisa hewan dan tumbuhan yang sudah mati jutaan tahun lalu. Energi fosil yang sudah habis digunakan akan sulit untuk didapatkan lagi karena membutuhkan waktu jutaan tahun untuk bisa dimanfaatkan menjadi energi.

Indonesia secara geografis merupakan negara yang strategis karena memiliki kekayaan alam berupa sumber daya yang bisa memenuhi kebutuhan energi. Namun, masih banyak sumber daya terbarukan yang belum dimanfaatkan secara optimal. Penyebab masih kurangnya

penggunaan sumber daya terbarukan karena kemampuan tenaga ahli di Indonesia yang belum menguasai banyak teknologi untuk pembangunan dan pengelolaan sumber daya terbarukan serta harga jual energi fosil masih rendah dan lebih terjangkau oleh masyarakat umum dibandingkan dengan bahan bakar yang dihasilkan oleh energi baru terbarukan. Jika dibandingkan dengan negara maju, Indonesia masih jauh tertinggal dalam penggunaan energi baru terbarukan. Contohnya adalah Jerman yang memiliki persen konsumsi energi baru terbarukan sebesar 12,74% (Prismono, 2020). Hal ini merupakan implikasi dari pemanfaatan sumber daya manusia dan teknologi. Sementara Indonesia masih menggunakan kurang dari 3% sumber energi baru terbarukan.

Salah satu faktor pendorong perubahan iklim adalah pengambilan sumber daya energi fosil secara terus menerus yang tidak diikuti dengan rehabilitasian lingkungan. Energi baru terbarukan sebagai alternatif dari energi fosil merupakan upaya untuk mengurangi dampak dari perubahan iklim. Sumber daya energi baru terbarukan jika digunakan terus menerus tidak akan habis dan tidak merusak lingkungan. Energi terbarukan dapat membangkitkan tenaga listrik tanpa melalui pembakaran, tidak seperti pada penggunaan energi fosil. Energi baru terbarukan seperti pembangkit listrik tenaga air dan panas bumi mempunyai kelebihan sebagai pilihan untuk mencegah perubahan iklim. Pembangkit listrik tenaga air dapat dikatakan bebas dari emisi gas rumah kaca, sedangkan pembangkit listrik tenaga panas bumi hanya menghasilkan seperenam dari emisi gas rumah kaca yang dihasilkan dari penggunaan gas alam untuk pembangkit listrik. Indonesia sendiri memiliki sumber daya yang sangat besar dari sisi panas bumi, apabila bisa dikembangkan akan berdampak efektif mengurangi emisi karbon dan mengurangi krisis iklim tersebut. Sangat disayangkan kontribusi dan konsumsi energi panas bumi di Indonesia saat ini masih kurang optimal, yaitu sebesar 8,17%, dan pembangkit energi panas bumi di Indonesia juga masih sedikit (Sony and Leila, 2020).

Kedua, sumber energi baru terbarukan lebih terjangkau jika utilisasi prosesnya benar-benar dimaksimalkan. Dampak sosial ekonomi maupun lingkungan akibat perubahan iklim semakin nyata karena efek rumah kaca yang mendorong pemanasan global hingga

tingkat yang mengkhawatirkan. Perubahan iklim dan pemanasan global telah memicu peningkatan bencana alam dan menimbulkan krisis pangan di berbagai negara. Sumber energi baru terbarukan bisa menjadi sangat efisien jika ada penelitian yang bisa dimaksimalkan. Memang pada awalnya membutuhkan biaya lebih tapi dampak kedepannya sumber energi tak terbarukan ini bisa menghemat banyak biaya. Pengembangan sumber daya terbarukan juga perlu dukungan dari semua aspek mulai dari Pemerintahan, masyarakat hingga investor yang akan menyuntikan dana untuk pembangunan infrastruktur energi baru terbarukan. Pengembangan sumber daya terbarukan juga bisa memanfaatkan penelitian mahasiswa. Seperti penelitian Imam Khaliq mahasiswa Universitas Wijaya Putra Surabaya yang membahas tentang “Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi BBM”. Pemanfaatan sumber energi terbarukan perlu dikembangkan mengingat harga Bahan Bakar Minyak yang terus meningkat sehingga tidak terjangkau oleh semua kalangan. Kondisi ini juga mendorong adanya ketidaksinambungan energi karena harga yang terus melambung dan sumber daya yang terbatas.

Pemerintah Indonesia masih belum memaksimalkan penggunaan teknologi dan hasil penelitian yang telah dilakukan mahasiswa. Indonesia pada dasarnya memiliki sumber daya intelektual yang memadai terutama dalam melakukan riset. Indonesia bisa belajar dari negara-negara yang lebih unggul dalam bidang energi terbarukan melalui program kerja sama yang nantinya akan ada *transfer of knowledge* sehingga bisa dimanfaatkan secara domestik untuk meningkatkan energi terbarukan. Sumber daya intelektual juga bisa dimanfaatkan dengan cara memberikan dana riset, mendampingi, monitor, dan evaluasi agar terciptanya teknologi yang mampu mengolah sumber energi terbarukan sehingga kedepannya energi ini akan mudah didapat. Sesuai dengan hukum ekonomi, semakin banyak barang, maka harga akan semakin murah. Secara praktik, proses pembuatan teknologi tidak semudah yang dibayangkan. Pembuatan teknologi agar benar-benar teruji tentu membutuhkan waktu yang panjang. Namun, untuk mendapatkan *future benefit*, diperlukan usaha dari hari ini termasuk

dalam hal pengembangan teknologi untuk mengolah energi terbarukan. Salah satu contoh dari teknologi energi baru terbarukan yaitu berupa penggabungan *solar panel* dan *power storage system* atau baterai penyimpanan energi skala besar yang diberi nama PowerWall di bawah naungan Baran Energy (Husaini,2020). Prinsip kerja teknologi ini yaitu ketika cahaya matahari diserap lalu dikonversi menjadi energi listrik oleh solar panel, lalu ketika malam hari atau kekurangan energi energi tadi yang telah tersimpan disalurkan ke ke peralatan rumah tangga, seperti lampu, kulkas, mesin air, AC, kipas angin dan lain lain. Hal ini juga tidak begitu berpengaruh terhadap perubahan iklim, karena dengan teknologi ini penggunaan energi fosil sudah ter-minimalisir dengan menggunakan energi matahari yang tidak menyebabkan banyaknya emisi gas karbon dan tidak akan pernah habis.

Dari pemaparan argumen di atas, dapat disimpulkan bahwa penggunaan energi baru terbarukan efektif untuk mengurangi dampak perubahan iklim. Meskipun dalam penggunaan sebenarnya di Indonesia belum terlaksana dengan maksimal, tulisan ini percaya bahwa bila hasil riset peneliti atau mahasiswa dimaksimalkan maka Indonesia bisa menjadi negara yang paling banyak memanfaatkan energi baru terbarukan melihat banyaknya sumber daya terbarukan yang ada di Indonesia. Peningkatan kesadaran masyarakat mengenai perubahan iklim seharusnya mendorong pemerintah untuk lebih *aware* dengan penggunaan energi baru terbarukan di Indonesia. Untuk mengurangi dampak dari perubahan iklim, diperlukan konsensus dari banyak negara termasuk komitmen dalam mengurangi emisi gas karbon yang merupakan implikasi dari penggunaan energi fosil. Indonesia bisa menjadi promotor dalam tingkat global jika sudah berhasil mengurangi penggunaan energi fosil secara domestik dan sudah memaksimalkan pemanfaatan teknologi untuk mengolah sumber daya energi baru terbarukan. Untuk masa yang akan datang, tulisan ini memiliki rekomendasi kepada pemerintah untuk sedikit demi sedikit mulai belajar kepada negara yang sudah terlebih dahulu memanfaatkan teknologi pengolah energi baru terbarukan, agar efek positif dapat dirasakan dalam jangka panjang. Selain itu, pemerintah juga bisa

meningkatkan kesadaran masyarakat melalui sosialisasi, program-program promosi penggunaan panel surya, dan lain sebagainya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bajari, A. and Gemiharto, I., 2019. Strategi Komunikasi Penggunaan Energi Terbarukan Menghadapi Perubahan Iklim di Indonesia. *Komunikasi Lingkungan dan Komunikasi Bencana di Indonesia*.
- Budiarso, S. and Chanifah, L., 2020. *Krisis Iklim dan Peran Energi Terbarukan*. [online] Available at: <<https://feb.ugm.ac.id/id/berita/3039-krisis-iklim-dan-peran-energi-terbarukan>> [Accessed 25 April 2021]
- Husaini, A., 2020. *Teknologi EBT Baran Energy mulai diterapkan di Indonesia*. [online] kontan.co.id. Available at: <<https://industri.kontan.co.id/news/teknologi-ebt-baran-energy-mulai-diterapkan-di-indonesia>> [Accessed 25 April 2021].
- Kholiq, I., 2015. Analisis Pemanfaatan Sumber Daya Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal Iptek*, 19(2), pp.75-91.
- Novita, C., 2021. *Apa Itu Sumber Energi Terbarukan & Tak Terbarukan Serta Contohnya* - Tirto.ID. [online] tirto.id. Available at: <<https://tirto.id/apa-itu-sumber-energi-terbarukan-tak-terbarukan-serta-contohnya-gaYM>> [Accessed 19 April 2021].
- Opeyemi, B.M., 2021. Path to sustainable energy consumption: the possibility of substituting renewable energy for non-renewable energy. *Energy*, p.120519.
- Prismono., 2020. *Negara dengan Konsumsi EBT Terbanyak*. [online] Available at: <<https://petrominer.com/negara-dengan-konsumsi-ebt-terbanyak/>> [Accessed 25 April 2021].
- Surmaini, E., Runtunuwu, E. and Las, I., 2015. Upaya sektor pertanian dalam menghadapi perubahan iklim.



Artikel 3

Menjual Listrik dalam Kondisi Iklim yang Tidak Menentu

Fitria Khojanni

(Universitas Gadjah Mada - UGM)

Kemungkinan masyarakat menjual listrik di kondisi iklim bila dilihat secara sekilas tidaklah mungkin dilakukan. Namun tanpa ternyata kemungkinan masyarakat menjual listrik dapat dilakukan dengan penerapan sistem energi baru terbarukan dalam mekanisme memperoleh listrik. Kondisi geografis Indonesia yang berada di wilayah ekuator dengan iklim tropis yang memiliki intensitas radiasi matahari yang besar sepanjang tahunnya telah menjadi rahasia umum. Intensitas radiasi matahari yang besar inilah yang membuka peluang masyarakat untuk menjual listrik dengan mengembangkan pembangkit listrik tenaga surya di Indonesia.

Pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) merupakan salah satu bentuk pemanfaatan energi baru terbarukan dalam produksi listrik dengan menggunakan *photovoltaic cell* atau *solar cell energy* untuk mengubah radiasi matahari menjadi energi listrik. Kondisi iklim di Indonesia menjadi faktor pendorong terkuat dalam pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya. Pada penyimpanan listrik yang dihasilkan, PLTS terbagi menjadi dua sistem dalam penyimpanan energinya berupa *off grid* dan *on grid*. PLTS *on grid* merupakan sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung dengan jaringan listrik PLN. Pada PLTS *on grid*, inverter dalam sistem memiliki fungsi ganda sebagai pengubah arus DC menjadi AC pada listrik yang diproduksi dari PLTS dan juga bertugas untuk menyesuaikan arus AC agar sesuai

dengan jaringan listrik PLN yang terhubung dengan sistem. Penggunaan sistem *on grid* memiliki keuntungan dimana kelebihan listrik yang dihasilkan dalam kondisi yang efisien dapat dijual dan apabila terjadi kekurangan listrik yang dihasilkan maka dapat dilakukan suplai oleh PLN. PLTS dapat dipasang pada berbagai media salah satunya adalah atap rumah ataupun bangunan lain.

Kenapa Indonesia perlu mengembangkan PLTS?

Radiasi matahari yang tersedia sepanjang tahun di Indonesia juga menjadi alasan mengapa Indonesia memerlukan pemanfaatan PLTS. Indonesia menjadi salah satu negara tropis dengan potensi energi matahari sangat besar dengan insolasi harian rata-rata 4,5-4,8 KWh/m² / hari. Pada siang hari ketika cuaca cerah radiasi matahari di Indonesia mencapai 1000 W/m². Energi tersebut apabila dimanfaatkan dengan menggunakan sistem PLTS seluas satu meter persegi dengan efisiensi 10%, maka mampu menghasilkan listrik sebesar 100 watt. Energi listrik tersebut menjadi potensi yang besar bagi PLTS di Indonesia.

Dilihat dari kondisi wilayah di Indonesia yang dipisahkan oleh lautan maka terjadi kesulitan dalam distribusi listrik apabila hanya terdapat satu sumber listrik saja. Dilihat dari distribusi listrik di Indonesia dapat ditemukan beberapa daerah masih belum terjangkau oleh listrik. Walaupun telah ada peningkatan rasio elektrifikasi pedesaan sebesar 99,48% pada tahun 2020 nyatanya belum mampu menjangkau 433 desa di Indonesia. Kondisi ini tentu saja menjadi pertimbangan yang serius dimana ketidakterjangkauan listrik menjadi sumber penghambat kemajuan daerah dengan adanya keterbatasan komunikasi dan perolehan informasi. Hal tersebut dikarenakan hampir seluruh teknologi yang berkembang di “era revolusi industri 4.0” membutuhkan energi listrik dalam akses penggunaannya. Oleh karena itu, PLTS dibutuhkan dikarenakan instalasi PLTS dapat dilakukan dimana saja bahkan di atas atap permukiman. Instalasi PLTS di atas atap permukiman ataupun gedung telah dilakukan beberapa negara, salah satunya adalah Jepang. Jika diasumsikan setiap rumah memiliki luas 50 meter dan dipasang sel surya dengan efisiensi 10 % maka akan

menghasilkan 5000 watt setiap harinya yang dapat dimanfaatkan. Jika sel surya yang digunakan memiliki efisiensi yang lebih tinggi misalnya dengan sel surya jenis monokristalin dengan efisiensi 20 % maka dapat dihasilkan energi listrik yang lebih besar. Adanya pemasangan PLTS di setiap rumah akan memungkinkan keterjangkauan listrik akan merata di Indonesia karena tidak ada permasalahan dalam jaringan distribusinya.

Dewasa ini, pemanasan menjadi isu hangat sebagai pengaruh dari kenaikan konsentrasi CO₂. Pemanasan global akan membawa banyak dampak dalam kehidupan, salah satunya adalah suhu udara yang akan terus meningkat serta pola hujan yang terjadi tidak menentu sehingga menyebabkan terjadinya perubahan iklim. Berkaitan dengan kenaikan CO₂, IPCC (2001) menyatakan bahwa selama 100 tahun terakhir temperatur bumi naik 0.74° celcius. Perubahan iklim tersebut kerap kali menjadi kendala besar bagi berbagai bidang kehidupan. Walaupun PLTS juga akan terpengaruh tapi penaruhnya tidak memberikan dampak yang signifikan karena permasalahan perubahan iklim mampu diatasi dengan modifikasi dari sistem PLTS. Apabila terjadi perubahan cuaca yang tidak menentu sehingga berakibat dalam intensitas radiasi matahari bagi sel surya dapat diatasi dengan adanya aplikasi sistem *on grid* pada PLTS. Sistem *on grid* diterapkan dalam mengantisipasi adanya tingkat efektivitas yang berbeda pada sel surya ketika terjadi perubahan cuaca yang tidak menentu. Sebagaimana telah dijelaskan dalam paragraf dua, sistem *on grid* akan menghubungkan sel surya dengan jaringan PLN sehingga tidak memerlukan baterai dalam penyimpanan energi. Adanya hubungan sel surya dengan jaringan PLN memiliki keuntungan berupa adanya *backup* listrik dari PLN. Maksud dari *backup* listrik adalah dimana sel surya dalam keadaan tidak efektif dalam memproduksi listrik maka dapat dilakukan suplai listrik oleh PLN. Begitupun sebaliknya, ketika keadaan sangat efektif bagi sel surya dalam memproduksi listrik hingga energi yang dihasilkan untuk mencukupi kebutuhan energi maka dapat dilakukan pengembalian kepada PLN ataupun dapat dijual.

Berbagai kelebihan dari instalasi pembangkit listrik tenaga surya juga menjadi kunci perlunya kesadaran untuk pemanfaatan PLTS di Indonesia. Pembangkit listrik tenaga surya merupakan jenis pembangkit listrik dengan energi bersih tanpa memberikan efek gas rumah kaca. Berbeda dengan pembangkit listrik konvensional berbahan batu bara, pembangkit listrik tenaga surya justru mengurangi *carbonfootprint*. PLTS juga merupakan wujud kemandirian energi karena mampu diterapkan dimana saja bahkan dalam skala rumah tangga. Walaupun biaya investasi awalnya mahal namun biaya perawatan dari PLTS dikatakan murah dan tahan lama sehingga mampu menutup biaya investasi awal yang dikeluarkan. Bila PLTS dipasangkan dalam skala rumah tangga tentu saja investasi awalnya tidak terlalu besar dan dapat dilakukan pengembalian modal dalam pemanfaatannya. Pengembalian modal tersebut akan lebih menguntungkan lagi apabila adanya penerapan sistem *on grid* sehingga dapat dilakukan penjualan energi listrik yang berlebihan dengan tujuan pengembalian modal akan lebih cepat.

Indonesia merupakan negara dengan pulau yang tersebar luas dengan potensi iklim tropis merupakan potensi besar bagi pengembangan pembangkit listrik tenaga surya. Pembangkit listrik tenaga surya akan mampu merealisasikan pemerataan keterjangkauan listrik di Indonesia. Pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem *on grid* akan mampu mengatasi kendala perubahan iklim yang terjadi. Selain itu, sistem *on grid* juga memungkinkan percepatan pengembalian modal karena ada kemungkinan untuk menjual listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu, seharusnya Indonesia mulai melirik pemanfaatan pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem *on grid* yang mampu dipasang dalam skala rumah tangga dalam rangka mewujudkan kemandirian energi.

Referensi

- Cahyono, E.W. 2010. Dampak Aktivitas Matahari Terhadap Kenaikan Temperatur Global.
Berita Dirgantara Vol. 11 No. 1 Maret 2010:1-5.
- Gifson, A., Siregar, M. R.T., Pambudi, M.P. 2020. Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) on Grid Ecopark Ancol. *TESLA* Vol. 22 No. 1, Maret 2020.
- National Aeronautics and Space Administration.
- Palaloi, S. 2014. Analisis Penggunaan Energi Listrik pada Pelanggan Rumah Tangga Kapasitas Kontrak Daya 450 VA. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST)* ISSN: 1979-911X Yogyakarta, 15 November 2014.



Artikel 4

Unlocking Financial Barriers to Accelerate PV Energy Implementation

Muhammad Husni Abdul Fatah

Universitas Indonesia

Berada dalam krisis iklim yang kian menantang, Indonesia rupanya masih sangat tergantung dengan energi non terbarukan dan ekonomi yang bersifat ekstraktif. Berdasarkan laporan WEF dan PwC (2020), menyebutkan bahwa 32% dari PDB Indonesia dihasilkan dari sektor-sektor yang sangat tergantung dengan alam. Berdasarkan tesis kutukan sumber daya alam, keberlimpahan sumber daya alam yang seharusnya merupakan berkah bagi perekonomian, justru dapat menjadi kutukan.

Sumber daya alam, seharusnya menjadi berkah bagi perekonomian. Permintaan yang inelastis terhadapnya, disebabkan karena kebutuhan yang besar dari pasar global, seharusnya dapat menjadi peluang tambahan devisa. Akan tetapi, realita yang ada berbanding terbalik. Sachs dan Warner (1995) menemukan bahwa terdapat korelasi positif yang kuat, antara rendahnya pertumbuhan ekonomi dengan melimpahnya sumber daya alam.

Selain itu, dunia kini dihadapkan oleh perubahan iklim yang kian urgensi. Perubahan iklim tidak dapat dipandang sebatas memanasnya suhu dan banyaknya polusi yang tersebar. Perubahan iklim juga mengancam perekonomian global, dengan proyeksi berkurangnya PDB global pada kisaran 2% hingga 10% (Harris dan Roach, 2017), menyebabkan usaha untuk meningkatkan taraf hidup oleh berbagai negara di dunia ini, menjadi sia-sia.

Mengapa demikian? Dapat dibayangkan bahwa, dengan meningkatnya suhu, berbagai kegiatan perekonomian tidak dapat dilaksanakan: pertanian tidak dapat menghasilkan panen, karena beberapa tanaman punah akibat suhu yang ada melewati relung hidupnya. Atau, banyaknya polusi, mengakibatkan biaya kesehatan meningkat akibat besarnya paparan polusi.

Menghadapi kedua masalah tersebut: ketergantungan sumber daya alam dan krisis iklim, artinya Indonesia membutuhkan diversifikasi sumber energi. Salah satu upaya diversifikasi adalah transisi ke energi terbarukan. Sumber energi terbarukan dapat menyelesaikan ketergantungan sumber daya ekstraktif, dan krisis iklim, dua masalah sekaligus sebagaimana peribahasa: “sekali merengkuh dayung, dua tiga pulau terlewati.”

Dalam upaya transisi, yang membutuhkan biaya tidak sedikit, penting untuk mengetahui bentuk energi manakah yang paling terjangkau, dan selaras dengan keunggulan komparatif yang Indonesia miliki demi mengurangi resiko serta meningkatkan akselerasi transisi energi di tengah keterbatasan kapabilitas yang Indonesia miliki. Teknologi yang paling dekat untuk direalisasikan, salah satunya adalah *Photovoltaics* alias energi PV, dengan aplikasinya berupa panel surya.

Penerapan teknologi ini dapat mewujudkan transisi energi menuju energi terbarukan. Meskipun demikian, terdapat berbagai tantangan, dan hambatan yang membuat inovasi untuk mengembangkan teknologi ini terhambat, dan terciptanya inefisiensi. Mengapa teknologi ini dapat mewujudkan transisi secara terjangkau? Apa tantangan yang menghambatnya? Serta bagaimana langkah serta solusi yang konkrit untuk memecahkan masalah tersebut?

Maksimiliasi Keunggulan Komparatif

Indonesia sebagai negara tropis memiliki keunggulan berupa keberlimpahan sinar matahari sepanjang tahun. Keberlimpahan energi tersebut, merupakan keunggulan komparatif dan perlu Indonesia manfaatkan. Meskipun demikian, kapasitas pembangkit terpasang nasional dari sebuah PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) masih

sebesar 0,21% dari total keseluruhan kapasitas pembangkit terpasang nasional, dengan kontribusi energi surya baru mencapai 1,7% dari keseluruhan total produksi listrik (Dirjen Ketenagalistrikan, 2020).

Padahal di tingkat global, biaya investasi rata-rata untuk PLTS berkapasitas besar (*Levelized cost of energy*) menurun 82% antara 2010 dan 2019 menjadi \$68/MWh (IRENA, 2020). Jika dibandingkan dengan biaya produksi PLN pada tahun sebelumnya (2018) yakni \$79/MWh (ESDM, 2019), maka dapat disimpulkan bahwa biaya investasi PLTS terhitung lebih rendah ketimbang biaya produksi PLN pada tahun sebelumnya.

Tidak hanya itu, biaya baterai penyimpanan sebagai salah satu komponen penting dalam sistem PLTS juga mengalami penurunan yang signifikan. Berdasarkan analisis BloombergNEF (2019), mencatat bahwa terjadi penurunan hingga 87%, dari diatas \$1,100/kWh pada 2010, menjadi \$156/kWh pada tahun 2019. Selain itu, diproyeksikan biaya rata-rata akan berkurang menjadi \$100/kWh pada tahun 2023. Hal ini disebabkan karena meningkatnya ukuran permintaan, pertumbuhan penjualan kendaraan listrik, dan penetrasi lanjutan dari *high-energy density cathodes* yang meningkatkan kapasitas dan manfaat dari baterai yang ada.

Meskipun biaya penggunaan dan pemasangan untuk PLTS dan baterai semakin berkurang, perkembangan Indonesia dalam transisi energi masih lambat. Hal ini disebabkan investasi yang diperlukan untuk transisi energi, masih kurang dari kebutuhan. Untuk mencapai 23% dari target bauran energi terbarukan di Indonesia pada 2025, Indonesia membutuhkan investasi sebesar Rp2,000 triliun (Walton, 2019). Bagaimana solusi yang tepat, untuk mengurangi hambatan investasi tersebut, sehingga transisi menuju energi terbarukan dapat terlaksana?

Masalah dan Solusi

Liebman dkk (2019) menyebutkan berbagai hambatan, terutama di bagian keuangan. Pada sektor finansial, hal utama yang menyebabkan adanya hambatan terkait dengan persepsi atas tingginya resiko dalam

berinvestasi di energi terbarukan, dan persepsi besarnya biaya yang dikombinasikan dengan rendahnya subsidi, menyebabkan proyek yang ada menjadi tidak ekonomis dan efisien. Permasalahan tersebut ditambah dengan regulasi kredit finansial, menyebabkan bank besar di Indonesia tidak ingin mengambil resiko untuk investasi di proyek energi terbarukan.

Selain itu, terdapat hambatan yang terletak di pasar, yang memberikan pengaruh terhadap keenganan sektor swasta untuk berinvestasi. Termasuk resiko yang diterima akibat berbagai hambatan di bidang kebijakan: lanskap kebijakan yang tidak saling bertentangan satu sama lain (antara insentif dan target), *feed-in-tariff* yang tidak memadai, dan sulitnya produsen listrik independen dalam membuat kesepakatan dengan PLN, selaku pembeli tunggal sebagai akibat dari distorsi harga dan rendahnya transparansi harga yang ada.

Menghadapi hambatan dalam pembiayaan transisi energi, sebelum beranjak pada kebijakan apa yang perlu diterapkan, pemerintah perlu menetapkan isu transisi energi ini, sebagai prioritas, dan bertindak sebagai *kick-starter* dari berbagai inovasi yang ada. Selain itu, intervensi pasar juga dibutuhkan mengingat regulasi kredit yang meminimalisasi resiko untuk memberikan pinjaman skala besar dan jangka panjang. Regulasi kredit yang ketat, tidak terlepas dari upaya sektor finansial untuk memperkuat jaring pengaman sosial dari krisis.

Oleh karena itu, dibutuhkan pendanaan publik langsung dari pemerintah. Belajar dari pembiayaan teknologi di AS, bahwa kecanggihan pengembangan teknologi yang ada, dimulai dari pendanaan publik, secara esensial. Terutama pada awal pengembangan (transisi), dan beresiko tinggi (Mazzucato, 2013).

Adanya pembiayaan awal dari sektor publik, mampu mengurangi resiko yang diampu oleh sektor swasta dalam investasi di energi terbarukan. Pembiayaan publik ini, dapat diawali dengan berbagai instrumen keuangan, seperti menerbitkan obligasi spesifik, *feed-in-tariff*, insentif fiskal, garansi, dan suntikan modal untuk BUMN. Berdasarkan riset Sitorus dkk (2018), menyebutkan bahwa suntikan modal untuk BUMN (yakni PLN dan SMI) memiliki dampak

terbesar dalam mendorong sektor swasta untuk berinvestasi di energi terbarukan¹.

Selain itu, dalam rangka memaksimalkan pendanaan publik, diperlukan harmonisasi kebijakan yang bersifat multi-sektoral. Terutama terkait dengan kebijakan tarif dan subsidi energi. Jangan sampai ketika pemerintah berupaya untuk mendorong transisi energi, terutama energi PV, pada saat yang sama terjadi insentif untuk pertambahan penyuplai PLTU (Pembangkit listrik tenaga uap). Sehingga terjadi disinsentif terhadap upaya untuk alih energi.

Adanya persepsi bahwa energi PV lebih mahal, juga menjadi hambatan bagi investor untuk menanamkan modal. Persepsi pasar ini, perlu diimbangi dengan informasi yang menunjukkan sebaliknya, seperti biaya investasi yang pada faktanya di tingkat global menurun sebesar 82 (IRENA, 2020). Selain itu, sebagaimana yang telah disampaikan sebelumnya, jika dibandingkan dengan biaya produksi PLN pada tahun sebelumnya (2018) yakni \$79/MWh (ESDM, 2019), maka dapat disimpulkan bahwa biaya investasi PLTS terhitung lebih rendah ketimbang biaya produksi PLN pada tahun sebelumnya. Tidak hanya itu, biaya baterai pun mengalami penurunan yang signifikan. Informasi terkait ini, perlu dikomunikasikan lebih lanjut kepada publik, demi mendorong investasi pada upaya transisi energi dan menghindari informasi yang bersifat asimetris dan merugikan.

Pada akhirnya, dukungan publik merupakan kunci utama untuk mendorong iklim investasi yang optimal. Oleh karena itu, agar pasar energi terbarukan mendapatkan kepercayaan dari investor, baik berupa *return* yang sepadan hingga transparansi, maka dibutuhkan prinsip *good governance* yang mengedepankan partisipasi, kepastian hukum, transparansi, tanggung jawab, berorientasi pada kesepakatan, keadilan, efektifitas dan efisiensi, akuntabilitas, dan visi strategik untuk diimplementasikan pada proses transisi energi.

¹ Sitorus dkk (2018) lebih lanjut mengungkapkan bahwa dampak yang dihasilkan dari suntikan modal untuk BUMN, lebih signifikan pada SMI (PT. Sarana Multi Infrastruktur) ketimbang di PLN (PT. Perusahaan Listrik Negara). Hal ini disebabkan SMI memiliki kapasitas untuk memadukan modal yang disediakan oleh pemerintah dengan sumber modal eksternal, dan fleksibilitas untuk mengembangkan instrument keuangan yang dibutuhkan untuk memenuhi proyek energi terbarukan.

Penutup

Dalam upaya mitigasi terhadap krisis iklim, dibutuhkan transisi energi yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi non terbarukan, serta berupaya mengurangi pemanasan yang mengakibatkan krisis iklim. Meskipun demikian, upaya transisi energi tidaklah mudah. Meskipun demikian, salah satu teknologi yang paling terjangkau untuk diterapkan adalah energi PV. Akan tetapi, dalam penerapannya selama ini terhambat dengan adanya hambatan finansial. Untuk menghadapi hambatan finansial tersebut, dibutuhkan pembiayaan public berskala besar, yang bertujuan untuk meningkatkan investasi dari sektor swasta. Selain itu, dibutuhkan harmonisasi kebijakan, yang mendukung ramah lingkungan, dan menginformasikan berbagai keunggulan energi PV di pasar, sehingga dalam mengubah persepsi pasar. Terakhir, prinsip *good governance* sangat diperlukan untuk menjaga dukungan publik, dan kepercayaan investor untuk

investasi.

Referensi

- BloombergNEF. (2019, December 03). Battery pack prices fall as Market ramps up with market average at \$156/kWh in 2019. Retrieved April 28, 2021, from <https://about.bnef.com/blog/battery-pack-prices-fall-as-market-ramps-up-with-market-average-at-156-kwh-in-2019/>
- ESDM. (2019). KEPUTUSAN MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL RI TENTANG BESARAN BIAYA POKOK PENYEDIAAN PEMBANGKITAN PT. PERUSAHAAN LISTRIK NEGARA (PERSERO). Retrieved April 28, 2021, from <https://jdih.esdm.go.id/peraturan/Kepmen-esdm-55-Thn%202019.pdf>
- Harris, J. M., & Roach, B. (2017). *Environmental and Natural Resource Economics: A Contemporary Approach*. Florence: Taylor and Francis.
- IRENA (2020), *Renewable Power Generation Costs in 2019*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi.

- Liebman, Ariel; Reynolds, Aisha; Robertson,, Dani; Nolan, Sharna; Argyriou, Megan; Sargent, Beth (2019): Green Finance in Indonesia: Barriers and Solutions. Monash University. Journal contribution. <https://doi.org/10.26180/5d357dc69acbc>
- Mazzucato, M. (2013). Financing innovation: Creative destruction vs. destructive creation. *Industrial and Corporate Change*, 22(4), 851-867. doi:10.1093/icc/dtt025
- Sachs, Jeffrey D. and Andrew M. Warner. "The Big Rush, Natural Resource Booms And Growth," *Journal of Development Economics*, 1999, v59(1,Jun), 43-76.
- Sitorus, S., Rakhmadi, R., Haesra, A., & Wijaya, M. (2018). *Energizing Renewables in Indonesia: Optimizing Public Finance Levers to Drive Private Investment* (Rep.). Retrieved April 28, 2021, from Climate Policy Initiative website: <https://climatepolicyinitiative.org/wp-content/uploads/2018/11/Energizing-Renewables-in-Indonesia-Optimizing-Public-Finance-Levers.pdf>
- Walton, K. (2019, August 19). Indonesia should put more energy into renewable power. Retrieved April 28, 2021, from [https://www.lowyinstitute.org/the-interpreter/indonesia-s-should-put-more-energy-renewable-power#:~:text=To%20achieve%20the%2023%25%20target,trillion%20\(US%24154%20billion\)](https://www.lowyinstitute.org/the-interpreter/indonesia-s-should-put-more-energy-renewable-power#:~:text=To%20achieve%20the%2023%25%20target,trillion%20(US%24154%20billion)).
- WEF & PwC. (2020). *Nature Risk Rising: Why the Crisis Engulfing Nature Matters for Business and the Economy*. Retrieved April 28, 2021, from http://www3.weforum.org/docs/WEF_New_Nature_Economy_Report_2020.pdf



Artikel 5

Energi Baru Terbarukan Kurangi Efek Rumah Kaca

Muhammad Primutomo

(Politeknik Negeri Media Kreatif Jakarta)

Belakangan ini, Indonesia dilanda oleh perubahan iklim ekstrim. Akibatnya, anomali bencana pun muncul di sejumlah daerah di Indonesia. Misalnya, banjir bandang di NTT pada 4 April 2021. Menurut Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, banjir itu disebabkan Badai Siklon Seroja, yaitu badai yang menyebabkan naiknya gelombang permukaan laut akibat kenaikan suhu muka laut yang mencapai 30 derajat. Ini jadi bukti bahwa efek dari pemanasan global bisa lebih mengerikan dari hari ke hari.

Menurut BMKG, rata-rata suhu global naik akan sekitar 1 derajat Celcius tiap tahun, pada 2020-2024. Bahkan ada peluang naik hingga 20% atau sekitar 1,5 derajat di salah satu periode tahun tersebut. Ini berarti dampak dari efek rumah kaca akan semakin meningkat. Apabila Indonesia masih menggunakan energi fosil sebagai sumber bahan bakar, tentu efek ini akan memburuk, akibat emisi gas karbon.

Data dari Kementerian ESDM menyebut, target rasio elektrifikasi tahun 2020 mencapai 99,9 persen untuk seluruh wilayah Indonesia. Jika sumber energi yang digunakannya belum memakai energi alternatif, banyak yang khawatir, emisi gas karbonnya akan makin besar.

Indonesia, negeri kepulauan, memiliki banyak sekali sumber daya alam, yang berarti melimpahnya sumber energi alternatif. Diantaranya energi panas bumi, air dan mikrohidro, bioenergi, surya, angin dan banyak energi terbarukan lainnya.

Potensi energi panas bumi atau yang biasa disebut geothermal di Indonesia cukup besar. Saat ini diperkirakan potensinya mencapai 11.073 MW dan penyebarannya hampir merata. Sumber geothermal, ditemukan di lebih dari 300 titik dari Sabang sampai Merauke. Dan ini diperkirakan 40 persen cadangan energi geothermal dunia. Indonesia, termasuk memiliki sumber energi geothermal terbesar di dunia.

Secara sederhana, cara kerja dari energi panas bumi adalah pembuatan sumur hingga kedalamannya mencapai titik panas bumi. Panas yang dihasilkan kemudian dialirkan untuk menggerakkan turbin. Sudah terbukti, energi panas bumi dapat mengurangi efek rumah kaca karena tidak menghasilkan emisi karbon seperti bahan bakar fosil.

Sumber energi alternatif lainnya yaitu mikrohidro atau PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro), menggunakan aliran air sebagai sumber energi untuk menggerakkan turbin atau kincir air. Memang, energi yang dihasilkan masih skala kecil. Rata-rata di bawah 500 Watt.

Walaupun begitu, PLTMH dapat menjadi solusi penyediaan energi di wilayah pedesaan, yang biasanya dekat dengan sumber air. Listrik yang dihasilkan bersih, tanpa pencemaran.

Ke depan, energi terbarukan di Indonesia semoga lebih diperhatikan. Pemerintah didorong untuk menggali potensi energi terbarukan di Indonesia melalui penelitian, riset atau studi dan kerjasama dengan pihak swasta.

Daftar Pustaka

1. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2019/09/04/999-wilayah-indonesia-ditargetkan-teraliri-listrik-pada-2020><https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2019/09/04/999-wilayah-indonesia-ditargetkan-teraliri-listrik-pada-2020>
2. <https://teknو.empo.co/read/244624/deklarasi-bali-energi-panas-bumi-mengurangi-pemanasan-global>
3. <http://repository.unpad.ac.id/frontdoor/index/index/docId/22257>
4. http://www.iesr.or.id/wp-content/uploads/2018/11/COMS-PUB-0001_Briefing-Paper-1_Energi-Terbarukan.pdf
5. <https://www.indonesia-investments.com/id/bisnis/komoditas/>

- energi-panas-bumi/item268#:~:text=Energi%20panas%20 bumi%20(atau%20energi,berasal%20dari%20panas%20 dalam%20bumi.&text=Biaya%20eksplorasi%20dan%20juga%20 biaya,yang%20menggunakan%20bahan%20bakar%20fosil.
6. <https://www.99.co/blog/indonesia/cara-menghemat-listrik-rumah/>
 7. <https://media.neliti.com/media/publications/127987-ID-analisis-pembangkit-listrik-tenaga-mikro.pdf>



Artikel 6

**Pemanfaatan Molases dan
Leptochloa Fusca Pada Teknologi
CW-MFC Terintegrasi Elektroda
Carbon Sebagai Pereduksi dan
Aplikasi Biosensor Limbah Air
Wudhu di Masjid Ulil Albab
Universitas Islam Indonesia**

Ari Adrianto

(Universitas Islam Indonesia – UII, Yogyakarta)

Indonesia merupakan salah satu negara dengan mayoritas penduduk beragama Islam. Salah satu tata cara mensucikan diri yang sering dilakukan umat islam adalah berwudhu. Wudhu merupakan kegiatan yang dilakukan untuk mensucikan diri dengan media air. Namun faktanya, konsumsi air untuk keperluan wudhu menimbulkan kondisi air limbah setelah pencucian tubuh dibuang secara langsung tanpa ada perawatan menuju drainase. Hal ini menyebabkan tingkat pencemaran air drainase semakin meningkat dan dapat menimbulkan beberapa efek berbahaya bagi lingkungan dan kesehatan. Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 82 Tahun 2001 tentang Pengelolaan Kualitas Air dan Pengendalian Pencemaran Air menyatakan bahwa kualitas air bekas wudhu umumnya memiliki kandungan suhu sekitar 27,8°C, COD 29,03 mg/L, amonia bebas (NH₃-N) 0,19 mg/L, BOD₅ 38,48 mg/L, Ph 6,37, oksigen terlarut (DO) 0,85 mg/L. Dan MPN Coliform <16x10⁴. Selain itu, saat ini kebutuhan air bersih akan semakin besar biaya yang dikeluarkan untuk memenuhinya. Sebagaimana permasalahan air yang terdapat di Universitas Islam Indonesia (UII) memiliki kebutuhan air rata-rata perbulan sebesar 9000 m³ dengan biaya 35 juta rupiah. Sebagai upaya untuk menekan tingkat pencemaran air, beberapa peneliti telah mengembangkan berbagai teknologi pengolahan limbah berkualitas tinggi. Salah satu teknologi yang sedang dikembangkan adalah sistem *Constructed Wetlands-Microbial Fuel Cells*.

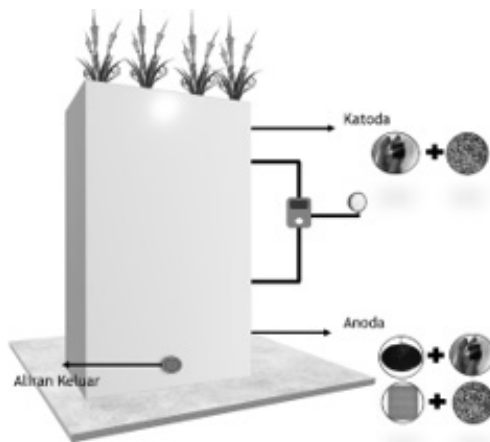


Gambar 1. Air Wudhu

Di beberapa negara saat ini, peneliti tengah mengembangkan teknologi *Constructed Wetland-Microbial Fuel Cell* (CW-MFC). *Constructed Wetland* (CW) merupakan teknologi untuk mengolah berbagai limbah cair. *Microbial Fuel Cell* (MFC) adalah sebuah perangkat yang menghasilkan listrik dari proses degradasi mikroba substrat organik dan anorganik. Definisi Tian, 2011 menyatakan bahwa *Constructed Wetlands* menggunakan prinsip desain lahan basah yang efektif dan ramah lingkungan dengan memanfaatkan tanaman, mikroba, sinar matahari, dan gravitasi. Mekanisme kerja *Constructed Wetlands* memanfaatkan akar tanaman, sedimentasi, penyerapan biologis, presipitasi, dekomposisi, transformasi oleh bakteri anaerob dan anaerobik untuk menyaring kadar senyawa atau polutan berbahaya dalam limbah. Berdasarkan literatur yang penulis dapatkan, sistem *SubSurface Flow* aliran horizontal berpotensi diterapkan untuk mengatasi penyaringan limbah *greywater*. Dimana, sistem ini tidak menghasilkan bau, tidak terjadi perkembangbiakan nyamuk, dan biaya operasional murah.

Model perencanaan CWs berbasis *Subsurface Flow* aliran horizontal berbentuk trapesium. Pada lapisan sistem, proses beroperasi secara paralel dan bergantian dengan memanfaatkan lapisan kerikil, lapisan

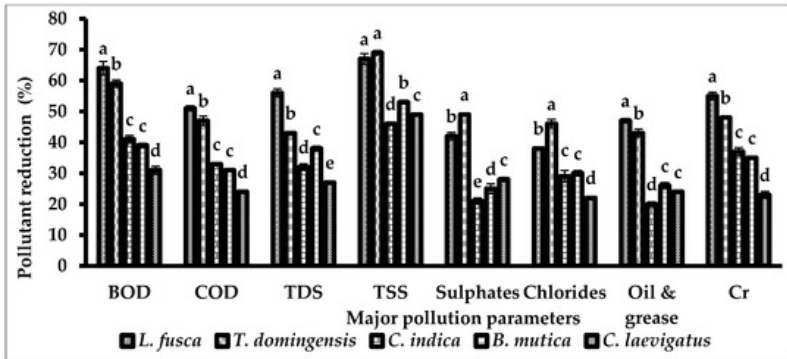
substrat organik, dan akar tanaman. Pengolahan limbah *greywater* dilakukan secara primer melalui saluran masuk dan keluar yang telah terhubung oleh media filter berpori (kerikil). Diperlukan media tanaman dan kerikil dalam pembuatan konfigurasi agar memenuhi standar kualifikasi yang baik. Kuffour *et al.* (2009) menyatakan bahwa kerikil jenis granulometri yang lebih kecil (0,1-0,5mm) menghasilkan *effluent* dua kali lebih sedikit terkonsentrasi jika dibandingkan dengan granulometri yang lebih besar (1-1,5mm).



Gambar 2. Design 3D Rancangan sistem CW-MFC

Selain lapisan kerikil, kelompok tumbuhan perlu diperhatikan pada rancangan CW. Berdasarkan literatur yang didapatkan, kelompok tumbuhan pada sistem harus memiliki beberapa karakteristik diantaranya tumbuhan bersifat tenggelam (*submerged plant*) atau tumbuhan yang bersifat ada dipermukaan (*emergent*), sehingga tanaman yang memiliki karakteristik ini dirasa memiliki kinerja baik dalam proses fitoremediasi. *Submerged plant* berperan sebagai tempat menyimpan polutan sementara melalui proses transformasi dan pemisahan yang terjadi dalam substrat. Tumbuhan *emergent* sering ditanam pada media kerikil untuk merangsang penyerapan zat hara dan menciptakan kondisi yang sesuai untuk melakukan proses oksidasi dari substrat organik sehingga proses pengolahan limbah optimum.

Salah satu jenis tanaman yang berpotensi untuk digunakan adalah jenis *Leptochloa fusca*. Ashraf et al., 2020 melakukan penyelidikan terhadap CW bervegetasi *L.Fusca* menunjukkan adanya efisiensi tinggi dalam menghilangkan polutan pada limbah penyamakan kulit.



Gambar 3. Pengurangan polutan dalam limbah penyamakan kulit oleh makrofit yang berbeda pada CW. (Ashraf et.al., 2020).

Berdasarkan hasil penelitian Ashraf et al., 2020 menunjukkan adanya kinerja tertinggi pada makrofit jenis *L.Fusca* dalam menghilangkan polutan limbah penyamakan kulit. *Leptochloa fusca* memiliki presentase penghilangan rata-rata BOD, COD, TDS, TSS, SO_4^{2-} , Cl, Cr, minyak dan lemak masing-masing sebesar 64%, 51%, 56%, 67%, 42%, 38%, 47% dan 55%. Selain itu, *Leptochloa fusca* memiliki efektifitas positif dalam menurunkan kadar total nitrogen dalam air limbah.

Pada sistem MFC, sistem akar akan berperan untuk melepaskan eksudat melalui proses *rhizodeposisi* yang akan menghasilkan sumber karbon untuk menghilangkan nitrat dan penyaring polutan yang baik (Doherty et al 2015a, 2015b; Aguirre Sierra 2017). Selain itu, tanaman lahan basah berperan penting dalam menyediakan permukaan untuk degradasi oleh bakteri. Meskipun kontribusi tanaman lahan basah terhadap efisiensi pengolahan dan pembangkit listrik, makrofit, terutama tanaman yang muncul, telah diidentifikasi sebagai penyebab hilangnya air yang signifikan dalam CW-MFC melalui evapotranspirasi. Efisiensi pengolahan dapat dipengaruhi karena volume air limbah yang mengalir

melalui sistem menurun karena kehilangan air terutama ketika laju evapotranspirasi melebihi 2,5 mm / d (Białowiec dkk. 2014; Oon dkk. 2017). Selain itu, tingkat oksigen terlarut (DO) dalam reaktor berkurang karena konsumsi DO melebihi produksi di malam hari (tidak adanya cahaya). Fotosintesis dan respirasi pabrik mengubah dinamika oksigen reaktor yang pada akhirnya akan menyebabkan fluktuasi tegangan (Doherty et al. 2015a, 2015b). Penelitian Oon *et al* (2015) menyatakan sistem akar pada kompartemen elektroda katoda dapat meningkatkan konsentrasi oksigen dan akibatnya meningkatkan reaksi sel.

Sedangkan, pada sistem *Microbial Fuel Cells*. Kinerja sistem *Microbial Fuel Cells* dapat ditingkatkan dengan menggunakan variasi bahan pada elektroda. Penelitian Govind, 2015 membuktikan bahwa kinerja sistem *Microbial Fuel Cells* dapat ditingkatkan menggunakan bahan elektroda *carbon*. Elektroda karbon memiliki keunggulan yakni kelenturan dalam ukuran, bentuk, dan biaya komersialisasi yang lebih murah. Sedangkan, hasil penelitian menunjukkan bahwa elektroda karbon memiliki efisiensi tertinggi pada bagian anoda dan katoda. Pada analisis elektroda anoda karbon, diperoleh bahwa penelitian Logan et.al, 2007 menunjukkan bahwa efisiensi elektroda material jenis carbon brush memiliki luaran kekuatan listrik sebesar 2400 mW/m². Sedangkan pada penelitian lainnya menunjukkan bahwa efisiensi bahan elektroda graphite, active carbon cloth, dan carbon mesh memiliki efisiensi masing-masing sebesar 1410 mW/m², 0,51 mW/m², dan 893 mW/m².

Tabel 1. Elektroda anoda karbon, tipe MFC, sumber bakteri dan keluaran daya

Electrode material	Size	Bacterial source	MFC Type	Power output	References
Carbon brush	4cm by 3cm dia	Pre accumulated bacteria from active MFC	Cube air cathode	2400mW/m ²	Logan et al.(2007)
Graphite plate	155cm ²	Shewanellaoneidenis(MR-1)	Two chamber air cathode	1410mW/m ²	Dewan et al.(2008)
Activated carbon cloth	1.5cm ²	D.desulfuricans strain	Single chamber air cathode	0.51mW/m ²	Zhao et al.(2008)
Carbon Mesh	7cm ²	Pre accumulated bacteria from active MFC	Single chamber cube air cathode	893mW/m ²	Wang et al.(2009)

Sedangkan, pemilihan elektroda berbahan dasar katoda karbon memiliki potensi pengurangan biaya karena fleksibilitas yang memanfaatkan material ekonomis. Selain itu, efisiensi yang dihasilkan cukup besar jika dibandingkan dengan material lainnya. Pada penelitian Chang et al., 2006 menunjukkan bahwa material elektroda berjenis *carbon clothnafion binder* dengan MFC tipe *Single Chamber* memiliki efisiensi kekuatan daya tertinggi sebesar 480 mW/m².

Tabel 2. Elektroda katoda karbon, tipe MFC, katalis, dan keluaran daya

Electrode material	Size	Catalyst	MFC Type	Power output	References
Carbon clothnafion binder	7cm ²	Pt	single chamber cube Air-cathode	480mW/m ²	Cheng et al.(2006)
Carbon fiber felt	36cm ²	-	Cylindrical two chamber Aqueous air-cathode without catalyst	315mW/m ²	Deng et al.(2010)
Carbon cloth PTFE binder	7cm ²	Pt	single chamber cube Air-cathode	360mW/m ²	Cheng et al.(2006)
Graphite coating on ultrafiltration(UF) membrane	54cm ²	CoTMPP	Tubular Single chamber	18W/m ²	Zuo et al.(2007)

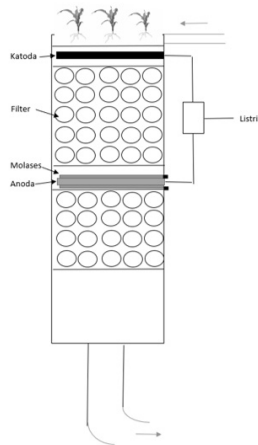
Meskipun demikian, MFC berbahan elektroda *carbon* dapat ditingkatkan efisiensinya dengan mengkombinasikan limbah organik dan bakteri untuk meningkatkan kinerja MFC. Salah satu limbah organik yang berpotensi dimanfaatkan adalah molase. Mikroorganisme seperti bakteri elektrokimia dapat hidup dan berkembang pada permukaan lembaran karbon (Cheng et al.,2014) ,limbah air molases memiliki kandungan sekitar 10-20% zat padatan dan sekitar 70% mengandung gula, protein dan vitamin (Wang et al.,2014). Molases sangat berpeluang untuk menjadi sumber karbon untuk hidupnya bakteri elektrokimia dan menjadi penyalur elektron ke dalam anoda yang nantinya akan menghasilkan energi listrik (Hassan et al.,2019). Mikroba pada molasses akan menghasilkan energi berupa proton dan lectron dari molasses yang kemudian dikonversikan menjadi energi listrik. Mikroba dalam sistem MFC harus berada pada kondisi pH ytang sesuai dan memiliki nutrisi

yang cukup agar dapat menghasilkan energi (Logan dan Regan, 2006). Studi literatur membuktikan, bahwa kandungan gula pada sistem MFC sangat penting sebagai penghasil karbon. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan air limbah tahu dengan kandungan gula dan laktosa sebesar 0,8% mampu menghasilkan beda potensial sebesar 25,5 mV/100 mL dan 33,3 mV/100 mL (Inayati, 2015 dan Ismawati, 2015).

Selain itu, peran bakteri pada MFC juga dapat meningkatkan kinerja teknologi. Dalam mekanismenya, air limbah wudhu memiliki kandungan beberapa bakteri pengotor yang dihasilkan dari pemakaian oleh manusia. Salah satu bakteri yang dihasilkan dari sisa air wudhu adalah *eschericia coli*. Studi penelitian Morozan et.al, 2007 melakukan pengujian pengaruh MFC berbasis elektroda karbon terhadap bakteri *eschericia coli* sebagai bakteri dan biru metilen sebagai mediator electron. Dari hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa reaksi yang terjadi mampu memberikan output daya listrik yang lebih tinggi. Selain itu, kombinasi biokompabilitas untuk bakteri akan memberikan output daya yang jauh lebih tinggi.

Sedangkan, mekanisme arah aliran air limbah air akan masuk ke dalam sistem dari atas dan keluar dari bawah. Pada tahap awal air bekas wudhu melewati akar tumbuhan, disini terjadi proses penyaringan residu-residu besar oleh akar dan mikroorganisme. Setelah air melewati akar-akar tumbuhan, air akan melewati katoda yang berada dibawah, katoda akan mereduksi oksigen maka dari itu katoda perlu ditempatkan pada permukaan sistem agar mendapatkan *supply* oksigen. Kemudian air akan melewati filter 1 sebelum melewati anoda. Pada anoda terdapat molase yang akan mengelilingi anoda, molase ini bertujuan sebagai substrat dari mikroba-mikroba yang dibawa oleh air sekaligus menjadi bahan baku reaksi oksidasi, mikroba-mikroba yang dibawa oleh air tadi akan membantu proses oksidasi pada anoda. Dari sini akan dihasilkan aliran elektron dari anoda ke katoda dengan kata lain akan menghasilkan energi listrik. Air yang telah melewati anoda akan disaring kembali, sebelum air keluar dan didistribusikan kembali untuk penggunaan air wudhu. Air yang telah melewati anoda akan disaring kembali pada filter 2 dan masuk kedalam *heater*. Sedangkan, hasil analisis ekonomi

yang didapatkan menunjukkan penggunaan teknologi CW-MFC dapat mengemat pemakaian air dua kali lebih baik. Oleh karena itu, untuk memenuhi tingkat kualitas air yang baik, diharapkan inovasi ini dapat mengurangi pencemaran air sekaligus menekan biaya operasional pada penggunaan instalasi air wudhu khususnya di area Masjid Ulil Albab Universitas Islam Indonesia .



Gambar 4. Design Alir dan Mekanisme Kerja sistem CW-MFC.

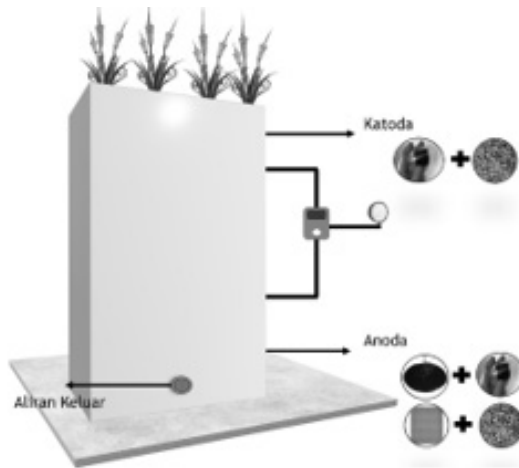
DAFTAR PUSTAKA

- Ashraf, S., Naveed, M., Afzal, M., Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N. A., Zahir, Z. A., ... & Abdella, K. A. (2020). Unveiling the potential of novel macrophytes for the treatment of tannery effluent in vertical flow pilot constructed wetlands. *Water*, 12(2), 549.
- Cheng, S., Liu, H., & Logan, B. E. (2006a). Increased performance of single-chamber microbial fuel cells using an improved cathode structure. *Electrochemistry communications*, 8(3), 489-494.
- Cheng, S., Liu, H., & Logan, B. E. (2006b). Increased power generation in a continuous flow MFC with advective flow through the porous anode and reduced electrode spacing. *Environmental science & technology*, 40(7), 2426-2432.

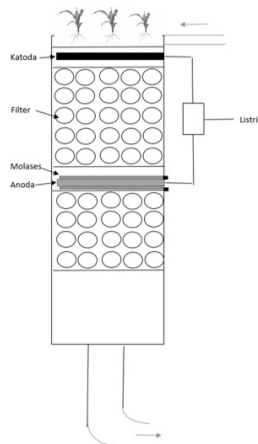
- Chang, S., Wu, C., Chang, D. and Lin, C., 2014. Effects of mediator producer and dissolved oxygen on electricity generation in a baffled stacking microbial fuel cell treating high strength molasses wastewater. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(22), pp.11722-11730.
- Doherty L., Zhao Y., Zhao X., Hu Y., Hao X., Xu L. and Liu R. (2015a). A review of a recently emerged technology: Constructed wetland - Microbial fuel cells. *Water Res* 85, 38-45.
- Doherty L., Zhao X., Zhao Y. and Wang W. (2015b). The effects of electrode spacing and flow direction on the performance of microbial fuel cell-constructed wetland. *Ecological Engineering* 79, 8-14.
- Govind, M. A. (2015). Review on carbon electrodes in microbial fuel cell. *Int. Res. J. of Eng. and Technol*, 2(8), 424-427.
- Hassan, S., el Nasser A. Zohri, A. and Kassim, R., 2019. Electricity generation from sugarcane molasses using microbial fuel cell technologies. *Energy*, 178, pp.538-543.
- Inayati, N. S., Aminin, A. L., & Suyati, L. (2015). The Bioelectricity of Tofu Whey in Microbial Fuel Cell System with *Lactobacillus bulgaricus*. *Jurnal Sains dan Matematika*, 23(1), 32-38.
- Ismawati, N., Aminin, A. L., & Suyati, L. (2015). Whey Tahu sebagai Penghasil Bioelektrisitas pada Sistem Microbial Fuel Cell dengan *Lactobacillus Plantarum*. *Jurnal Sains Dan Matematika*, 23(2), 43-49.
- Logan, B. E., & Regan, J. M. (2006). Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *TRENDS in Microbiology*, 14(12), 512-518.
- Moroza, A., Stamatina, I., Stamatina, L., Dumitru, A., & Scott, K. (2007). Carbon electrodes for microbial fuel cells. *Journal of Optoelectronics and Advanced Materials*, 9(1), 221.
- Villasenor, J., Capilla, P., Rodrigo, M. A., Canizares, P., & Fernández, F. J. (2013). Operation of a horizontal subsurface flow constructed wetland-microbial fuel cell treating wastewater under different organic loading rates. *Water research*, 47(17), 6731-6738.

Wang, Y., Guo, W., Xing, D., Chang, J. and Ren, N., 2014. Hydrogen production using biocathodes in single-chamber microbial electrolysis cells fed by molasses wastewater at low temperature. *International Journal of Hydrogen Energy*, 39(33), pp.19369-19375.

Lampiran 1. Design Teknologi Sistem CW-MFC



Gambar 1. Design 3D Rancangan sistem CW-MFC



Gambar 2. Design Alir dan Mekanisme Kerja sistem CW-MFC

Tema IV

Inovasi Efisiensi Energi dari Energi Baru Terbarukan





Artikel 1

Hybrid Energy Harvesting Solar Cell with Triboelectric Nanogenerator Via Mutual Electrode (Upaya Peningkatan Efisiensi dan Kemampuan Sel Surya Untuk Beroperasi Dalam Kondisi Hujan)

Agus Abdul Rahmat Fadila

(Institut Teknologi Kalimantan – ITK)

Karya ini menjadi Pemenang 7, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

PENDAHULUAN

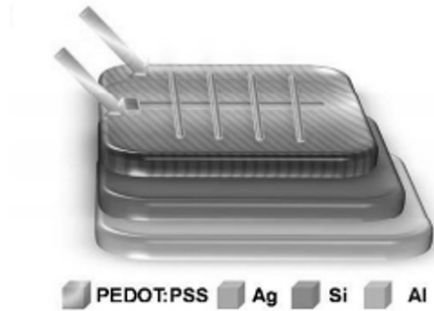
Solar cell atau sel surya, merupakan sebuah perangkat yang sangat penting dalam pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) bila kita berbicara mengenai energi surya. Perangkat ini memungkinkan cahaya matahari untuk dikonversi menjadi sebuah energi listrik yang kemudian dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan elektrifikasi. Indonesia sebagai negara yang dilalui oleh garis khatulistiwa menyimpan potensi yang sangat besar akan sumber energi suryanya. Menurut data resmi yang pernah dirilis oleh Kementerian ESDM pada tahun 2017, Indonesia setidaknya memiliki potensi energi surya sebesar 207,8 GW. Nilai tersebut tentunya akan maksimal apabila kondisi penyinaran matahari yang diinginkan tercapai, tidak terganggu oleh kondisi mendung atau hujan. Karena seperti yang diketahui bersama, sel surya merupakan sebuah perangkat EBT yang kinerjanya sangat bergantung pada kondisi cuaca dan intensitas penyinaran matahari. Walaupun telah berada di daerah khatulistiwa sekalipun sudah pasti ini menjadi tantangan bagi pemanfaatan sel surya kedepannya. Bila tidak segera ditemukan solusinya, kondisi ini akan menghambat kemajuan pemanfaatan energi surya sebagai EBT di Indonesia.

Setelah melihat kondisi serta permasalahan mengenai pemanfaatan sel surya yang kinerjanya terganggu pada kondisi hujan, dari situ timbul pertanyaan, “Kira-kira ide atau inovasi apakah yang dapat memungkinkan sel surya untuk beroperasi di tengah kondisi hujan? Bila ada, apakah mungkin hal itu bisa dilakukan?”. Jawabannya adalah, “tentu bisa”. Bahkan dengan inovasi ini kita bisa mengubah faktor penghambat yang ada menjadi sebuah potensi yang sangat strategis. Penulis menamai inovasi ini dengan “*Hybrid Energy Harvesting Solar Cell with Triboelectric Nanogenerator via Mutual Electrode*”. Sebuah inovasi pemanenan energi sel surya (*energy harvesting*) yang dibuat dengan mengintegrasikan polimer poli-dimetil-siloksan (PDMS) transparan sebagai triboelektrik nanogenerator (*triboelectric nanogenerator*) dan dua polimer konduktif poli-3,4-etilen-dioksi-tioefen (PEDOT) dan poli-stiren-sulfonat (PSS) sebagai elektroda timbal balik PEDOT:PSS (*mutual electrode*) yang memungkinkan sel surya dapat beroperasi pada kondisi cerah dan hujan. Konsep ini didemonstrasikan pertama kali oleh Liu dkk. (2018), dan pemanfaatannya sampai saat ini belum pernah ada di Indonesia. Sederhananya sistem integrasi ini merubah energi potensial yang dihasilkan dari tetes air hujan menjadi sebuah energi listrik pada sel surya, sehingga berpeluang dapat meningkatkan efisiensi dan kemampuan sel surya itu sendiri sembari menutupi kekurangannya pada kondisi hujan. Berkaca dari potensi Indonesia yang dilalui oleh garis khatulistiwa dan guna memanfaatkan kekurangan menjadi sebuah peluang, diharapkan dengan adanya inovasi ini dapat menjadi sebuah titik terang atas kemajuan EBT di Indonesia khususnya mengenai pemanfaatan energi surya.

ISI

Untuk mengimplementasikan inovasi yang telah direncanakan, *Hybrid Energy Harvesting Solar Cell with Triboelectric Nanogenerator via Mutual Electrode* diintegrasikan menggunakan sel surya berbasis silikon sebagai alat utamanya. Sel surya jenis ini dapat dikategorikan sebagai sel surya generasi pertama (Siddiq, 2015). Sel surya berbasis silikon merupakan perangkat EBT komersial yang telah luas penggunaannya.

Di Indonesia, jenis sel surya ini banyak diminati karena memiliki efisiensi yang tinggi dan stabil. Selain itu juga dari segi penggunaannya sel surya berbasis silikon memiliki kelebihan yaitu umur pemakaiannya (*lifetime*) yang panjang.



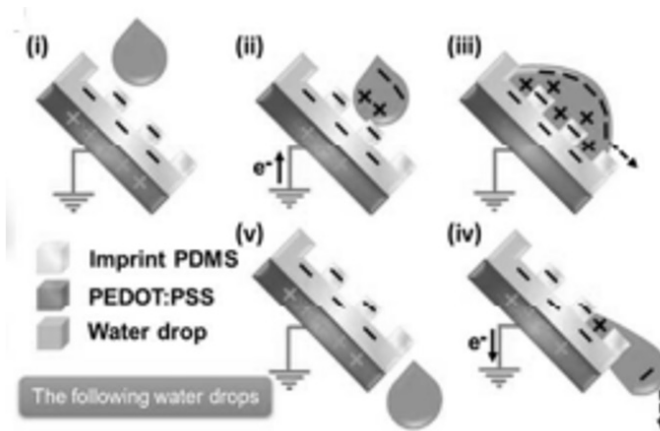
Gambar 1. Struktur sel surya dengan elektroda timbal balik PEDOT:PSS

Pertama-tama sebelum menjadi sebuah satu kesatuan sistem *hybrid*, sel surya berbasis silikon difabrikasi dengan dua polimer konduktif PEDOT:PSS yang terdiri atas beberapa lapis semikonduktor. PEDOT:PSS yang difabrikasi ke dalam sel berbasis silikon menjadi sebuah elektroda timbal balik berfungsi mengubah energi dari sinar matahari yang masuk ke dalam sel surya menjadi sebuah energi listrik. Dalam skala *pilot-project*, beberapa lapisan semikonduktor pembentuk sel surya yang difabrikasi dengan elektroda timbal balik PEDOT:PSS ditunjukkan pada Gambar 1. Untuk meyakinkan bahwa rancangan struktur sel pada Gambar 1 ini layak untuk diterapkan (*feasible*) atau tidak, percobaan modifikasi silikon dengan elektroda PEDOT:PSS (Si/PEDOT:PSS) pernah dilakukan sebelumnya oleh Yoon & Dahl (2017). Dari hasil percobaan yang telah dilakukan, mereka berhasil menghasilkan *power conversion efficiency* (PCE) lebih dari 17%. Sederhananya PCE adalah rasio antara cahaya yang masuk/datang dengan daya luaran listrik yang dihasilkan oleh sel surya.



Gambar 2. *Hybrid Energy Harvesting Solar Cell with Triboelectric Nanogenerator via Mutual Electrode*

Untuk memanen energi (*energy harvesting*) dari tetes air hujan, selanjutnya sistem triboelektrik nanogenerator diintegrasikan pada sel surya. Dari sini kemudian *Hybrid Energy Harvesting Solar Cell with Triboelectric Nanogenerator via Mutual Electrode* terbentuk menjadi satu kesatuan sistem lengkap yang terintegrasi pada sel surya. Adapun skema ilustrasi ketika sistem diberi gaya potensial oleh tetes air hujan ditunjukkan oleh Gambar 2. Lapisan transparan yang ditempatkan di atas sel surya adalah PDMS yang berperan sebagai triboelektrik nanogenerator (PEDOT:PSS/PDMS). PDMS memiliki sifat hidrofobik sehingga dapat mencegah penetrasi air hujan ke dalam sel surya. Kelebihan dari pemasangan sistem ini yaitu dapat mengubah energi potensial dari tetes air hujan menjadi sebuah energi listrik sambil memungkinkan sinar matahari tetap masuk ke sel surya.



Gambar 3. Prinsip kerja *Hybrid Energy Harvesting Solar Cell with Triboelectric Nanogenerator via Mutual Electrode* ketika diberi tetes air hujan

Gambar 3 merepresentasikan proses pembentukan muatan listrik yang terjadi selama sistem memanen energi dari tetes air hujan. Ketika tetes air hujan berkontak dengan permukaan PDMS, PDMS akan bermuatan negatif karena efek triboelektrik. Sementara itu, tetesan air hujan akan bermuatan positif untuk menjaga area kontak tetap netral. Saat tetes air hujan perlahan meninggalkan area kontak, elektron akan bergerak dari PEDOT:PSS ke ground karena perbedaan potensial listrik antara PEDOT:PSS dan ground sampai mencapai kondisi kesetimbangan muatan pada area PEDOT:PSS dan PDMS. Proses ini akan terus berlangsung selama tetes air hujan berkontak dengan sel surya.

PENUTUP

Sebagai penutup, beberapa kesimpulan yang dapat diperoleh diantaranya adalah:

1. Inovasi "*Hybrid Energy Harvesting Solar Cell with Triboelectric Nanogenerator via Mutual Electrode*" dapat menjadi solusi atas kekurangan sel surya pada umumnya atas kondisi hujan. Sehingga memungkinkan sel surya untuk beroperasi pada

dua kondisi cuaca, yaitu cerah dan hujan. Selain itu juga inovasi “*Hybrid Energy Harvesting Solar Cell with Triboelectric Nanogenerator via Mutual Electrode*” berpeluang dapat meningkatkan efisiensi dan kemampuan sel surya khususnya pada kondisi hujan.

2. Prinsip kerja yang digunakan oleh “*Hybrid Energy Harvesting Solar Cell with Triboelectric Nanogenerator via Mutual Electrode*” secara garis besar adalah merubah energi potensial dari tetes hujan menjadi energi listrik dengan memanfaatkan transfer muatan yang terjadi karena efek triboelektrik pada lapisan polimer pada sel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- Liu, Y. et al., 2018. Integrating Silicon Solar Cell with Triboelectric Nanogenerator via a Mutual Electrode for Harvesting Energy from Sunlight and Raindrop. *ACS Nano*, pp. 1-26.
- Siddiq, N. A., 2015. *Perbandingan Setiap Generasi Sel Surya*. [Online] Available at: <https://warstek.com/generasiselsurya/> [Accessed Maret 2021].
- Yoon, S.-S. & Khang, D.-Y., 2017. High Efficiency (>17%) Si-Organic Hybrid Solar Cell by Simultaneous Structural, Electrical, and Interfacial Engineering via Low-Temperature Processes. *Advanced Energy Materials*, pp. 1702655-1702655.

Artikel 2

K-Rekel: Pemanfaatan Nikel Sebagai Bahan Dasar Inovasi Sistem Hybrid Power Storage Berbasis Tenaga Surya yang Lebih Efisien dan Ramah Lingkungan dengan Konsep Renewable Energy

Aldy Ramadhan Syahrudin

(Institut Teknologi Sepuluh November – ITS, Surabaya)

Pendahuluan

Energi merupakan komoditas strategis yang mempengaruhi keberlangsungan pembangunan serta kebutuhan dasar manusia yang terus meningkat sejalan dengan tingkat penggunaan dalam kehidupannya. Secara umum dalam pemakaian atau konsumsi energi di Indonesia utamanya masih mengandalkan dan bergantung pada sumber daya energi minyak bumi atau energi fosil. Komposisi konsumsi energi nasional saat ini adalah BBM : 52,50%; Gas: 19,04%; Batubara: 21,52%; Air:3,73%; Panas Bumi: 3,01%; dan Energi Baru: 0,2%. Kondisi *real* ini menunjukkan bahwa sumber daya energi minyak bumi akan habis dan memiliki keterbatasan baik persediaan dalam bentuk cadangannya. Disisi lain permintaan sumber daya energi tersebut semakin meningkat menyebabkan harga minyak semakin tinggi sehingga mempunyai potensi pasar ekspor yang tinggi. Seharusnya minyak bumi dapat diandalkan sebagai sumber pemasukan bagi pendapatan negara dan hanya sebagai energi untuk keperluan tertentu yang secara teknologi harus menggunakan bahan bakar minyak bumi. Sementara itu, suplai energi listrik juga bersumber dari minyak bumi, gas bumi (sumber energi fosil) dan batu bara yang memiliki beberapa keterbatasan, antara lain tidak dapat terbarukan atau *non renewable*. Tidak hanya itu saja penggunaan energi fosil juga berdampak kurang baik pada lingkungan sekitar diantaranya menyebabkan pemanasan global, menurunnya kualitas udara, pencemaran minyak dan hujan asam. Pada sisi lain, energi listrik dari sumber terbarukan atau *renewable* seperti tenaga surya, panas bumi, angin, biomassa, arus laut, hingga ombak belum

dapat dimanfaatkan secara maksimal. Indonesia merupakan negeri yang memiliki beraneka sumber daya alam. Sumber daya alam yang dapat diperbarui maupun juga tidak dapat diperbarui. Namun dapat meninjau pada akhir-akhir ini terdapat isu ataupun berita “Indonesia menjadi produsen nikel terbesar di dunia pada tahun 2019”. Indonesia menjadi produsen bijih nikel terbesar di dunia sepanjang tahun lalu. Merujuk pada data yang disampaikan oleh Badan Geologi Kementerian ESDM, pada tahun 2019 lalu, total produksi nikel dunia mencapai 2.668.000 ton Ni. Dari jumlah itu, sebanyak 800.000 ton Ni berasal dari Indonesia. Kepala Badan Geologi Eko Budi Lelono menyampaikan, produksi bijih nikel Indonesia sebanyak 800.000 ton Ni pada tahun lalu menjadi yang terbesar di dunia. Disusul oleh Filipina dengan 420.000 ton Ni dan Rusia sebanyak 270.000 ton Ni. New Caledonia sebesar 220.000 ton Ni. Dari hal ini Indonesia menempati penghasil nikel terbanyak di dunia oleh karena itu alangkah baiknya potensi sumber daya alam tersebut diolah dan dijadikan suatu inovasi yang bermanfaat bagi negara maju seperti negara Indonesia.



Gambar Berita Indonesia menjadi produsen nikel terbesar di dunia

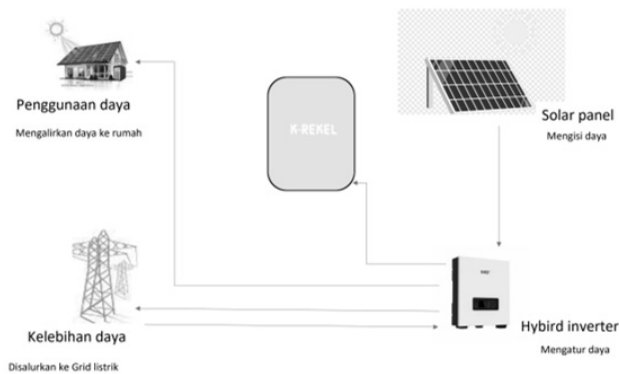
Dari data latar belakang permasalahan yang didapat, penulis menggagas sebuah inovasi pengembangan efisiensi *renewable energy* yang berbasis pada salah satu potensi terbesar di Indonesia, yakni K-REKEL berupa pemanfaatan nikel sebagai bahan dasar *hybrid* guna pengembangan dari energi *storage power* yang berkolaborasi dengan tenaga surya dengan tujuan utama *renewable energy* yang diharap bisa efisien dan ramah lingkungan.

Isi

K-REKEL adalah sebuah wadah atau *storage yang* mampu menampung energi listrik yang dibantu dengan sistem *hybrid* yakni mengisi ulang daya dan tegangan yang lebih mengutamakan pemasok dari energi surya atau matahari. Yakni dapat berguna menjadi *renewable energy* atau energi terbarukan untuk Indonesia. Inovasi ini merupakan sebuah pengembangan seperti halnya baterai yang pada umumnya berbahan kumparan kobalt serta memiliki fitur *rechargeable* melalui sumber energi listrik dan juga hanya dapat menampung beberapa daya energi listrik didalamnya. Namun inovasi ini lebih menarik karena *storage* atau penyimpanannya dapat menampung kapasitas daya dan tegangan yang sangat banyak karena adanya fitur *rechargeable* melalui sumber energi listrik namun lebih mengutamakan energi dari sel surya sehingga dapat digunakan manusia di seluruh kegiatan sehari-harinya. Alat tersebut berbahan dasar nikel. Mengapa berbahan dasar nikel? Dikarenakan nikel merupakan metal yang memiliki penyimpanan kepadatan energi yang sangat tinggi dan dinilai lebih hemat dari pada mineral lainnya seperti kobalt. Selain itu lebih serunya Indonesia merupakan produsen dan memiliki cadangan nikel terbesar di dunia. Ditambahnya lagi Indonesia merupakan daerah yang beriklim tropis, penyinaran matahari sepanjang tahun dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS). Energi yang dihasilkan PLTS tersebut pada umumnya digunakan untuk keperluan penerangan dan komunikasi. Beberapa diantaranya merupakan sebuah sistem *hybrid yang* menggabungkan pembangkit listrik konvensional yang dilengkapi dengan inovasi saat ini yaitu K-REKEL. Dalam hal ini Indonesia berpotensi penghasil nikel terbanyak dan terletak pada daerah yang strategis, beriklim tropis yakni dapat dimanfaatkan sebagai salah satu pengembangan *renewable energy* atau energi terbarukan.

Sistem dan cara kerja dari K-REKEL dimulai waktu pagi hari, selama matahari bersinar berkisar pada pukul 8 pagi sampai 6 sore. Solar panel yang sudah dipasang di atap rumah akan secara langsung mengubah cahaya matahari ke dalam sistem *inverter* untuk menjadi

listrik, selain itu *inverter* tersebut juga mampu mengisi baterai yang ada di dalam K-REKEL. Setelah ditampung dan terisi kapasitas daya yang penuh, K-REKEL dapat digunakan pada malam hari, berkisar pada waktu 6 sore sampai 7 pagi tanpa perlu menggunakan energi listrik konvensional lagi. Kemudian jika ada kelebihan hasil pengkonversian cahaya melalui *inverter*, alat tersebut dapat menyalurkan langsung pada grid sumber energi listrik konvensional.



Gambar Sistem kerja dari K-REKEL

K-REKEL memberikan dampak yang cukup baik terhadap lingkungan sekitar dikarenakan jenis sumber energi yang dihasilkan berasal dari proses penangkapan radiasi dari tenaga surya atau sinar matahari setelah itu diserap oleh solar panel dan dibantu oleh sistem *inverter* sebagai proses pengatur daya, kemudian mengalirkan daya listrik ke rumah untuk berbagai kebutuhan. proses dalam inovasi ini juga memiliki konsep *zero emission* yakni tidak menghasilkan limbah dalam bentuk apapun sehingga penggunaannya sangat efisien, aman dan nyaman terhadap lingkungan

Tabel SWOT Analisis K-REKEL

STRENGTH		WEAKNESS	
1.	Mampu menampung daya energi listrik dengan kapasitas yang tinggi	1	Membutuhkan biaya yang cukup besar untuk perealisasiannya
2.	Memiliki prinsip <i>Zero emission</i> yang ramah lingkungan	2	Bergantung pada cuaca cerah
3.	Dilengkapi fitur hybrid inverter yang dapat mengatur daya secara otomatis		
OPPORTUNITY		THREAT	
1	Terobosan baru bagi masyarakat dalam sarana pengembangan energi terbarukan	1	Munculnya pesaing baru dengan terobosan inovasi serupa
		2	Masyarakat yang kurang percaya dan tertarik dengan inovasi tersebut
		3	Masih terdapat adanya kelemahan finansial pada masyarakat untuk mendapatkan K-REKEL

Penutup

Simpulan

Melalui inovasi K-REKEL penulis mengagas terobosan inovasi sumber energi terbarukan menggunakan sistem penggabungan energi yakni dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam yang ada di Indonesia diantaranya dari hasil tambang yang sangat melimpah saat ini, yakni nikel sebagai bahan baku, nikel berkarakteristik sangat andal menyimpan padatan energi. Kemudian memanfaatkan letaknya cukup strategis tepatnya daerah beriklim tropis yakni terpancar sinar matahari disepanjang tahunnya.

Saran

Saat ini negara Indonesia telah memasuki era baru atau sekarang biasa disebut *new normal*, kami menyarankan pemerintah agar melakukan strategi atau perencanaan untuk meningkatkan

sumber energi terbarukan, salah satunya seperti K-REKEL dengan memanfaatkan *power storage system* yang berkonsep *Renewable energy*. yakni masyarakat dapat beralih dari penggunaan energi fosil yang tidak ramah lingkungan menjadi lebih ramah lingkungan, termasuk mewujudkan Sustainable Development Goals (SDGs) Indonesia dengan mengonsumsi energi bersih yang tidak terbatas untuk bumi yang sehat.

Daftar Pustaka

- Heyko E, Hasid Z, Priyagus (2016) STRATEGI PEMANFAATAN ENERGI TERBARUKAN DALAM RANGKA KEMANDIRIAN ENERGI DAERAH PROVINSI KALIMANTAN TIMUR Vol 12, (1) journal.feb.unmul.ac.id
- Kholiq I, (2015) PEMANFAATAN ENERGI ALTERNATIF SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN UNTUK MENDUKUNG SUBSTITUSI BBM Vol.19 No. 2 e-ISSN: 2477-507X
- Mulyana R (2020) “Jadi produsen terbesar dunia di 2019, ini neraca cadangan nikel Indonesia saat ini” kontan.co.id link: <https://industri.kontan.co.id/news/jadi-produsen-terbesar-dunia-di-2019-ini-neraca-cadangan-nikel-indonesia-saat-ini>
- Pradana M, Tjendro, (2016) PROTOTYPE SISTEM KONTROL OTOMATIS PADA PEMBANGKIT LISTRIK ALTERNATIF TEGANGAN RENDAH Vol. 15 No. 2 ISSN 1412-7350
- Panunggul D , Boedoyo MS , Sasongko NA (2018) ANALISA PEMANFAATAN ENERGI TERBARUKAN DI UNIVERSITAS PERTAHANAN SEBAGAI PENDUKUNG KEAMANAN PASOKAN ENERGI (STUDI KASUS: ENERGI SURYA DAN ANGIN) Vol.4 No.2
- Ramli R. (2020) “Sepanjang Tahun Lalu, Indonesia Jadi Produsen Nikel Terbesar Dunia” Kompas.com link: <https://money.kompas.com/read/2020/10/14/102900126/sepanjang-tahun-lalu-indonesia-jadi-produsen-nikel-terbesar-dunia?page=all>.



Artikel 3

Konsep *Smart Community Grid* Menggunakan Modular COINT sebagai Upaya Desentralisasi dan Optimalisasi Penggunaan PLTS Atap di Daerah Perkotaan

Christian Paskah Wilmar

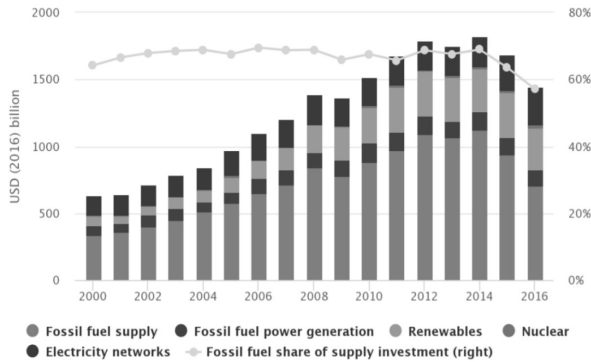
(Universitas Gadjah Mada)

Karya ini menjadi Pemenang 9, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

PENDAHULUAN

Di era modern sekarang, penggunaan energi yang andal dan terjangkau menjadi syarat penting dalam sistem pembangunan berkelanjutan. Untuk itu, Pemerintah terus berusaha memperbaiki kualitas pelayanan listrik di Indonesia, baik dengan pembangunan pembangkit baru, maupun dengan pengembangan sistem transmisi dan distribusi listrik. Secara umum, kebijakan dan praktik penyediaan listrik perkotaan menggunakan sistem pembangkit listrik terpusat (*centralized generation*) di mana, pengguna (*end user*) mendapatkan pasokan listrik yang berasal dari fasilitas pembangkit melalui sambungan jaringan transmisi-distribusi.

Dengan terus meningkatnya kebutuhan akan listrik, paradigma pembangkit terpusat kian menjadi sorotan. Karena, sistem pembangkit terpusat akan menelan biaya yang besar, baik dari penyediaan bahan bakar, proses pembangkitannya, maupun pengembangan jaringan transmisi dan distribusinya.



Gambar 1. *Global investment in energy supply, 2000 - 2016* (Sumber: IEA, 2017)

Berdasarkan laporan IEA¹, investasi untuk jaringan dan penyimpanan (*storage*) terus meningkat selama 5 tahun terakhir, dengan nilai investasi jaringan mencapai rekor pada tahun 2016 yaitu, USD 277 miliar (Gambar 1). Selain besarnya biaya yang diperlukan, sistem pembangkit terpusat juga sangat bergantung pada keandalan jaringan, maupun ketersediaan pasokan yang sering kali menjadi penyebab gangguan aliran listrik. Adapun penggunaan sistem pembangkit terpusat juga memiliki dampak bagi lingkungan seperti, emisi dari proses pembakaran, penggunaan air dan pembuangannya, produksi limbah padat dari hasil pembakaran, dan penggunaan lahan untuk pembangkit listrik dan jaringan transmisi-distribusi². Selain itu, energi yang dihasilkan dari pembangkit juga banyak hilang sepanjang proses transmisi-distribusi. Data statistik IEA menunjukkan bahwa rata-rata hilangnya energi sepanjang transmisi-distribusi adalah 8,24% dari total keluaran energi yang dihasilkan³.

Untuk itulah, saat ini sistem ketenagalistrikan sedang mengalami masa transformasi, mengikuti perkembangan teknologi dan inovasi, terutama pada lingkup jaringan dan sering disebut sebagai *grid edge*

1 International Energy Agency. *World Energy Investment 2017*. (Paris: IEA, 2017), 3.

2 US EPA, "Centralized Generation of Electricity and its Impacts on the Environment", (<https://www.epa.gov/energy/centralized-generation-electricity-and-its-impacts-environment>, diakses pada tanggal 14 April 2021)

3 World Bank. "Electric power transmission and distribution losses (% of output) 1960 - 2014", (<https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS>, diakses pada tanggal 14 April 2021)

transformation. Tiga perkembangan yang mendorong transformasi ini adalah elektrifikasi, desentralisasi, dan digitalisasi⁴. Pembangkit terdesentralisasi atau tersebar (*decentralized generation*) merupakan kebalikan dari model pembangkit terpusat. Dalam model pembangkit terpusat, satu pembangkit listrik skala besar menyediakan energi untuk satu daerah, sedangkan pembangkit tersebar mengutamakan banyaknya pembangkit listrik berkapasitas kecil yang tersambung atau tidak tersambung dengan jaringan transmisi-distribusi. Secara umum, pembangkitan tersebar mengacu pada pembangkit listrik dengan kapasitas 1 MW atau kurang.

Melihat tantangan dan peluang yang ada, akhirnya penulis menggagas ide tulisan terkait konsep *smart community grid* menggunakan modular COINT (*Community Point*) sebagai langkah desentralisasi dan optimalisasi penggunaan PLTS Atap di daerah perkotaan.

PEMBAHASAN

Smart Community Grid

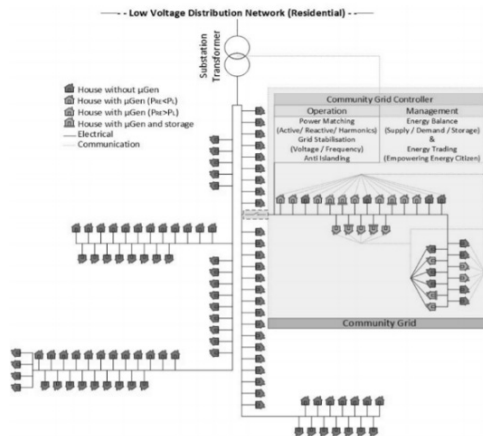
Pembangkit listrik terdesentralisasi (*decentralized generation*) diperkirakan akan menjadi tren di masa yang akan datang. Hal ini terjadi dikarenakan perkembangan teknologi yang semakin pesat dan dikombinasikan dengan lebih terbukanya peluang untuk ikut berperan serta di sektor energi terbarukan. Seperti, konsumen yang sebelumnya hanya mengkonsumsi listrik juga dapat ikut berperan sebagai produsen listrik dalam saat yang bersamaan (prosumer). Agar hal ini dapat terwujud, maka jaringan listrik yang terpasang haruslah dapat mengakomodasi sistem ini. Salah satu pengembangan jaringan yang dapat digunakan untuk mewujudkan desentralisasi pembangkitan listrik di ranah masyarakat adalah *community grid*. *Community grid* merupakan suatu jenis sistem *microgrid*⁵ virtual yang dapat dikembangkan dalam jaringan distribusi yang sudah ada. Implementasinya sendiri melibatkan suatu pusat kontrol yang

4 World Energy Forum. “*The Future of Electricity*”. (http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Electricity_2017.pdf, diakses pada tanggal 15 April 2021)

5 *Microgrid* merupakan salah satu contoh pola pembangkitan terdistribusi yang bisa melingkupi berbagai macam sumber energi

berfungsi melakukan pengoperasian, yang berkaitan dengan kontrol fisik jaringan seperti, daya dan *energy matching*, stabilisasi jaringan, dan pengelompokan. Lalu untuk melakukan manajemen, terkait *energy balance (supply, demand, dan storage)* dan *energy trading (untuk pemberdayaan energy citizen)*⁶. Untuk meningkatkan partisipasi aktif konsumen dan prosumer, mekanisme *energy trading* dibuat fleksibel sehingga prosumer dapat memperdagangkan kelebihan energi dengan konsumen atau prosumer lain di jaringan komunitasnya.

Adapun kebaruan dari struktur jaringan *community grid* yang diusulkan adalah penggunaannya tidak akan mengubah struktur distribusi jaringan listrik yang sudah ada. Di mana, pusat kontrol akan dikembangkan dengan tepat sehingga jaringan utama dapat dipisahkan dan dioperasikan selayaknya. Di masa depan, interaksi tiap komunitas ini dapat diperluas antara jaringan *community grid* dengan penggunaan jaringan *smart grid*⁷.



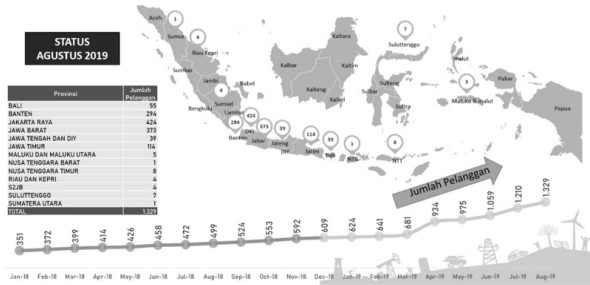
Gambar 2. Konsep *Community Grid* dengan jaringan distribusi perumahan *low voltage (LV)* (Sumber: Rosado, S.P., Khadem, S.K, 2017)

6 Rosado, S.P., Khadem, S.K. 2017. Review of Technical Issues and Challenges in the Development of Community Grids. 2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I CPS Europe). [s.l.; s.n.], pp. 1-6.

7 *Smart grid* adalah jaringan listrik yang mencakup berbagai operasi dan ukuran energi termasuk meter cerdas, peralatan pintar, sumber daya energi terbarukan, dan sumber daya hemat energi.

Perkembangan Penggunaan Listrik Tenaga Surya di Indonesia

Walaupun sekarang penggunaan energi surya masih minim, namun berdasarkan data pengguna PLTS Atap (*On-grid*⁸ PLN), tren penggunaannya di masyarakat terus menunjukkan peningkatan.



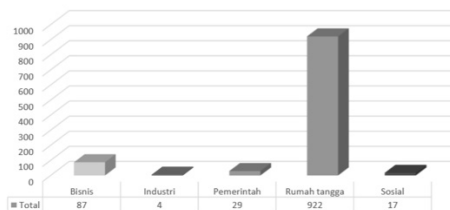
Gambar 3. Perkembangan pelanggan PLTS Atap s/d Agustus 2019

(Sumber: Ditjen EBTKE, 2019)

Di mana, berdasarkan data sampai bulan Juni 2019, jumlah pelanggan PLTS Atap didominasi sektor rumah tangga yang terkonsentrasi di daerah perkotaan.

No	Provinsi	Bisnis	Industri	Pemerintah	Rumah tangga	Sosial	Total
1	DKI Jakarta	40	1	4	330	6	381
2	Jawa Barat	9	2	2	343	2	358
3	Jawa Timur	8	0	0	95	5	108
4	Bali	22	0	0	24	1	47
5	Jateng & DIY	3	0	2	22	3	30
6	Banten	2	1	0	103	0	106
7	Riau & Kepri	1	0	0	3	0	4
8	Sumut	0	0	0	1	0	1
9	S2IB	2	0	1	1	0	4
10	Maluku	0	0	5	0	0	5
11	NTT	0	0	8	0	0	8
12	NTB	0	0	1	0	0	1
13	Suluttenggo	0	0	6	0	0	6
Total		87	4	29	922	17	1059

Pelanggan PLTS Atap Berdasarkan Golongan/Tarif s.d. Juni 2019



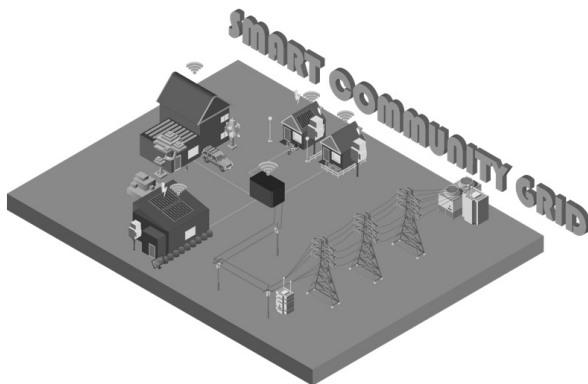
Gambar 4. Komposisi Pelanggan PLTS Atap s/d Juni 2019

(Sumber: Ditjen EBTKE, 2019)

⁸ Sistem *on-grid* merupakan sistem PLTS yang terhubung oleh jaringan PLN

Konsep *Smart Community Grid* Menggunakan Modular COINT sebagai Upaya Desentralisasi dan Optimalisasi Penggunaan PLTS Atap di Daerah Perkotaan

Konsep *smart community grid* diharapkan mampu menciptakan sistem mikro jaringan listrik yang lebih andal, *sustain*, dan ramah lingkungan, dengan mengoptimalkan penggunaan PLTS Atap (*decentralized generation*) oleh masyarakat. Adapun sistem dilengkapi dengan modular khusus bernama COINT (*Community Point*) sebagai pusat kontrol yang menggunakan model *tree topology* (TT) sebagai jaringan penghubung tiap *user* dan berfungsi untuk mengakomodasi proses *energy trading* antara prosumer-konsumen atau prosumer-prosumer yang berada pada satu jaringan komunitas. Selain itu, COINT juga akan bertugas dalam melakukan *energy balancing* antara penggunaan energi listrik dari pembangkit komunitas dan energi listrik dari jaringan utama (PLN). Sistem juga dilengkapi baterai komunitas, sebagai *backup* ketika jaringan utama (PLN) sedang padam. Untuk itu, COINT akan dilengkapi dengan aplikasi *smartphone* yang dapat digunakan *user*, dengan fungsi utama untuk mengatur kelebihan listrik yang dihasilkan, yaitu menuju baterai atau dijual ke *user* lain (prosumer) dan *monitoring* data penggunaan energi listrik. Namun dalam penggunaan baterai komunitas, nantinya tiap *user* akan dibatasi maksimal daya yang dapat disimpan.



Gambar 5. Ilustrasi konsep *smart community grid*

Sistem yang diakomodasi oleh tiap modular COINT ini disebut sebagai *community stage* dimana, tahapan ini dapat dikembangkan lagi menjadi *cluster stage* dengan memanfaatkan interaksi antara tiap modular COINT dengan memanfaatkan sistem jaringan listrik utama. Tahapan ini bertujuan sebagai sarana untuk memperluas kegiatan *energy balancing* dan *energy trading* dari tiap komunitas.

Adapun untuk melakukan implementasi gagasan ide ini, telah disusun tahapan pengembangannya sebagai berikut.

Gambar 6. Tahap pengembangan sistem *smart community grid*



PENUTUP

Dengan terus meningkatnya kebutuhan akan listrik, penggunaan sistem pembangkit terpusat kian menjadi sorotan karena, menelan biaya yang besar, baik dari penyediaan bahan bakar, proses pembangkitannya, maupun untuk pengembangan jaringan transmisi dan distribusinya. Selain itu, sistem pembangkit terpusat juga sangat bergantung pada keandalan jaringan dan ketersediaan pasokan, yang sering kali menjadi penyebab gangguan aliran listrik. Adapun penggunaan sistem pembangkit terpusat juga memiliki dampak bagi lingkungan seperti, emisi dari proses pembakaran, penggunaan air dan pembuangannya, produksi limbah padat dari hasil pembakaran, dan penggunaan lahan untuk pembangkit listrik dan jaringan transmisi-distribusi. Selain itu, energi yang dihasilkan dari pembangkit juga banyak hilang sepanjang proses transmisi-distribusi. Data statistik IEA menunjukkan bahwa rata-rata hilangnya energi sepanjang transmisi-distribusi adalah 8,24% dari total keluaran energi yang dihasilkan.

Untuk itulah, saat ini sistem ketenagalistrikan sedang mengalami masa transformasi mengikuti perkembangan teknologi dan inovasi, terutama pada lingkup jaringan dan sering disebut sebagai *grid edge transformation*. Tiga perkembangan yang mendorong transformasi ini adalah elektrifikasi, desentralisasi, dan digitalisasi.

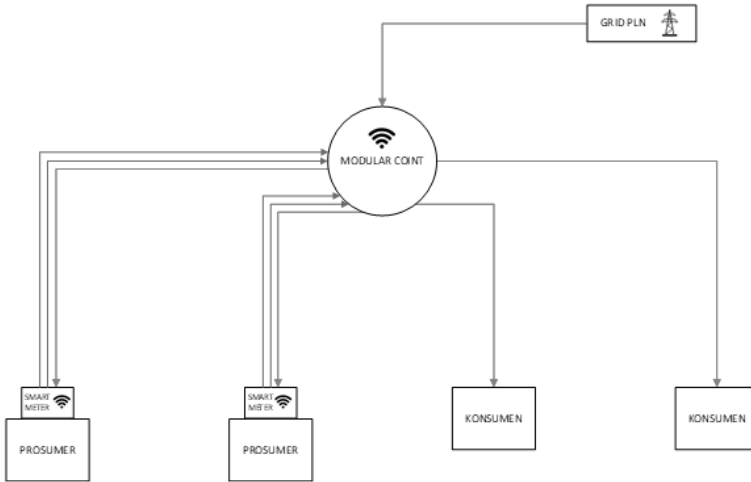
Melihat tantangan dan peluang tersebut, akhirnya penulis menggagas ide tulisan terkait pengembangan *smart community grid* menggunakan modular COINT sebagai langkah desentralisasi dan optimalisasi penggunaan PLTS Atap di daerah perkotaan. Penulis berharap, gagasan ide ini dapat menjadi solusi dan inovasi yang dapat mengatasi sistem jaringan listrik Indonesia dan mewujudkan Indonesia yang lebih mandiri energi.

DAFTAR PUSTAKA

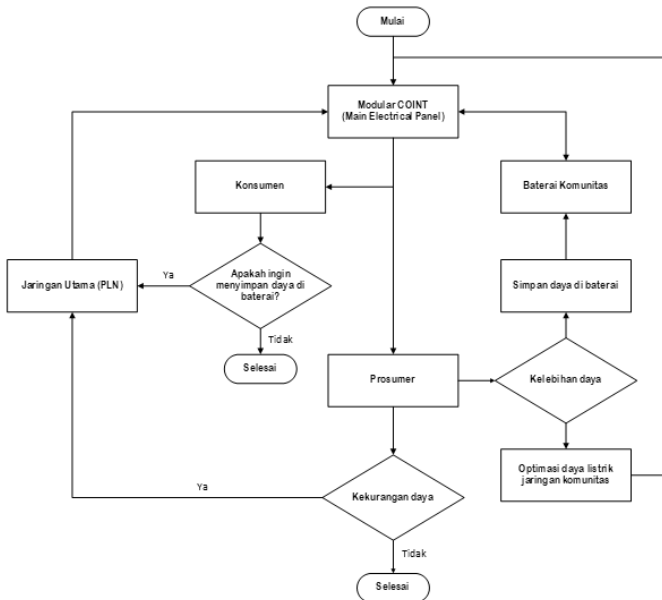
- Ditjen EBTKE. Akselerasi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya di Indonesia untuk Mencapai 6,5 GW pada Tahun 2025. <http://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/10/2019-10-10-Bahan-Paparan-Akselerasi-PLTS-Mencapai-65-GW-pada-2025-IESR.pdf>. Diakses tanggal 14 April 2021
- IEA. *World Energy Investment 2017*. IEA. Paris.
- Rosado, S.P., Khadem, S.K. 2017. Review of Technical Issues and Challenges in the Development of Community Grids. *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I CPS Europe)*. [s.l.: s.n.], pp. 1-6.
- USEPA. Centralized Generation of Electricity and its Impacts on the Environment, <https://www.epa.gov/energy/centralized-generation-electricity-and-its-impacts-environment>. Diakses tanggal 14 April 2021.
- World Bank. 2015. Electric power transmission and distribution losses (% of output) 1960 - 2014, <https://data.worldbank.org/indicator/EG.ELC.LOSS.ZS>. Diakses tanggal 14 April 2021.
- World Energy Forum. 2017. The Future of Electricity. http://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Electricity_2017.pdf. Diakses pada tanggal 15 April 2021.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Skema Pengembangan Sistem *Smart Community Grid*



Gambar 1.1. Ilustrasi sederhana sistem *smart community grid*

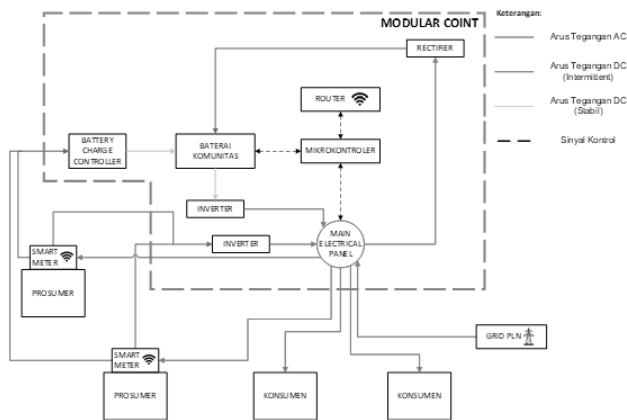


Gambar 1.2. Alur kerja sistem *smart community grid*

Adapun dalam pengembangan sistem jaringan *smart community grid*, dibutuhkan interaksi empat *layer* teknologi yaitu:

- i. *Information technology layer*. *Layer* ini termasuk perangkat lunak dan perangkat keras yang menggunakan teknologi *artificial intelligence* dan pengoptimasian algoritma.
- ii. *Communication technology layer*. *Layer* tersusun atas sistem komunikasi data area lokal atau lebih luas, yang menyediakan interaksi dan aksesibilitas antara sistem komponen lainnya.
- iii. *Control technology layer*. *Layer* terdapat sistem kontrol dan metode untuk menjaga *grid* dan sistem tetap pada rentang optimal mereka sehingga sistem stabil dan kualitas daya tetap baik.
- iv. *Power technology layer*. *Layer* ini termasuk semua sistem jaringan dan peralatan dari *generation* ke konsumen.

Lampiran 2. Konsep Modular COINT (*Community Point*)

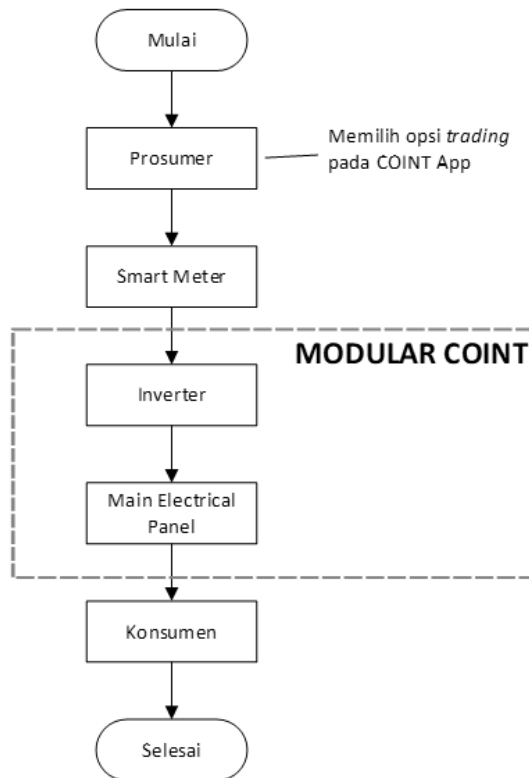


Gambar 2.1. *Control diagram* modular COINT

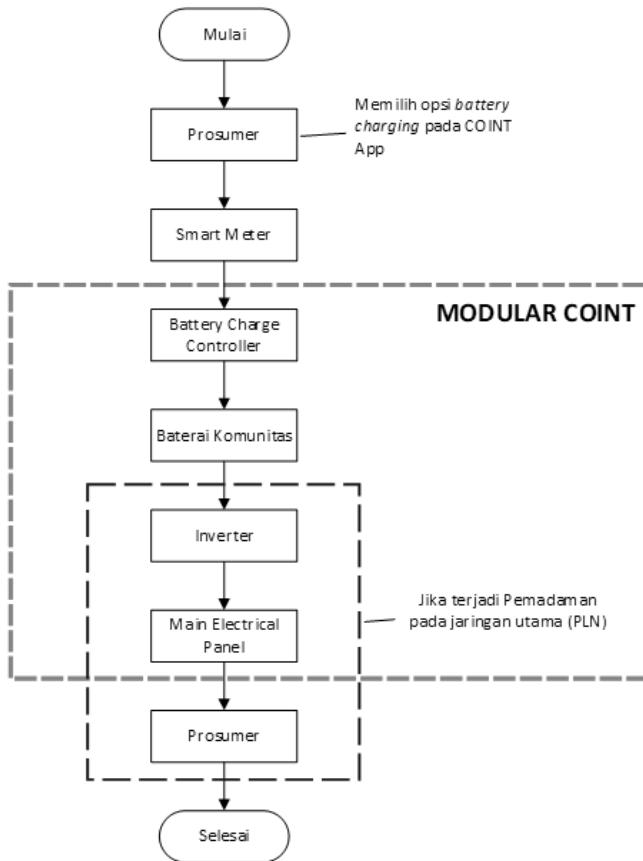
Penggunaan dari modular COINT merupakan komponen untuk mengakomodasi *layer* teknologi poin (i), (ii), dan (iii), di mana COINT menjadi pusat kontrol jaringan komunitas. Adapun skema di atas dapat dibagi menjadi 3 bagian skema kerja, yaitu:

1. Prosumer memperdagangkan kelebihan daya yang dihasilkan ke *user* lain pada jaringan komunitas.
2. Prosumer menyimpan kelebihan daya yang dihasilkan pada baterai komunitas (sistem sewa baterai).
3. Konsumen menggunakan baterai komunitas (sistem sewa baterai) dengan daya berasal dari jaringan utama (PLN).

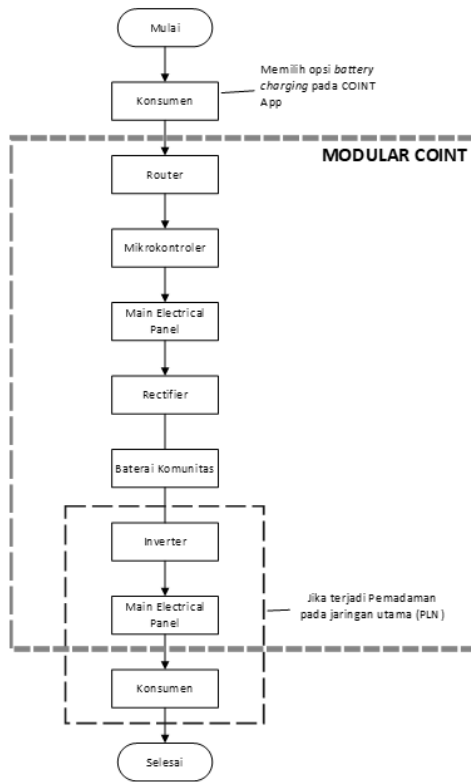
Berikut adalah gambaran dari skema kerja tiap model kinerja sistem.



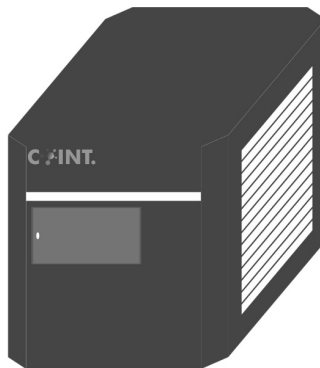
Gambar 2.2. Flowchart opsi energy trading oleh prosumer



Gambar 2.3. Flowchart opsi battery charging oleh prosumer



Gambar 2.4. Flowchart opsi battery charging oleh konsumen

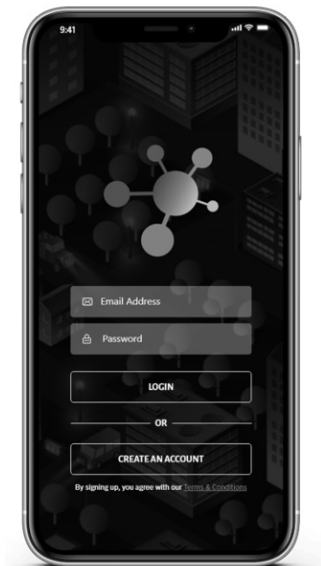


Gambar 2.5. Desain Mockup COINT yang akan dikembangkan

Lampiran 3. Desain *Mockup* Aplikasi *Smartphone* COINT yang Akan Dikembangkan



Gambar 3.1. Tampilan *Splash Screen*



Gambar 3.2. Tampilan *Login Screen*



Gambar 3.2. Tampilan *User Status Option Screen*



Gambar 3.3. Tampilan *Main Menu Screen* untuk Prosumer



Gambar 3.4. Tampilan Main Menu Screen untuk Konsumen

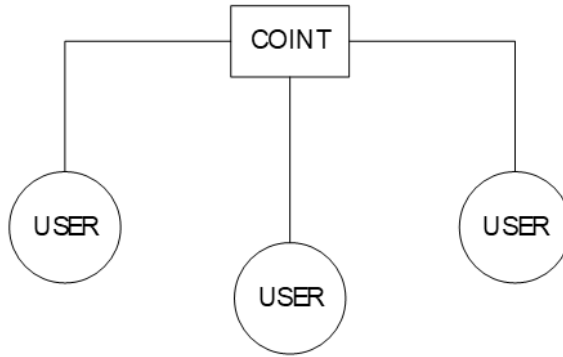
Lampiran 4. Pengembangan Konsep Hierarchical Tree Topology Sebagai Jaringan Terstruktur COINT

Terkait poin (iv) yang telah dijelaskan pada Lampiran 1, dibutuhkan konsep struktur jaringan yang tepat. Untuk itu, penulis menggunakan konsep *tree topology* yang dapat menjadi solusi terkait manajemen efisiensi *energy balance* dan *energy trading* sebagai jaringan COINT. *Topology* ini juga dapat ditingkatkan menjadi tingkatan kluster sehingga membentuk *hierarchical tree topology* (HTT) yang sangat berguna untuk memantau dan mengontrol status *energy balance* dan perluasan *energy trading* antara komunitas. Selain itu, struktur *acyclic* (suatu struktur berarah tanpa *cycle* atau *loop* di dalamnya) dari *tree topology* dapat mempermudah masalah *routing* pengiriman energi antara pengguna di masa depan. Dalam tahap pengembangannya, penulis membaginya menjadi 2 tahap dimana yaitu:

1. *Community stage*

Tahap ini merupakan tahap pengembangan jaringan komunitas dasar yang terdiri atas perumahan/rukun tetangga sebagai pusat pembangkit listrik terdesentralisasi. Pada *stage*

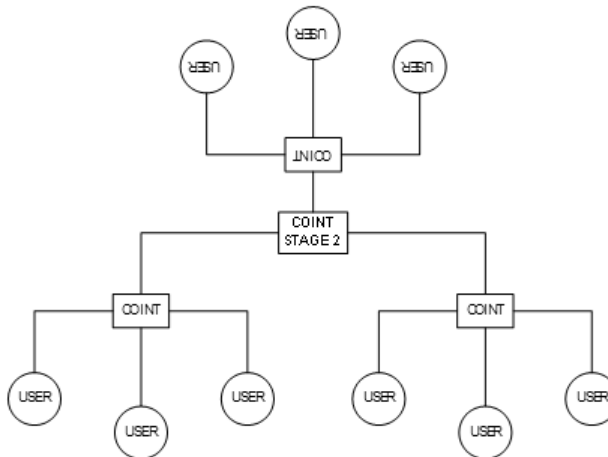
ini, prosumer/konsumen hanya dapat melakukan *energy trading* antara *user* yang berada di satu jaringan komunitasnya dan *energy balance management* masih bersifat lokal.



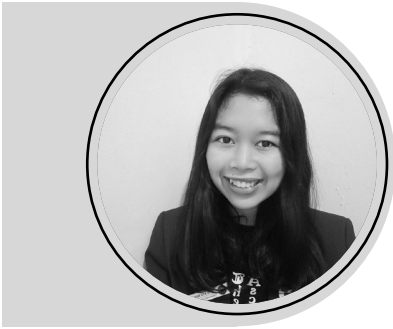
Gambar 4.1. Pengembangan *community stage*

2. *Cluster stage*

Tahap ini merupakan pengembangan bertingkat dari *community stage* dimana, jaringan yang ada memungkinkan antara komunitas melakukan *energy trading* antara komunitas sehingga *energy balance management* bersifat lebih luas.



Gambar 4.2. Pengembangan *cluster stage*



Artikel 4

I-COMVAS (Integration Computer Vision in HVAC System): Integrasi Computer Vision Dalam HVAC System Untuk Meningkatkan Efisiensi Penggunaan Listrik Pada Gedung Tinggi

Putu Ayu Narsih Sukmawati
(Universitas Prasetiya Mulya)

Karya ini menjadi Pemenang 8, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

I. Latar Belakang

Indonesia merupakan negara tropis dan sepanjang tahun selalu mendapat paparan sinar matahari dengan intensitas yang tinggi dibandingkan dengan negara lain. Paparan sinar matahari ini membuat suasana di siang hari sangat panas sehingga setiap orang akan menggunakan AC (Air Conditioning) untuk mendinginkan ruangan. Tidak hanya di rumah, di seluruh sektor juga menggunakan pendingin ruangan untuk mendukung kenyamanan saat beraktivitas. Penggunaan pendingin ruangan untuk setiap sektor memiliki sedikit perbedaan sesuai dengan skala gedung dan ukuran ruangan. Melihat jumlah penggunaan pendingin ruangan yang sangat krusial ternyata juga memerlukan biaya yang tinggi untuk listrik yang digunakan saat menyalakan pendingin ruangan.

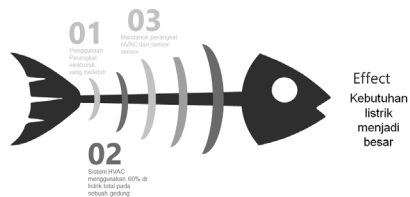
Pendingin ruangan atau AC yang digunakan pada skala *residential* minimal menggunakan listrik 800 Watt. Untuk sektor lain seperti sektor industri, sektor komersial dan sektor publik dengan ruangan yang lebih luas dan banyak serta gedung yang tinggi umumnya menggunakan HVAC system (*Heating Ventilation and Air Conditioning*) untuk mendinginkan ruangan. HVAC system sebagai pendukung kenyamanan

di dalam ruangan, secara operasional menggunakan listrik sebanyak 60% dari total listrik secara keseluruhan dalam satu gedung. Jumlah yang sangat besar untuk konsumsi listrik pada pendingin ruangan. Hal ini tentu akan menimbulkan permasalahan di beberapa sektor.

Dengan kondisi Indonesia tak luput dari dampak penyebaran Covid-19 dengan kasus terkonfirmasi per hari yang terus mengalami peningkatan hingga bertambah 8,002 kasus per hari pada 30 Desember 2020 (covid19.go.id). Indonesia resmi mengalami resesi setelah berkontraksi 2 kuartal berturut-turut yakni kuartal II sebesar -5.32% dan -3.49% pada kuartal III. Gencarnya serangan Covid-19 ini perlahan menggeser kegiatan serba *offline* menjadi *online*. Sebagian besar perusahaan di Indonesia melakukan penghematan untuk tetap menjalankan sistem operasional bisnisnya. Berdasarkan data PLN (2019), sektor yang banyak menggunakan energi listrik adalah sektor industri (31,72%), sektor komersial (19,1%) dan sektor publik (6,93%). Sektor yang paling berdampak pada kondisi pandemi adalah sektor industri. Hal ini dikarenakan jumlah pasar atau konsumen di pasaran yang mulai menurun sedangkan biaya produksi harus tetap berjalan serta konsumsi listrik untuk di kantor yang didominasi oleh HVAC System juga besar. Untuk tetap bertahan saat kondisi ini maka setiap sektor harus melakukan *cost efisiensi*. Oleh karena itu diperlukan sebuah inovasi untuk membantu efisiensi energi yang digunakan pada gedung yang menggunakan HVAC System agar dapat menurunkan biaya konsumsi energi listrik.

II. Analisis Permasalahan

Fishbone Diagram



Gambar 1. Fishbone Diagram Mengenai Permasalahan Listrik Pada Gedung

Diagram di atas menjelaskan kebutuhan permasalahan mengenai kebutuhan listrik pada sebuah gedung industri maupun gedung lainnya yang menggunakan Sistem HVAC. Dalam sebuah industri diperlukan komponen elektronik untuk mendukung berjalan sebuah kegiatan. Komponen tersebut seperti lampu, AC (*Air Conditioner*), komputer, CCTV, dan perangkat elektronik lainnya. Perangkat elektronik tersebut menggunakan listrik dalam waktu yang panjang sehingga akan menghabiskan banyak energi listrik untuk perangkat tersebut. Berdasarkan data Gedung STEM di Universitas Prasetya Mulya, kebutuhan untuk listrik untuk satu gedung mencapai Rp 243.233427 dalam satu tahun. Proporsi untuk sistem HVAC dalam sebuah ruangan sebesar 60% dari pengeluaran total untuk listrik. Banyak komponen yang digunakan dalam sistem HVAC, dimulai dari sensor, controller dan sistem monitoring. Untuk berjalan secara optimal sistem HVAC menggunakan integrasi dari beberapa sensor pada sebuah ruang lingkup tertentu seperti untuk satu ruangan. Kebutuhan listrik ini sangat besar apabila diakumulasi dan dibandingkan dengan jumlah perangkat yang digunakan maka akan semakin besar kebutuhan listrik. Hal ini akan menjadi masalah untuk dari **sisi supply listrik dan cost** yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik. Apabila dianalisis, permasalahan tersebut dapat disebabkan oleh beberapa faktor:

1. Penggunaan listrik berlebih untuk lampu, AC (*Air Conditioner*), dan ventilasi untuk memenuhi kenyamanan pengguna di dalam gedung yang dilengkapi banyak ruangan di dalamnya.
2. Penggunaan listrik untuk sistem automasi yang berlebih seperti sensor cahaya, sensor suhu, dan sensor gerak.
3. *Maintenance* untuk setiap sensor yang harus dilakukan berkala.

III. Solusi

Permasalahan mengenai konsumsi energi yang berlebih dan jumlah *cost* yang besar dapat diatasi dengan beberapa cara, antara lain:

1. **Mengganti sensor dengan perangkat yang lebih efektif dan efisien.**

Sensor pada umumnya hanya memiliki fungsi yang spesifik,

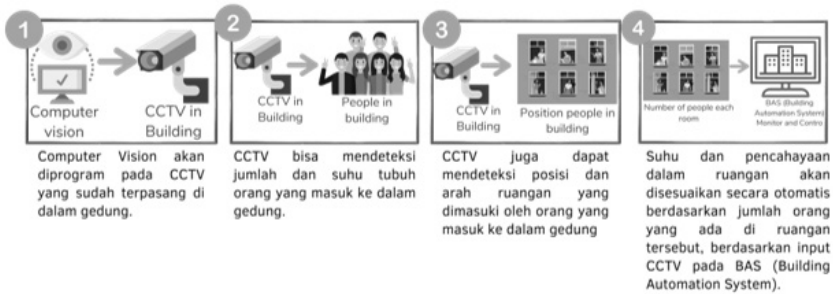
seperti sensor cahaya atau sensor LDR (*Light Dependent Resistor*) hanya mampu mendeteksi intensitas cahaya, sensor RTD (*Resistive Temperature Detector*) hanya mampu mendeteksi perbedaan suhu yang terjadi di lingkungan sensor tersebut dipasang. Untuk membuat sebuah sistem automasi dalam sebuah ruangan maka diperlukan integrasi dari berbagai sensor agar ruangan berjalan secara otomatis. Kapasitas deteksi sensor pun terbatas, bahkan dalam satu ruangan bisa menggunakan dua sensor lampu atau sensor lainnya apabila ruangan sangat luas. Biaya awal untuk sensor pun banyak karena harus dipasang setiap ruangan yang ada pada setiap lantai dalam satu gedung. Hal ini membuat banyak energi listrik yang digunakan untuk kebutuhan sensor, dan ditambah dengan biaya *maintenance* dari masing-masing sensor yang harus dilakukan secara berkala agar fungsi sensor tetap maksimal dan sensitif terhadap perubahan. Oleh karena itu, peran sensor yang menjadi input data dalam sistem BAS (*Building Automation System*) diganti dengan *Computer Vision*. *Computer Vision* akan di instal pada CCTV yang sudah terpasang pada gedung, kemudian terkoneksi dengan BAS yang akan mengatur HVAC system secara otomatis. Jumlah sensor yang banyak dapat digantikan dengan sebuah perangkat elektronik yang mampu mengganti semua fungsi sensor tersebut dengan algoritma data yang tidak jauh berbeda sehingga dapat memotong *cost* untuk *supply* sensor dan biaya *maintenance*-nya.

2. Menambahkan dan mensubstitusi sebagian *supply* energi dengan energi terbarukan.

Sumber energi listrik yang digunakan segala industri didominasi oleh PLN dan menjadi *supplier* utama listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik sebuah gedung. Salah satu bentuk pengurangan beban listrik dari PLN dengan menggunakan sumber energi terbarukan. Sumber energi terbarukan yang sangat cocok untuk sebuah gedung industri adalah Rooftop Solar PV. Dengan aplikasi Helioscope, dapat memudahkan perhitungan jumlah solar pv dan energi output yang dihasilkan solar PV berdasarkan lokasi yang direncanakan untuk pemasangan solar PV.

IV. Implementasi Solusi

Solusi yang ditawarkan adalah I-COMVAS (Integration Computer Vision in HVAC System). Mekanisme kerja dari I-COMVAS sebagai berikut:



Gambar 2. Mekanisme Kerja I-COMVAS

Dengan menggunakan studi kasus pada STEM, Universitas Prasetiya Mulya, BSD City. Dilakukan pilot project menggunakan I-COMVAS. Pada sistem HVAC yang digunakan pada gedung tersebut membutuhkan 200 kW dalam sehari untuk menyalakan *Chiller*, *pump CWP*, *pump CHWP* dan *Cooling Tower*. Dengan menggunakan sistem I-COMVAS, maka penggunaan listrik hanya membutuhkan 63 kW. Potensi penurunan penggunaan listrik dapat dilakukan hingga 62%.

Sistem I-COMVAS mengganti input data yang awalnya menggunakan sensor-sensor menjadi *Computer Vision* yang diintegrasikan pada CCTV. CCTV yang digunakan adalah yang berada di koridor sehingga mampu mendeteksi hingga 30 meter termasuk yang keluar dari lift, sehingga tidak perlu memasang sensor lagi pada setiap ruangan. AI yang digunakan juga mampu mengetahui posisi dari masing-masing orang yang masuk ke setiap ruangan. Data ini akan masuk ke BAS untuk mengatur set point maksimal dan minimal dari setiap ruangan berdasarkan jumlah orang yang berada di ruangan. Semakin singkat sistem bekerja, maka semakin sedikit usaha yang dilakukan sistem untuk menurunkan suhu ruangan sesuai set point, dan semakin sedikit energi listrik yang digunakan. Sistem juga sudah dilengkapi dengan VSD motor yang dapat mematikan secara otomatis

apabila dalam sistem sudah ada bagian yang tidak bekerja.

Selain itu, untuk membantu menyuplai energi listrik maka digunakan sumber tambahan dari solar panel. Solar panel yang digunakan sebanyak 15 modul dengan jumlah energi yang bisa disuplai sebanyak 20% dari total listrik pada gedung gedung STEM, Universitas Prasetiya Mulya.

Analisis Finansial

Projected Total Cash Flow						
	Year					
	0	1	2	3	4	5
Capital Spending	621.767.717					0
Operating Cash Flow		5.691.034.770	18.307.531.719	23.749.695.462	27.872.583.929	30.683.210.694
Total Project Cash Flow	-621.767.717	5.691.034.770	18.307.531.719	23.749.695.462	27.872.583.929	30.683.210.694
Cumulative Cash Flow	-621.767.717	5.069.267.053	23.376.798.772	47.126.494.234	74.999.078.163	105.682.288.857
Discounted Cash Flow	-621.767.717	4.948.725.887	13.843.124.173	15.615.810.282	15.936.240.325	15.254.978.521
Net Present Value	Rp64.977.111.471					
Payback Period	0,72310	years				
ROI	86,73%					

Berdasarkan tabel proyeksi dalam 5 tahun, maka diperoleh nilai *payback period* sebesar 0,7 tahun atau kurang dari setahun dan ROI sebesar 86%. Hal ini apabila diimplementasikan pada perusahaan yang menggunakan HVAC System tentu akan sangat menguntungkan dalam jangka panjang dan sangat ekonomis. Tidak hanya di sektor industri melainkan sektor lain dapat menggunakan produk ini.

Analisis SWOT

Strengths	Weaknesses
<ul style="list-style-type: none"> • Lebih efisien karena hanya menggunakan satu input untuk sistem berupa <i>Computer Vision</i>. • Data dan kegiatan untuk kontrol dapat diakses secara remote karena menggunakan <i>cloud computing</i> dan bekerja otomatis karena menggunakan AI. • Dapat mengurangi kegiatan maintenance karena menggunakan satu perangkat dan dapat memberikan peringatan apabila terjadi sebuah kendala atau masalah. • Dapat mengurangi biaya listrik dan biaya awal 	<ul style="list-style-type: none"> • Harus disertai dengan <i>cyber security system</i> untuk meningkatkan keamanan.
Opportunity	Threats
<ul style="list-style-type: none"> • Belum ada yang menggunakan solusi yang ditawarkan untuk efisiensi penggunaan energi pada sebuah gedung. • Banyak industri yang akan memerlukan solusi ini sebagai bentuk efisiensi listrik. • Perkembangan teknologi membuat solusi ini dapat dikembangkan menjadi lebih kompleks dan efisien 	<ul style="list-style-type: none"> • Diperlukan teknisi khusus untuk instal seluruh perangkat integrasi ini serta diperlukan pengembang yang handal untuk menyesuaikan sistem dengan berbagai jenis gedung.

Daftar Pustaka

- World Bank. 2020. The Global Economic Outlook During the COVID-19 Pandemic: A Changed World. <https://www.worldbank.org/en/news/feature/2020/06/08/the-global-economic-outlook-during-the-covid-19-pandemic-a-changed-world>. Diakses pada 30 Desember 2020
- KPC PEN. 2020. Data Persebaran Kasus Covid-19. <https://covid19.go.id/peta-sebaran>. Diakses pada 29 Desember 2020.
- ESDM. 2020. Panel Surya Atap. <https://ekonomi.kompas.com/read/2018/11/28/143329126/esdm-panel-surya-atap-bikin-hemat-tagihan-listrik-hingga-30-persen>. Diakses pada 1 Januari 2021.
- Silalahi David Firnando. 2020. Riset Prediksi Indonesia Bisa Hasilkan 100% Listrik dari Tenaga Surya Tahun 2050. <https://theconversation.com/riset-prediksi-indonesia-bisa-hasilkan-100-listrik-dari-tenaga-surya-pada-tahun-2050-136879>. Diakses pada 5 Januari 2021.
- Microsoft Azure. 2020. Panduan untuk Interface. <https://azure.github.io/Vision-AI-DevKit-Pages/>. Diakses pada 28 Desember 2020.



Artikel 5

Inovasi Pembangkit Listrik Turbin Proton Berbasis Bakteri *Rhospirillum rubrum* sebagai Bio-Electricity Dalam Mewujudkan Kemandirian Energi Terbarukan di Indonesia

Fadhlih Al-Zaki Sitorus

(Universitas Gadjah Mada)

Karya ini menjadi Pemenang 4, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

Pengantar

Kebutuhan masyarakat dunia akan energi listrik mengalami peningkatan tidak terkecuali di Indonesia. Peningkatan permintaan energi listrik dikalangan masyarakat disebabkan oleh banyak faktor, seperti kemajuan teknologi, gaya hidup masyarakat, kondisi sosial budaya, dan lainnya. Akibatnya, ketersediaan energi listrik perlu ditambah untuk beberapa tahun ke depan. Saat ini, secara umum listrik dihasilkan dari pembangkit yang memanfaatkan pembakaran bahan bakar fosil. Penggunaan bahan bakar fosil yang kian masif turut mempengaruhi kondisi dan kualitas lingkungan hidup. Beberapa jenis pembangkit listrik berbasis energi alternatif banyak dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan tersebut seperti tenaga angin, air, gelombang, *geothermal*, dan surya. Bahkan, pembangkit listrik tenaga nuklir sebagai salah satu penghasil energi listrik masa depan menjadi salah satu pembangkit listrik alternatif masa depan di Indonesia, tetapi penggunaan pembangkit listrik tenaga nuklir belum dapat terealisasi karena berbagai tantangan yang sering ditemui untuk membangun pembangkit listrik alternatif. Salah satu tantangan utama dalam pembangunan pembangkit listrik alternatif, yaitu tingginya biaya pemeliharaan alat dan efisiensi. Dengan

demikian, perlu digalakkan penggunaan pembangkit listrik dengan energi alternatif yang murah dan efisien.

Disisi lain, pertumbuhan ekonomi di Indonesia yang semakin pesat walaupun terganggu dengan adanya pandemi COVID-19 menyebabkan konsumsi listrik juga mengalami kenaikan. Permintaan akan konsumsi listrik di Indonesia menyebabkan pemerintah Indonesia harus mencari cara untuk memenuhi kebutuhan energi listrik nasional supaya krisis listrik di Indonesia tidak terjadi. Peran tersebut tidak hanya sebatas sebagai sarana produksi dalam memfasilitasi pembangunan sektor industri dan ekonomi, tetapi juga berperan dalam pemenuhan aspek sosial di kehidupan sehari-hari. Apabila pemerintah Indonesia tidak kunjung merealisasikan pembangkit listrik dari energi terbarukan dengan skala besar yang mampu bersaing dengan energi konvensional akan menyebabkan krisis listrik di Indonesia akibat pembangkit listrik dari energi fosil tak terbarukan mengalami kelangkaan sumber bahan bakar sehingga tidak dapat memenuhi kebutuhan listrik nasional di masa depan.

Melihat Potensi Keanekaragaman Hayati Terpendam dalam Energi Terbarukan di Indonesia sebagai Inovasi dalam Efisiensi Energi Terbarukan di Masa Depan

Negara Kesatuan Republik Indonesia terdiri kurang lebih dari 17.000 pulau baik pulau besar maupun kecil. Selain itu, garis pantai Indonesia terpanjang di Asia Tenggara sejauh kurang lebih 810.000 km dengan luas daratan sekitar 3.100.000 kilo meter persegi serta jumlah penduduk Indonesia kini mencapai lebih dari 250 juta jiwa dan tersebar di lebih dari 65.000 desa. Berdasarkan data dari Kementerian ESDM pada tahun 2020, masih terdapat 55 (lima puluh lima) kabupaten atau kota dengan rasio elektrifikasi kurang dari 80% (delapan puluh persen) serta terdapat 9006 (sembilan ribu enam) desa belum teraliri oleh listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) (Kementerian ESDM, 2020). Oleh karena itu, diperlukan segera solusi pembangkit listrik dari energi alternatif untuk pemenuhan kebutuhan energi listrik di Indonesia untuk 5 hingga 10 tahun.

Berdasarkan hal tersebut, negara Indonesia memiliki beberapa kekayaan alam yang masih belum dimanfaatkan secara maksimal, salah satunya adalah keanekaragaman hayati yaitu mikroorganisme sebagai *bio-electricity*. Pembangkitan listrik dengan menggunakan potensi sumber daya hayati hingga saat ini belum banyak dikembangkan. Sumber daya hayati terutama mikroorganisme seperti bakteri berpotensi dimanfaatkan dalam pembangkit listrik berskala besar. Penggunaan mikroorganisme untuk membangkit listrik dinilai memiliki beberapa kelebihan, yaitu sumber daya alam yang terbarukan karena mudah untuk diperoleh dan dikembangkan serta ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi berbahaya.

Salah satu sumber pembangkit listrik yang menggunakan potensi hayati khususnya mikroorganisme adalah memanfaatkan bakteri jenis *Rhospirillum rubrum* sebagai *bio-electricity*. Bakteri *Rhospirillum rubrum* merupakan bakteri fotosintetik yang banyak ditemukan di alam khususnya daerah perairan dan rawa. Bakteri tersebut memiliki keunggulan dibandingkan dengan bakteri berflagela lainnya, yaitu mampu bertahan hidup dalam kondisi aerob maupun anaerob serta dalam kondisi ekstrim, banyak ditemukan pada kolam, rawa, serta lingkungan akuatik alami (Reslewic et. Al, 2005). Selain itu, Bakteri *Rhospirillum rubrum* memiliki flagella sebagai alat gerak sehingga mampu bergerak akibat rangsangan dari luar yang disebut dengan gerak kemotaksis. Gerak kemotaksis didefinisikan sebagai salah satu kemampuan dari respon bakteri dalam beradaptasi terhadap lingkungannya yang memiliki *gradient* (perbedaan) kimiawi dapat berupa zat-zat atau keadaan tertentu. Gerak kemotaksis bakteri *Rhospirillum rubrum* dapat dimanfaatkan energi kinetiknya untuk dikonservasi menjadi pembangkit energi listrik.

Selain berdasarkan potensi gerak kemotaksis tersebut, pembangkit listrik berbasis mikroorganisme didukung dengan perkembangan teknologi yang terjadi sangat pesat terutama perkembangan teknologi secara mikro dan nano. Salah satu teknologi yang berkaitan dengan skala mikro dan nano, yaitu turbin proton. Turbin proton adalah teknologi turbin dalam skala kecil yang digerakkan oleh *motor* yang digerakkan

oleh aliran ion sehingga dapat berputar menghasilkan energi listrik. Konsep turbin proton untuk konservasi energi gerak menjadi energi listrik dibuktikan dengan bukti eksperimental yang menunjukkan bahwa aliran sekitar 1000 proton digabungkan ke setiap rotasi *motor*. Semua proton yang mengalir melalui *motor* akan menghasilkan sekitar $2,4 \times 10^{-17}$ Joule per revolusi. Angka tersebut hanya estimasi dari energi yang dikonservasi menjadi energi listrik per revolusi pada 10 Hz ($2,0 \times 10^{-17}$ Joule) sehingga efisiensi turbin proton sangat tinggi per bakteri per satu detik revolusi (Berry, 2001).

Jika kita menggabungkan teknologi turbin proton dengan gerak kemotaksis dari bakteri *Rhodospirillum rubrum*, konservasi energi listrik sebagai pembangkit listrik *bio-electricity* dapat diterapkan di Indonesia. Indonesia memiliki keunggulan lokasi pembangunan pembangkit listrik pada wilayah rawa maupun di dekat sumber akuatik alami maupun buatan serta luas wilayah pembangunan tidak lebih dari 1 hektar. Keunggulan utama dari pembangkit listrik ini dibandingkan dengan pembangkit listrik energi terbarukan lainnya adalah tidak bergantung kepada cuaca atau iklim maupun faktor alam lainnya yang sedang terjadi di Indonesia sehingga proses konversi energi menjadi energi listrik tidak terganggu oleh faktor tersebut.

Pembangkit listrik dari mikroorganisme berbasis turbin proton sebagai *bio-electricity* dapat diwujudkan dengan memanfaatkan potensi sumber daya alam di Indonesia yang belum dieksplorasi secara luas. Indonesia memiliki keunggulan lokasi untuk mendirikan pembangkit listrik ini karena negara Indonesia merupakan negara maritim serta memiliki kawasan rawa yang luas dimana cocok untuk pertumbuhan bakteri *Rhodospirillum rubrum*. Daerah-daerah tersebut merupakan wilayah yang sering dijumpai di Indonesia serta belum dimaksimalkan potensi keanekaragaman hayati mikroorganismenya.

Perancangan pembangkit listrik futuristik di wilayah rawa, diperlukan kolam atau wadah khusus dalam perkembangbiakan bakteri secara *in vitro* yang berupa *microbactery vessel*. Kondisi di dalam *vessel* diatur sesuai dengan keadaan yang bergantung terhadap suhu, tekanan, dan konsentrasi dalam masing-masing *vessel* yang diisi

dengan larutan dari tangki penyimpanan medium larutan bakteri. Komponen lain dalam pembangunan pembangkit listrik ini yang tidak kalah penting yaitu *microreactor*. *Microreactor* merupakan tempat dimana bakteri akan memutar *micro spinning wheel* sesuai dengan jalur yang telah ditentukan sehingga menggerakkan turbin proton yang telah terintegrasi dengan *crankshaft* pada masing-masing *micro spinning wheel*. *Microreactor* dapat dianalogikan sebagai *boiler* pada pembangkit listrik konvensional, tetapi memiliki keunggulan konversi energi ke energi listrik *microreactor* mampu mencapai 98% karena tidak ada *heat loss* atau panas yang hilang selama proses berlangsung. Selain memiliki nilai efisiensi konservasi energi listrik yang tinggi, keunikan lainnya dari pembangkit listrik berbasis turbin proton dari mikroorganisme tidak memiliki *boiler* sebagai tempat penghasil *superheated steam* dari pembakaran bahan bakar fosil sehingga mampu menurunkan emisi gas rumah kaca maupun gas polusi udara lainnya untuk mengurangi efek perubahan iklim yang terjadi di Indonesia.

Kesimpulan dan Penutup

Dalam waktu 5 hingga 10 tahun yang akan datang, penulis yakin bahwa pembangunan pembangkit listrik dari mikroorganisme bakteri berflagela sebagai *bio-electricity* akan diresmikan di Indonesia sebagai pelopor pembangkit listrik dari makhluk hidup pertama di Indonesia dan dunia. Pembangkit listrik sebagai *bio-electricity* penulis yakini sebagai alternatif terbaik untuk pemenuhan energi listrik di masa depan bagi Indonesia. Membangun pembangkit listrik ramah lingkungan dengan memanfaatkan sumber daya alam berupa keanekaragaman hayati berupa mikroorganisme baktri yang belum banyak diketahui oleh masyarakat sebagai sumber energi listrik. Selain itu, pembangkit listrik ini dapat terealisasi lebih cepat dengan adanya kemajuan teknologi mikro dan nano sehingga transisi dari energi konvensional ke energi terbarukan untuk sektor kelistrikan di Indonesia dapat dilakukan dengan efisiensi energi yang lebih tinggi serta memanfaatkan sumber daya alam hayati yang belum pernah tersentuh sebelumnya.

Daftar Pustaka:

- Kementerian ESDM. 2020. Bahan Ditjen Ketengalistrikan. *Konferensi Pers Capaian Kinerja Subsektor 30 Juli 2020*, Jakarta, Indonesia. Halaman 9.
- Reslewic, S., Shigou, Z., Place, M., Zhang, Y., Briska A., Goldstein, S., Churas, C., Runnheim, R., Forrest, D., Lim, A., Lapidus, A., Han, C., Roberts, G., and Schwartz, D. 2005. *Whole-Genome Shotgun Optical Mapping of Rhodospirillum rubrum*. 1(5).
- Berry, R.M. 2001. Bacterial Flagella: Flagellar Motor. *Encyclopedia of Life Sciences*. The Randall Institute, King's College London. United Kingdom: London. 2(1).



Artikel 6

Hy-Tech (Hybrid Cultivation Technology): Teknologi Inovatif Budidaya Udang dengan Konsep Renewable Energy Sebagai Inovasi Ramah Lingkungan Guna Mewujudkan SDGS 2030

Khakam Ma'ruf

(Universitas Negeri Yogyakarta)

Karya ini menjadi Pemenang 5, dalam Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan, Piala Menteri ESDM RI 2021.

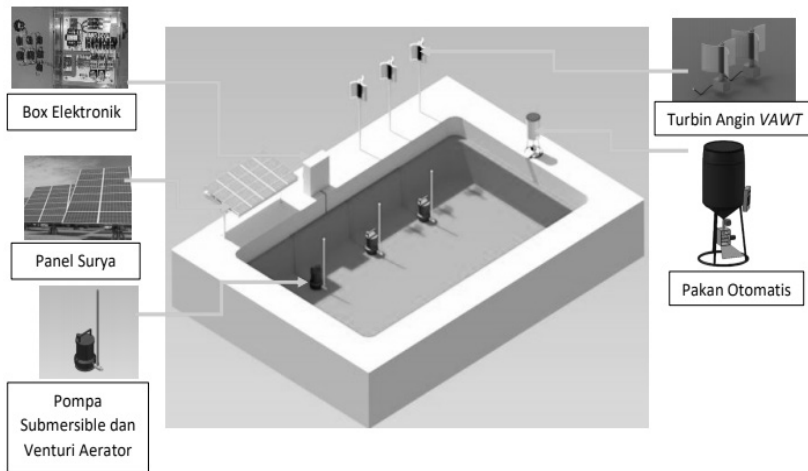
Indonesia sebuah negara kepulauan terbesar yang menyuguhkan berbagai macam kekayaan dan potensi alam di dalamnya. Hampir 75% dari seluruh wilayah Indonesia merupakan perairan, pesisir, dan lautan. Kondisi tersebut membuat Indonesia memiliki potensi pertumbuhan yang sangat tinggi di sektor budi daya termasuk dalam budi daya udang. Saat ini tingkat konsumsi udang dalam negeri mencapai 353.544 ribu ton pada 2017 lalu dan pada tahun 2018 naik sekitar 31 % menjadi 463.777 ribu ton. Penggunaan tambak menjadi salah satu metode yang paling sering digunakan untuk budi daya udang. Namun dalam praktiknya, pembudidayaan membutuhkan perlakuan khusus dengan penambahan oksigen terlarut atau *dissolved oxygen*. Secara mekanis oksigen dalam air dapat ditingkatkan menggunakan metode kincir air. Semakin luas kincir akan semakin banyak air yang disemburkan keatas untuk menangkap oksigen. Di sisi lain penggunaan kincir air semakin besar kincir mengonsumsi bahan bakar yang cukup besar pula untuk menggerakkannya.

Ketersediaan dan harga BBM menjadi salah satu kesulitan pemilik tambak, terlebih kebutuhan terbesar masih di pengaruhi penggunaan BBM. Penggunaan BBM dapat menyebabkan pencemaran seperti

gas buangan hasil pembakaran dan kebocoran minyak sehingga mempengaruhi kualitas ekosistem tambak dan mengancam kurangnya optimalisasi hasil panen. Konsumsi BBM yang banyak akan berdampak terhadap ketersediaan sumber energi. Kebutuhan energi merupakan point ke 7 dari tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs), kondisi saat ini kebutuhan energi semakin meningkat, namun tidak sebanding dengan pasokan sumber energi atau dapat disimpulkan bahwa energi yang digunakan tidak dibarengi dengan cadangan energi terbarukan. Sejalan dengan hal tersebut berdasarkan data Kementerian ESDM, Energi ramah lingkungan yang memiliki potensi cukup besar di Indonesia berupa energi angin 60,6 GW, dan energi surya 207,8 GW (Kementerian ESDM, 2019) Kedua konsep energi ini apabila dikembangkan pada aerator tambak udang akan berdampak positif bagi sosial ekonomi masyarakat, karena tidak perlu untuk membeli bahan bakar minyak dan dapat mengurangi pencemaran lingkungan.

Pada umumnya, pemilik tambak menggunakan kincir air bertenaga diesel untuk memaksa proses difusi oksigen pada tambaknya. Menelaah realita tersebut, penulis menawarkan suatu inovasi dalam penyediaan energi terbarukan melalui ***Hy-Tech (Hybrid Cultivation Technology)***. Inovasi ini dapat diaplikasikan pada budi daya udang dengan cara memanfaatkan energi surya dan energi angin pada budi daya udang. Pemanfaatan dua jenis energi tersebut dapat dimanfaatkan dengan mengaplikasikan *Solar Cell* dan Turbin Angin VAWT. Sedangkan aerator berfungsi sebagai alat penghasil aerasi, yaitu penambahan oksigen (gelembung) ke dalam air melalui difusi udara. Selain itu, *Hy-Tech* ini memiliki konsep budi daya yang lebih terkontrol dalam segi kualitas air, suhu, kadar Ph, oksigen, dan zat-zat lain karena setiap jenis ikan memerlukan perlakuan khusus. *Hy-Tech* ini disusun secara otomatis dengan mikrokontroler dan terintegrasi *Internet Of Things (IoT)* yang terhubung pada *Smartphone*.

Desain Teknologi *Hy-Tech*



Gambar 1. Desain Teknologi *Hy-Tech*

Hy-Tech didesain praktis, aplikatif, dan inovatif untuk memudahkan dalam budi daya udang dengan komponen-komponen sebagai berikut:

1. **Solar Cell (Sel surya)**

Solar cell merupakan komponen aktif (Semikonduktor) yang memanfaatkan efek *foto voltaik* untuk merubah energi surya menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya apabila permukaan *solar cell* dikenai cahaya, maka dihasilkan pasangan *electron* dan *hole*. *Electron* akan meninggalkan *solar cell* kemudian mengalir pada rangkaian luar sehingga timbul arus listrik

2. **Turbin Angin VAWT**

Turbin angin merupakan teknologi energi alternatif yang mampu mengkonversi energi angin menjadi energi listrik. *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)* merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada semua arah angin. *VAWT* mempunyai kelebihan yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah.

3. Pengatur Listrik (*Controller*)

Pengatur listrik terdiri dari komponen seperti *inverter*, penstabil tegangan, dan kontroler. *Inverter* adalah sebuah rangkaian elektronika yang digunakan untuk mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Prinsip kerja dari sebuah *inverter* adalah menggabungkan sebuah rangkaian *multivibrator* yang dihubungkan dengan sebuah transformator penaik tegangan (*Step up*).

4. Pompa Sumersible

Pompa celup (*submersible pump*) adalah jenis pompa yang yang di rancang bekerja di dalam air atau cairan. Cara kerjanya mendorong sumber air ke permukaan berkat adanya perangkat *Impeller* yang memutar di dalam casing. Putaran tersebut dihasilkan oleh motor listrik yang berada didalam mesin. Pompa ini banyak digunakan pada sistem drainase, sumur bor, irigasi pertanian, dan kolam perikanan (Amsari,2019).

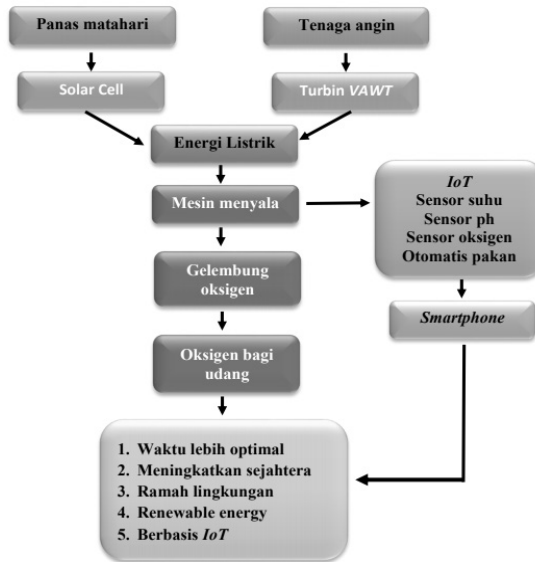
5. Mikrokontroler NodeMCU

NodeMCU merupakan salah satu bagian dari keluarga ESP8266 yang sudah dilengkapi dengan minimum system serta usb uart yang memudahkan kita untuk menggunakan dan memasukan program pada modul tersebut. Dengan beragam kelebihan tersebut membuat modul ini sangat cocok untuk kalian pilih sebagai mikrokontroler system IoT (Internet of Thing) tanpa ribet memasangkan usb uart ke perangkat modul ESP8266 tersebut (Rahmat, 2020).

6. *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah konsep di mana suatu objek yang memiliki kemampuan untuk mentransfer data melalui jaringan tanpa memerlukan adanya interaksi dari manusia ke manusia atau dari manusia ke komputer (Burange & Misalkar, 2015). *Internet of Things* (IoT) menggunakan beberapa teknologi yang secara garis besar digabungkan menjadi satu kesatuan, diantaranya sensor sebagai pembaca data, koneksi internet dengan bebarapa macam topologi jaringan, *Radio Frequency Identification* (RFID), *wireless sensor network* dan teknologi yang terus akan bertambah sesuai dengan kebutuhan (C. Wang et al., 2013).

Berikut adalah skema kerja dari *Hy-Tech* :



Gambar 2. Skema Kerja Hy-Tech

1. *Hy-Tech* ber-penggerak tenaga listrik yang di dihasilkan dari energi *Hybrid* yaitu *Solar cell* yang memanfaatkan panas matahari dan Turbin VAWT dengan tenaga angin.
2. Setelah *Hy-Tech* mendapat energi listrik, maka mesin akan menyala. Pada saat mesin pompa submersibel menyala maka sensor suhu, sensor pH, dan sensor kadar oksigen akan berkerja.
3. Sistem vakum akan bekerja untuk menghasilkan oksigen (gelembung) dengan cara kerja yaitu air keluar dari pompa air submersible dan masuk ke sistem vakum. Pada ruang vakum 1, air bercampur dengan udara karena adanya gaya vakum, sedangkan ruang vakum 2 juga terjadi gaya vakum yang menghisap udara. Setelah itu, oksigen (gelembung) muncul lebih banyak karena melewati 2 sistem vakum yang nantinya dimanfaatkan sebagai penyuplai oksigen bagi ikan.
4. Hasil dari sensor suhu, sensor pH, dan sensor kadar oksigen (nomor 2) dapat di baca melalui *smartphone* untuk mengetahui kualitas air

dan pembudidaya dapat memantau jika ada masalah pada *Hy-Tech* dengan mudah serta lebih efisien.



Gambar 3. Aplikasi Hy-Tech

Keunggulan *Hy-Tech* sebagai penyuplai oksigen untuk budi daya udang, antara lain:

1. Tidak menimbulkan polusi dan merupakan energi alternatif yang ramah lingkungan.
2. Energi terbarukan (*Renewable Energy*).
3. Sistem berbasis *Internet Of Things (IoT)*
4. Cara perawatan dan penggunaan alat yang mudah karena berbasis *controller* yang hanya membutuhkan satu orang operator.
5. Waktu yang lebih optimal dan dapat digunakan dalam waktu lama karena tidak mengalami *over head*.
6. Harga mesin yang lebih terjangkau untuk para pembudidaya dan kalangan pengusaha skala UMKM (Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah).

Inovasi pemanfaatan energi surya dan energi angin pada *Hy-Tech* aerator ini dapat diterapkan dengan memasang panel surya pada kolam budi daya tambak untuk menyerap energi panas matahari. Sedangkan

turbin angin VAWT tipe *Squirrel Cage Darieus* yang digunakan untuk memanfaatkan energi angin. Rancangan ini dapat dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak aerator tambak udang dan unit penerangan. *Hy-Tech* merupakan solusi teknologi ramah lingkungan untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan mengatasi krisis BBM dalam budi daya udang. Selain itu, *Hy-Tech* terintegrasi dengan *Internet Of Things (IoT)* di *Smartphone* ini diharapkan lebih memudahkan para pembudidaya untuk mengontrol kondisi tambak dengan praktis. Efektivitas tersebut membuat produktivitas budi daya udang meningkat sehingga pendapatan dengan sistem intensif lebih tinggi untuk menaikkan kesejahteraan para pembudidaya guna mendorong revolusi Industri 4.0.

Langkah strategis untuk merealisasikan *Hy-Tech (Smart Fishery Technology)* ini, dibutuhkan kerjasama dari berbagai pihak. Dimulai dari penulis yang melakukan penelitian lanjutan supaya ide yang dibuat dapat menjadi teknologi alternatif pada budi daya udang. Selanjutnya, diperlukan dukungan dari pihak pemerintah untuk meningkatkan kinerjanya dalam membantu menciptakan teknologi alternatif ini sebagai solusi mengurangi pencemaran lingkungan dan mengatasi krisis energi.

DAFTAR PUSTAKA

- Amsari, I. 2019. Analisa Unjuk Kerja Pompa Submersible Kapasitas 100 L/Detik Head 18 M Putaran 1500 RPM dengan Menggunakan Metode Reliability Centered Maintenance. <http://repositori.usu.ac.id/handle/123456789/160> 15. Diakses tanggal 15 April 2021.
- Andi, R. Dkk. 2013. Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius Dengan Integrasi Obstacle Untuk Memperoleh Daya Maksimum. *Jurnal Teknik Pomits*, 1(1):Pp. 1-7.
- Burange, A. W., & Misalkar, H. D. (2015). "Review of Internet of Things in Development of Smart Cities with Data Management & Privacy" in *Computer Engineering and Applications (ICACEA)*, 2015 *International Conference on Advances in*, pp. 189-195.
- Dahuri, R. (2013) *Keanekaragaman Hayati Laut: Aset Pembangunan Berkelanjutan Indonesia*. Gramedia. Jakarta.

- Efendi, Y. 2018. Internet Of Things (IOT) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry PI Berbasis Mobile. *Jurnal Ilmiah Komputer*, 4(1): pp. 19-26.
- Marnoto, Tjukup. 2010. *Peranan Kincir Angin Axis Vertikal Tipe Baru untuk Generator Listrik Tenaga Angin. Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumberdaya Alam Indonesia*. Jurusan Teknik Kimia, UPNV Yogyakarta.
- Rahmat, A. 2020. <https://kelasrobot.com/apa-itu-nodemcu-esp8266-bagaimanacara-pakenya/>, Diakses tanggal 15 April 2021.
- Sahrijanna, Andi., Sahabbudin. 2014. *Kajian Kualitas Air Pada Budi daya Vename (Litopenaeus vannamei) dengan Sistem Pergiliran Pakan di Tambak Intensif*. Prosiding Forum Inovasi Teknologi Akuakultur 2014.
- Salmin. 2015. *Oksigen Terlarut (DO) dan Kebutuhan Oksigen Biologi (BOD) sebagai Salah Satu Indikator untuk Menentukan Kualitas Perairan*. *Oseana*, 30(3):pp. 21-26.
- Suherman, Y. 2018. Cara Kerja Motor Controller. <https://Showroommobil.Co.Id/Info-Mobil/Cara-Kerja-Motor-ControllerPada-Mobil-Listrik-Dan-Fungsinya/>. Diakses tanggal 14 April 2021.
- Wang, C., Daneshmand, M., Dohler, M., Mao, X., Hu, R. Q., & Wang, H. (2013). *Guest Editorial - Special issue on internet of things (IoT): Architecture, protocols and services*. *IEEE Sensors Journal*, 13 (10):pp. 3505–3508.
- Widyanto, S. W. dkk. 2018. Pemanfaatan Tenaga Angin Sebagai Pelapis Energi Surya Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Di Pulau Wangi-Wangi. *Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi*, Jakarta: 17 Oktober 2018. pp. 1-12



Artikel 7

Implementasi Inovasi Teknologi Micro Submersible Hydro Power Plant guna Mewujudkan Kemandirian Energi Listrik Pedesaan Berwawasan Lingkungan

Marcellinus Gonzaga

(Universitas Proklamasi 45, Yogyakarta)

Dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) 2017, Pemerintah Indonesia menargetkan percepatan pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT) dengan porsi pembauran paling sedikit sebesar 23% di tahun 2025 dan 31% di tahun 2050. Langkah tersebut menjadi dasar kepedulian pemerintah dalam upaya menciptakan pembangunan berkelanjutan berwawasan lingkungan sesuai dengan agenda global *Sustainable Development Goals* (SDGs) nomor 7 yang berisikan dorongan penggunaan energi bersih. Pembangunan berkelanjutan berwawasan lingkungan khususnya pada sektor penyediaan energi merupakan upaya pencapaian prinsip “memenuhi kebutuhan sekarang tanpa mengorbankan pemenuhan kebutuhan generasi masa depan” (Brundtland Report UN, 1987). Prinsip tersebut sangat perlu diterapkan mengingat besarnya dampak buruk terhadap lingkungan yang dihasilkan dari sektor penggunaan dan penyediaan energi nasional. Di tahun 2017, Indonesia tercatat telah menyumbang 484MtCO₂ dari sektor energi, dimana penyumbang terbesar berasal dari aktivitas pembangkit listrik konvensional sebesar 36% (Climate Transparency, 2018). Di sisi lain, hingga di tahun 2018 Indonesia masih memiliki sebanyak 2.281 desa yang sama sekali belum mendapatkan akses listrik (Badan Pusat Statistik, 2019). Sebagai negara kepulauan, kondisi geografis Indonesia menjadi tantangan tersendiri dalam upaya menyediakan saluran dan jaringan listrik yang dapat dengan mudah diakses oleh masyarakat pedesaan.

Program kelistrikan desa lepas jaringan (*off-grid*) yang didorong oleh Peraturan Menteri ESDM no. 38/2016, melalui pemanfaatan potensi EBT daerah dengan mekanisme pembangkit tersebar merupakan solusi yang dapat dilakukan untuk menghadirkan akses listrik yang layak kepada masyarakat pedesaan (IESR, 2019). Pemanfaatan potensi EBT daerah dapat dilakukan sebagai upaya mewujudkan kemandirian energi listrik pedesaan berwawasan lingkungan.

Sebagai negara agraris, Indonesia perlu memiliki sistem irigasi yang baik. Tidak hanya sebagai sarana distribusi air untuk keperluan sektor pertanian, sistem irigasi juga memiliki potensi besar dalam menghasilkan listrik yang ramah lingkungan. Indonesia memiliki potensi energi hidro atau air sebesar 75.091MW yang dapat dimanfaatkan melalui PLTA, dan sebesar 19.385MW yang dapat dimanfaatkan melalui PLTM dan PLTMH (DEN, 2017). Namun hingga di tahun 2017, potensi air tersebut baru dimanfaatkan sebesar 6,4% atau setara 4.826,7MW untuk PLTA, dan sebesar 1% atau setara 197,4MW untuk PLTM dan PLTMH (IESR, 2017). Implementasi inovasi teknologi *micro submersible hydro power plant* yang memanfaatkan potensi EBT berupa aliran air pada sistem irigasi daerah pedesaan untuk menghasilkan listrik secara mandiri, merupakan langkah yang tepat khususnya sebagai upaya dalam meningkatkan produktivitas masyarakat desa melalui penyediaan akses listrik. Dengan menghadirkan inovasi teknologi *micro submersible hydro power plant* sebagai PLTMH, sistem irigasi daerah pedesaan baik berupa sistem irigasi buatan maupun sistem irigasi alami akan mengalami peningkatan nilai guna. Sistem irigasi yang semula berperan sebagai sarana pemenuhan kebutuhan air pada sektor pertanian, kini dapat pula berperan sebagai sektor produktif dalam menghasilkan listrik untuk keperluan masyarakat desa.

Micro submersible hydro power plant merupakan pembangkit listrik skala mikro yang bekerja dengan memanfaatkan energi kinetik air pada sistem irigasi untuk memproduksi listrik. *Micro submersible hydro power plant* bekerja dengan cara ditenggelamkan dalam air sehingga aliran air akan memutar kincir yang selanjutnya diteruskan menuju generator *submersible* untuk mengonversi gerak mekanis dari kincir tersebut

menjadi energi listrik. Tujuan penenggelaman unit *micro submersible hydro power plant* pada sistem irigasi selain guna mengonversi energi kinetik aliran air, juga dilakukan dengan tujuan untuk meredam kebisingan akibat kerja generator sehingga dapat diterapkan pada daerah potensi yang relatif berdekatan dengan pemukiman warga, serta untuk meminimalisasi kemungkinan kerusakan generator akibat *overheat* setelah beroperasi secara konstan pada durasi yang panjang.

Micro submersible hydro power plant tersedia pada ukuran yang relatif kecil dengan bentuk konstruksi menyerupai balok berdimensi 50cm × 75cm × 50cm dan dengan diameter kincir 35cm. Material dasar berupa kombinasi baja ringan dan *stainless steel* merupakan bahan utama dari kerangka konstruksi *micro submersible hydro power plant* sehingga mudah didapatkan dan tersedia dalam rentang harga yang terjangkau. Ukuran konstruksi yang relatif kecil dan dapat diangkat oleh satu orang dewasa memberikan keuntungan berupa kemudahan pada tahap instalasi. Proses instalasi *micro submersible hydro power plant* dapat dilakukan tanpa harus menghentikan aliran atau memasang fondasi permanen pada sistem irigasi terlebih dahulu. Sebagaimana ditunjukkan oleh ilustrasi implementasi pada bagian lampiran, unit *micro submersible hydro power plant* dapat dihubungkan menggunakan rantai ataupun kawat khusus pada jembatan maupun bangunan yang cukup kokoh di sekitar sistem irigasi untuk menempatkan unit pada posisi yang diinginkan serta setiap unit dilengkapi dengan mekanisme kait untuk menghubungkan satu unit dengan unit yang lain. Untuk menghindari kerusakan akibat tersumbat oleh benda yang ikut hanyut ke dalam aliran air, maka digunakan metode preventif dengan memasang *screen* atau saringan berukuran lubang 1cm × 1cm pada bagian depan unit *micro submersible hydro power plant*.

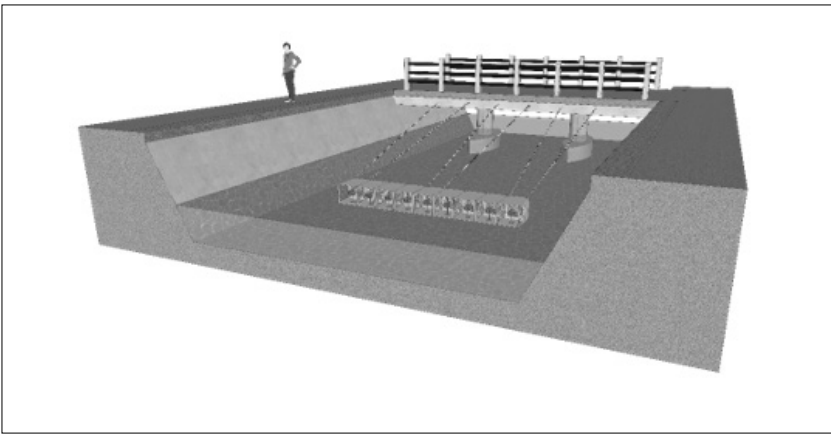
Daya listrik yang dihasilkan oleh satu unit *micro submersible hydro power plant* bergantung pada kecepatan aliran air pada sistem irigasi. Daerah potensial dengan sistem irigasi yang memadai berdasarkan hasil observasi yang telah dilakukan, serta mampu menjadi daerah percontohan untuk pelaksanaan proyek implementasi perdana terletak di Kalisonggo, Kecamatan Girimulyo, Kabupaten Kulon Progo,

Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Kalisonggo memiliki sistem irigasi untuk keperluan perairan sawah warga dengan ketersediaan aliran air sepanjang tahun. Rata-rata ketinggian permukaan air pada musim penghujan adalah 1,85m dan pada musim kemarau adalah 0,93m masing-masing diukur dari dasar sungai pada zona yang telah dipilih sebagai lokasi implementasi unit *micro submersible hydro power plant*. Kecepatan aliran air yang tersedia pada Kalisonggo berdasarkan hasil observasi menggunakan metode *floating* adalah 1,75m/s. Dengan menggunakan turunan rumus energi kinetik maka dapat dilakukan kalkulasi estimasi *output* daya listrik yang dihasilkan oleh satu unit *micro submersible hydro power plant* yaitu 205,6Watt. Selanjutnya hasil daya tersebut dapat dikalikan sesuai dengan jumlah unit yang akan diimplementasikan. Pada rencana implementasi perdana di daerah Kalisonggo, akan dilakukan pemasangan 9unit *micro submersible hydro power plant* yang dihubungkan dengan jembatan penghubung antar desa. Seluruh unit yang akan diimplementasikan pada daerah tersebut nantinya mampu memproduksi listrik secara konstan dengan kapasitas daya 1.850,7Watt. Jenis arus dan mekanisme distribusi hasil produksi listrik *micro submersible hydro power plant* dapat disesuaikan dengan kondisi geografis daerah target. Pada daerah pedesaan dengan sistem irigasi yang berlokasi jauh dari pusat beban maupun pada desa dengan pemukiman warga yang tersebar, maka generator dengan *output* DC dapat diterapkan untuk pengisian daya baterai sehingga memudahkan proses pendistribusian produksi listrik. Sementara untuk desa dengan sistem irigasi berdekatan dengan pusat beban serta pemukiman warga terpusat pada suatu lokasi, maka generator dengan jenis AC dapat diterapkan sehingga hasil produksi listrik dapat dihubungkan langsung dengan rumah pengguna.

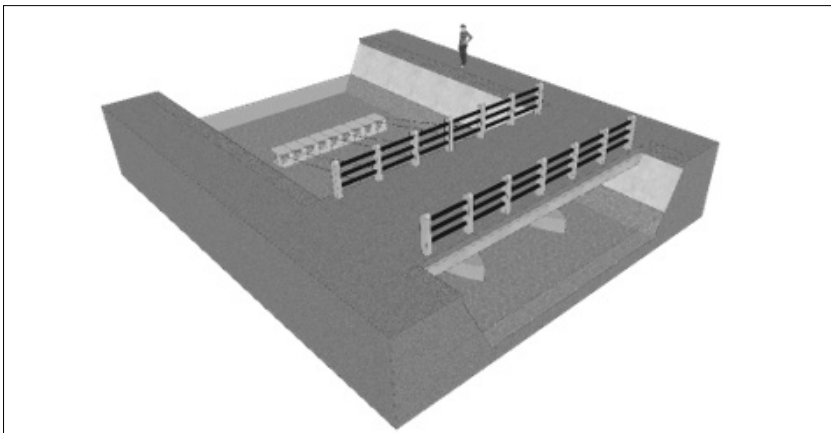
Keuntungan penerapan PLTMH secara umum untuk pemenuhan kebutuhan listrik masyarakat pedesaan terletak pada aspek kemudahan perawatan dan rendahnya biaya operasional sehingga masyarakat desa dapat secara aktif dan mandiri terlibat dalam proses pengelolaan PLTMH. *Micro submersible hydro power plant* menawarkan hal serupa. Pada tahap perencanaan hingga tahap operasi, masyarakat desa dapat

terlibat untuk mempersiapkan dan mendukung pelaksanaan proyek implementasi inovasi teknologi *micro submersible hydro power plant* sebagai upaya mewujudkan kemandirian energi listrik pedesaan yang berwawasan lingkungan melalui pemanfaatan potensi EBT lokal guna meningkatkan produktivitas masyarakat desa.

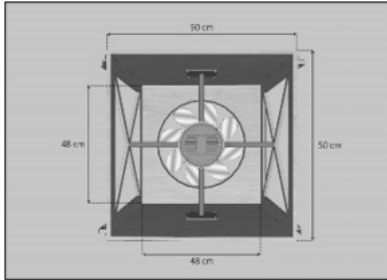
Lampiran – Ilustrasi Implementasi dan Desain *Micro Submersible Hydro Power Plant*



Gambar 1. Ilustrasi Implementasi pada Daerah Potensi Kalisonggo (Tampak Samping)

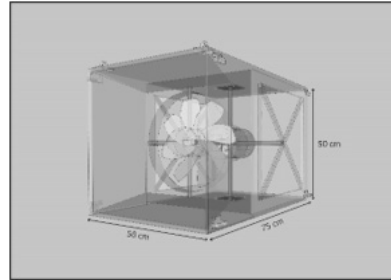


Gambar 2. Ilustrasi Implementasi pada Daerah Potensi Kalisonggo (Tampak Atas)



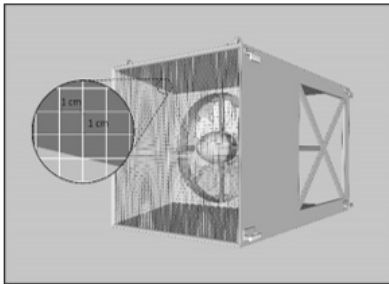
Gambar 6.

Desain *Micro Submersible Hydro Power Plant* (Tampak Belakang)



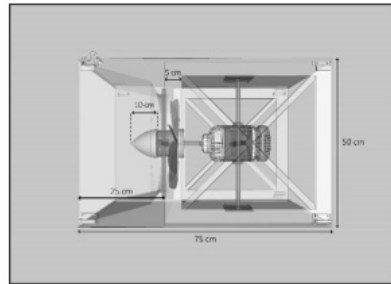
Gambar 9.

Desain *Micro Submersible Hydro Power Plant* Tembus Pandang (Tampak Depan)



Gambar 8.

Desain *Micro Submersible Hydro Power Plant* (Dengan Screen/Saringan)



Gambar 10.

Desain *Micro Submersible Hydro Power Plant* Tembus Pandang (Tampak Samping)

Daftar Pustaka

- Brundtland Report UN. 1987. *Our Common Future*. New York: United Nation. Diunduh melalui http://www.unece.org/fileadmin/DAM/ie/se/pp/EnCom15/28Nov/SustDev/HELD_SustDev_UNECE_EnComm15_2006_c.pdf.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2019. *Rasio Elektrifikasi*. Jakarta: BPS.
- Climate Transparency. 2018. *Brown to Green: Transisi G20 Menuju Ekonomi Rendah Karbon*. [Daring]. Diunduh melalui <http://iesr.or.id/pustaka/brown-to-green-transisi-g20-menuju-ekonomi-rendah-karbon/>.

- Institute for Essential Services Reform (IESR). 2017. *Energi Terbaru: Energi untuk Kini dan Nanti*. [Daring]: IESR. Diunduh melalui <http://iesr.or.id/pustaka/seri10p-energi-kini-dan-nanti/>.
- Institute for Essential Services Reform (IESR). 2019. *Akses Energi yang Berkelanjutan untuk Masyarakat Desa: Status, Tantangan, dan Peluang*. Jakarta: IESR. Diakses pada 27 Juli 2020 pukul 12.47 WIB, melalui <http://iesr.or.id/wp-content/uploads/2019/05/Proceeding-PE-11.pdf>.
- Kementerian Desa, Pembangunan Daerah Tertinggal, dan Transmigrasi (KDPDPTT). 2016. *Buku Teknis Membangun Sarana dan Prasarana Elektrifikasi Desa*. Jakarta: KDPDPTT. Diunduh melalui [https://kedesa.id/id_ID/repository/buku-teknis-membangun-sarana-dan-prasarana-elektifikasi-desa/](https://kedesa.id/id_ID/repository/buku-teknis-membangun-sarana-dan-prasarana-elektifikasi-des/).
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM). 2016. *Prakiraan Penyediaan dan Pemanfaatan Energi Skenario Optimalisasi EBT Daerah*. [Daring]: Kementerian ESDM. Diunduh melalui <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-skenario-penyediaan-dan-pemanfaatan-energi-skenario-optimalisasi-ebt-daerah-.pdf>.
- Sekretariat Jenderal Dewan Energi Nasional (DEN). 2017. *Outlook Energi Indonesia 2017*. [Daring]. Diunduh melalui <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-outlook-energi-indonesia-2017-bahasa-indonesia-.pdf>.



Artikel 8

**“Air Pollution Filter Treatment”
Optimalisasi Pembangkit Listrik
Tenaga Sampah dan Penekan Polusi
Udara Perkotaan
(Studi PLTSa Sunter Menjadi Pusat
Elektifikasi Penyertaan PLTB)**

Ismail Marosy

Universitas Pertamina, Jakarta

Latar Belakang

Setiap negara di dunia ini tentunya berlomba-lomba untuk memajukan negaranya, baik dari segi industrial, perekonomian, maupun teknologi. Tak heran jika Indonesia juga ikut mengerahkan semua potensi untuk memodernisasikan wilayahnya menjadi suatu perkotaan maju. Namun, dibalik majunya suatu perkotaan ternyata terdapat permasalahan yang ditimbulkan olehnya, yaitu polusi. Polusi yang paling dirasakan oleh masyarakat perkotaan adalah polusi udara dan sampah yang menggunung. Untuk saat ini, permasalahan dari sampah yang menggunung sudah dicoba untuk diatasi dengan pembatasan penggunaan kantong plastik saat berbelanja¹. Namun, upaya ini belumlah efektif karena plastik sesungguhnya sulit untuk kita tinggalkan penggunaannya. Cukup banyak barang-barang yang diedarkan menggunakan plastik dalam bentuk lainnya sebagai pembungkus karena fokus perhatian yang kurang tajam. Alhasil, banyak upaya lain yang mulai diupayakan yaitu pembangkit listrik tenaga sampah. Salah satu proyek nyatanya adalah PLTSa Sunter, berlokasi di utara Jakarta atau dekat dengan daerah pantai. Langkah ini memberikan dampak yang cukup signifikan terhadap pembangkitan listrik untuk rakyat, namun lagi-lagi dampak lingkungan dipertanyakan

¹Rizky dwitaputri. Pembatasan Penggunaan Plastik - Kompasiana.com. KOMPASIANA. Published February 6, 2020. Accessed April 22, 2021. <https://www.kompasiana.com/rizkydwitaputri/5e3c2abe097f361c7851f562/pembatasan-penggunaan-plastik>

karena berpotensi menghasilkan emisi udara berbahaya yang memicu penyakit kanker, layaknya efek negatif dari perokok. Hal ini cukup sama jika kita kaitkan dengan pembangunan pabrik ataupun penggunaan kendaraan transportasi jalan raya yang menghasilkan polusi udara dan berbahaya untuk manusia.

Maka, Indonesia membutuhkan rekayasa sistem alat yang mampu mengatasi permasalahan tersebut. Tidak diperlukan langkah pemberhentian pembangkit listrik tenaga sampah karena langkah ini sudah tepat untuk memanfaatkan potensi yang ada guna mencapai *sustain renewable energy*. Yang dibutuhkan adalah sistem filter udara dari hasil pembakaran sampah setelah menggerakkan generator. Hal ini juga akan semakin bermanfaat dengan pemasangan baling penghisap udara lingkungan menuju ruang generator pembangkit listrik sehingga listrik yang dihasilkan lebih optimal dan udara bisa difilter untuk dilepaskan kembali ke lingkungan dalam bentuk oksigen yang lebih segar untuk dihirup. *Air Pollution Filter Treatment* adalah solusinya. Proses pemfilteran haruslah dilakukan dengan proses penekanan dengan penekanan yang cukup tinggi sekitar 30 menit guna memilah jenis udara kotor ataupun abu hasil pembakaran agar bisa terseleksi dan lebih aman untuk dilepaskan ke udara bebas. Udara yang dibebaskan ini memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai tambahan pembangkit listrik bertenaga angin (PLTB). Dengan kemampuan alat *Air Pollution Filter Treatment* yang mampu menghisap dan mengatur kecepatan aliran angin yang bergerak dapat membuat angin dapat bergerak cepat pada radius terdekat dengan alat *treatment* ini. Angin yang diatur cukup kencang bisa menggerakkan kincir angin. Kincir angin diposisikan cukup dekat dengan PLTSa dan secara strategis berada pada wilayah aliran angin hembusan pantai.

Pembangkit Listrik Tenaga Sampah

Secara umum, proses elektrifikasi tenaga ini diperoleh dengan menggunakan hasil pembakaran sampah yang sudah kering pada suhu sekitar 850°C - 900 °C. Pembakaran ini akan mendidihkan air yang sudah disiapkan pada ruang pembakaran. Uap yang dihasilkan akan

diarahkan menuju ruang penggerak generator untuk menghasilkan potensial listrik hingga akhirnya disimpan pada kapasitor. Lalu, abu hasilnya akan dilepaskan ke alam setelah di filter².

Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Secara umum, proses elektrifikasi tenaga ini diperoleh dengan memutarakan generator pada kotak khusus yang menopang baling-baling sebelum nantinya akan di alirkan melalui kabel menuju dalam tower agar diproses pada kapasitor dan generator tambahan lain. *Blades* pada kincir angin akan berputar dan menggerakkan generator sehingga terdapat potensial listrik³.

Polusi Udara

Secara umum, udara diperkotaan rentan akan adanya partikel CO hingga SO₂. Hal ini banyak disebabkan oleh asap kendaraan yang berlalu lalang setiap harinya, ditambah juga dengan sebagian pabrik ataupun proyek yang menghasilkan polusi udara. Hal ini dibuktikan dengan indeks kualitas udara yang cukup buruk terlepas dari saat pandemik. Kondisi Pandemi akan segera berakhir walaupun belum ada kapan pastinya, namun langkah antisipasinya harus dipikirkan dari saat ini agar bisa dipersiapkan ke depannya⁴. Hal ini harus semakin dipertimbangkan karena Indonesia akan segera melakukan masa peralihan menjadi kondisi yang lebih menuju normal seperti sebelum pandemik, terutama dalam pemenuhan kebutuhan sandang pangan dan aktivitas perkantoran.

2 Dayat. Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSa. Academia.edu. Published 2014. Accessed April 22, 2021. https://www.academia.edu/8415858/Pembangkit_Listrik_Tenaga_Sampah_PLTSa#:~:text=Pembangkit%20listrik%20tenaga%20sampah%20yang%20banyak%20digunakan%20saat,bertekanan%20tinggi.%20Uap%20dari%20boiler%20langsung%20ke%20turbin.

3 Nibras Nada Nailufar. (2020, September 23). Komponen dan Cara Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Angin. KOMPAS.com; Kompas.com. <https://www.kompas.com/skola/read/2020/09/23/085500569/komponen-dan-cara-kerja-pembangkit-listrik-tenaga-angin>

4 Holy Kartika Nurwigati Sumartiningtyas. Polusi Udara Jakarta 20 Tahun Terakhir Turun Drastis berkat PSBB, Kok Bisa? Halaman all - Kompas.com. KOMPAS.com. Published February 19, 2021. Accessed April 22, 2021. <https://www.kompas.com/sains/read/2021/02/19/120700623/polusi-udara-jakarta-20-tahun-terakhir-turun-drastis-berkat-psbb-kok-bisa?page=all>

Inovasi Air Pollution Filter Treatment

Air Pollution Filter Treatment adalah suatu alat yang akan ditambahkan pada komponen PLTSa untuk menyaring abu hasil pembakaran yang masih besar dan tidak seharusnya dilepaskan ke udara bebas. Bukan hanya abu hasil pembakaran, tapi juga ditujukan kepada filterisasi partikel berbahaya lain dari lingkungan seperti CO, dengan proses awal yaitu penghisapan totalitas udara pada lingkungan secara berkala dengan daya hisap tertentu dan setara dengan kecepatan yang akan dialirkan ke ruang penggerak generator pembangkit listrik. Penambahan rekayasa alat ini dapat meningkatkan nilai fungsi PLTSa dengan membuka potensi dibangunnya juga PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu). *Air Pollution Filter Treatment* digunakan dengan mekanisme kipas. Kipas ini diletakkan pada beberapa titik corong agar dapat di desain menghisap, mengeluarkan, dan mengarahkan angin. Momentum perputaran pada titik terluar corong akan berputar kencang diikuti dengan ditambakkannya baling-baling pada tepi atas corong agar udara bisa berhembus optimal menuju kincir angin PLTB agar bisa menghasilkan listrik tahap 2.

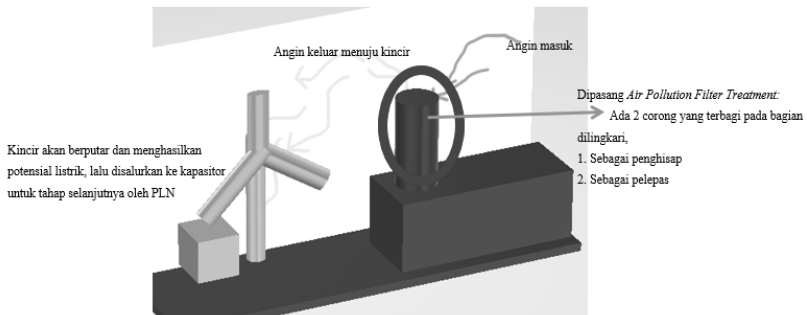
Kesimpulan

Dengan adanya inovasi ini diharapkan dapat dijadikan *ro-model* inovasi daerah mandiri energi berbasis EBT dengan melihat potensi daerah Jakarta, khususnya pada daerah Sunter yang memang memiliki potensi sampah yang cukup banyak, serta berada di sekita permukiman dan daerah pantai sehingga kondisi angin dan udara disana dikatakan optimal untuk diberdayakan lebih lanjut sebagai tahapan pembangkit listrik. Inovasi ini bahkan akan meningkatkan kapasitas listrik yang awal targetnya sekita 30 MW saja menjadi 2 hingga beberapa kali kelipatannya, tergantung jumlah kincir angin PLTB yang dibangun di daerah tersebut. Bahkan, hal ini bisa dipergunakan untuk memberikan cadangan energi listrik di beberapa daerah minim listrik, seperti daerah Kepulauan Seribu yang disalurkan dalam bentuk *genset*. Sehingga, inovasi ini sangat optimal dan efektif untuk dikembangkan dan dipelajari lebih lanjut ke depannya.

Tambahan Info :



Lampiran 1. Gambar penampak strategis PLTSa Sunter



Lampiran 2. Gambar desain sederhana PLTSa yang bersanding dengan PLTB



Artikel 9

Akselerasi Penyediaan Energi Bersih Melalui Pembentukan Badan Pengelola Energi Terbarukan di Indonesia

Robi Ginting

(Research Assistant at Center for Energy Studies, Universitas Gadjah Mada – UGM)

A. Komitmen Penyediaan Energi Bersih oleh Pemerintah di Era Krisis Iklim

Netralitas emisi karbon (*net-zero*) bukan suatu utopia bagi sektor energi Indonesia. Sebagai salah satu negara di dunia dengan pertumbuhan permintaan energi yang pesat, proyeksi pemenuhan energi bersih di Indonesia sangat didukung dengan pembangunan ekonomi yang kuat, potensi sumber daya alam, dan progresivitas infrastruktur yang stabil.¹ Outlook Energi Indonesia 2019, memproyeksikan rata-rata pertumbuhan tahunan permintaan energi Indonesia hingga tahun 2050 mencapai 4,3% pada skenario rendah karbon.² Oleh sebab itu pemanfaatan sumber daya energi baru terbarukan (EBT) dinilai sebagai suatu langkah strategis bagi program transisi energi di Indonesia.

Desain kebijakan energi Indonesia juga telah menargetkan peningkatan penggunaan EBT secara bertahap di masa mendatang. Kebijakan Energi Nasional (Peraturan Presiden No. 79 Tahun 2014) mengamanatkan setidaknya pemanfaatan EBT pada tahun 2025 mencapai 23% dari bauran energi primer dan meningkat menjadi 31% pada tahun 2050. Selanjutnya, Rencana Umum Energi Nasional

1 Apabila dimanfaatkan secara keseluruhan, sumber daya EBT di Indonesia mampu menghasilkan lebih dari 443 GW listrik. IRENA, 2017, *Renewable Energy Prospects: Indonesia, a REmap Analysis*, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, hlm. 1.

2 Dewan Energi Nasional, 2020, *Outlook Energi Indonesia 2019*, Dewa Energi Nasional, Jakarta, hlm. 21.

(Perpres No. 22/2017) juga menargetkan pemanfaatan EBT yang sama yakni bauran EBT sebesar 23% pada tahun 2025. Selain itu pemerintah tengah mendesain kebijakan pembentukan pasar EBT melalui program *renewable energy base industry development* (Rebid) dan *renewable energy base on economic development* (Rebed) yang berfokus pada kawasan industri, Kawasan Ekonomi Khusus (KEK), dan daerah terpencil.³

Pemanfaatan EBT juga mendukung komitmen Indonesia dalam mempromosikan pembangunan rendah karbon. Indonesia melalui *Nationally Determined Contribution* (NDC) telah menetapkan target pengurangan emisi Gas Rumah Kaca di Indonesia, yakni sebesar 29% tanpa syarat (dengan usaha sendiri) dan 41% bersyarat (dengan dukungan internasional yang memadai) pada tahun 2030.⁴ Pada COP 24, Indonesia juga menjadi salah satu dari 52 negara yang berkomitmen untuk menerapkan *Silesia Declaration* yang menjadi kebijakan utama dalam proses transisi energi yang efektif dan inklusif menuju pembangunan rendah karbon.⁵ Implementasi EBT pada tahun 2020 ternyata telah berhasil menyumbang porsi 53% dari keseluruhan besaran realisasi penurunan emisi Indonesia yang mencapai 64,4 juta ton CO₂.⁶

Sementara pada skala global, kampanye penggunaan EBT telah diadopsi beberapa negara sebagai bagian agenda pemulihan pasca pandemi Covid-19.⁷ Kehadiran pandemi Covid-19 dinilai sebagai *game changer* bagi transisi energi di dunia terutama dengan adanya penurunan signifikan permintaan atas minyak rata-rata sebesar 9% yang setara dengan konsumsi minyak pada tahun 2012.⁸ Atas dasar tersebut, beberapa negara termasuk Indonesia mulai menetapkan target

3 Ministry of Energy and Mineral Resources Republic of Indonesia Press Release Number: 299. Pers/04/SJI/2020 Date: 10 October 2020 Indonesia to Expand Market for Renewables.

4 Undang-Undang Nomor 16 tahun 2016 Tentang Pengesahan Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa Mengenai Perubahan Iklim).

5 Laporan Delegasi Republic Indonesia pada NDC

6 Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021, Capaian Kinerja 2020 dan Program 2021, hlm. 19.

7 IRENA, 2020, Call to Action in Response to COVID-19: Renewable Energy is a Key Part of the Solution, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Coalition-for-Action/Publication/IRENA_Coalition_COVID-19_response.pdf, diakses 10 Januari 2021.

8 IEA, 2020, Global Energy Review 2020, <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>, diakses 10 Januari 2021.

ambisius dengan memberikan ruang kebijakan yang memungkinkan akselerasi investasi EBT.⁹

B. Mengejar Target Investasi EBT Dengan Mengurai Permasalahan Regulasi

Nilai Investasi sektor EBT di Indonesia pada tahun 2020 meningkat hingga USD 1.4 miliar dibandingkan tahun 2019 yang mencapai nilai USD 1.17 miliar.¹⁰ Peningkatan nilai investasi ini sejalan dengan pertumbuhan pangsa pasar EBT sebesar 2% dibandingkan pada tahun 2017.¹¹ Realisasi penambahan kapasitas pembangkit listrik dari EBT hingga tahun 2020 mencapai 10.467 MW. Sejak Januari tahun 2020 pemerintah juga telah mengimplementasikan penggunaan B30 dengan realisasi pemanfaatan biodiesel sepanjang tahun 2020 tercatat sebesar 8,46 juta Kilo Liter. Pemanfaatan B30 sepanjang 2020 ini setara dengan penghematan devisa sebesar Rp38,31 triliun (USD2,66 miliar).¹²

Kendati EBT mengalami perkembangan di Indonesia, akan tetapi target yang ditetapkan belum terpenuhi. RPJMN 2015-2019 yang menargetkan kapasitas pembangkit EBT sebesar 17 GW hanya mampu terealisasi sebesar 10.17 GW pada tahun 2019. Sementara total investasi dari energi terbarukan pada tahun 2020 baru mencapai USD 1,4 miliar atau sekitar 60% dari target investasi awal sebesar USD 2,3 miliar yang ditetapkan Renstra ESDM.¹³ Berdasarkan aspek regulasi setidaknya dapat diidentifikasi tiga faktor utama yang menghambat perkembangan EBT di Indonesia khususnya sektor investasi skala besar. *Pertama*, harga beli tenaga listrik yang kurang atraktif bagi investor.¹⁴ Saat ini berdasarkan Peraturan Menteri ESDM tentang Pemanfaatan

9 IRENA, 2020, *The post-COVID recovery: An agenda for resilience, development and equality*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, hlm 28.

10 Siaran Pers Nomor: 003.Pers/04/SJI/2021 tanggal 7 Januari 2020 Kinerja Tahun 2020 dan Program 2021 Sektor ESDM.

11 BPPT, *Op. Cit.*, hlm. 27

12 Siaran Pers Nomor: 003.Pers/04/SJI/2021 tanggal 7 Januari 2020 Kinerja Tahun 2020 dan Program 2021 Sektor ESDM.

13 IESR, 2021, *Indonesia Energy Transition Outlook 2021: Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform (IESR), hlm. 45

14 IISD. 2018. *Missing the 23 Per Cent Target: Roadblocks to the development of renewable energy in Indonesia*. <https://www.iisd.org/system/files/publications/roadblocks-indonesia-renewable-energy.pdf>

Sumber Energi Terbarukan untuk Penyediaan Tenaga Listrik (Permen ESDM 4/2020 jo. Permen ESDM 50/2017), harga tertinggi pembelian listrik untuk beberapa jenis pembangkit EBT paling tinggi sebesar 85% dari Biaya Pokok Penyediaan (BPP) Pembangkitan setempat apabila BPP Pembangkitan tersebut lebih tinggi daripada rata-rata BPP Pembangkitan nasional. Kebijakan tersebut lebih berorientasi pada penjaminan harga listrik yang terjangkau, dibandingkan berorientasi pada peningkatan pemanfaatan EBT sehingga tingkat keekonomian proyek EBT sulit dicapai, terutama di wilayah Jawa dan Bali. Hal ini juga diperburuk dengan kurangnya dukungan infrastruktur akses dan jaringan listrik menghambat teknis pengembangan lebih lanjut.¹⁵ Kehadiran utama aturan ini mengakibatkan usaha energi terbarukan menjadi tidak *bankable* bagi pelaku usaha energi terbarukan.¹⁶

Hambatan kedua bagi investasi EBT di Indonesia adalah regulasi mengenai EBT yang sering berganti sehingga menimbulkan ketidakpastian serta risiko bagi investor. Wacana penerapan *feed-in tariff* yang mengemuka pada tahun 2015 sempat memberikan peluang bagi beberapa proyek pengembangan, namun penerapan Permen ESDM 50/2017 yang menentukan penetapan tarif berdasarkan BPP menjadikan proyek tersebut tidak lagi mencapai keekonomiannya. Lenih lanjut ada kasus PLTS, kewajiban pemenuhan Tingkat Kandungan Dalam Negeri (TKDN) menjadikan harga panel surya terlalu tinggi.¹⁷ Padahal, di sisi lain terdapat fasilitas pembebasan bea masuk bagi aktivitas pemanfaatan sumber EBT. Kajian IESR memperkirakan kesulitan pencapaian target ini dikarenakan seringnya terjadi perubahan aturan dan proses bisnis yang inkonsisten. Kedua aspek ini menyebabkan stagnasi terhadap investasi dibidang EBT, kesulitan untuk mendapatkan akses perbankan (*bankability issues*), skema pembayaran yang buruk, alokasi risiko yang tidak seimbang, sulitnya mencapai TKDN, dan permasalahan keekonomian proyek.¹⁸

15 IISD, *Op cit.* hal 7-8

16 HukumOnline, 2018, 2 Regulasi Penghambat Penerapan Energi Baru Terbarukan Versi BPHN, <https://www.hukumonline.com/berita/baca/lt5b5598885bbd0/2-regulasi-penghambat-penerapan-energi-baru-terbarukan-versi-bphn?page=2>

17 *Ibid.* hal 9-10

18 IESR, 2019, *Indonesia Clean Energy Outlook: Tracking Progress and Review of Clean Energy Development in Indonesia*, Institute for Essential Services Reform, Jakarta, hlm. 42.

C. Peluang Pembentukan Badan Pengembangan EBT (BPET) di Indonesia

Indonesia memerlukan payung hukum yang jelas untuk dapat menjamin kepastian regulasi EBT melalui Undang-Undang Energi Baru Terbarukan. Aturan di level Undang-Undang ini diharapkan dapat menjawab permasalahan inkonsistensi regulasi dengan harapan pengembangan EBT di Indonesia mendapat legitimasi yang jelas. Selain itu pelaksanaan undang-undang ini harus didukung dengan badan khusus sebagai regulator EBT di Indonesia yang secara spesifik memiliki kepentingan untuk mengembangkan kebijakan dan investasi EBT di Indonesia.

Keberadaan badan khusus pengelola EBT ini sebenarnya bukan inisiatif baru mengingat beberapa negara di dunia telah menyerahkan sebagian pengelolaan sektor EBT kepada badan atau institusi khusus. Di Australia terdapat *Australian Renewable Energy Agency* (ARENA). Institusi ini merupakan badan independen yang secara khusus dibentuk pemerintah federal Australia untuk fokus pada pengelolaan investasi dan pendanaan proyek EBT.¹⁹ Serupa dengan ARENA, pemerintah India juga membentuk *Indian Renewable Energy Development Agency* (IREDA). Lembaga ini merupakan BUMN dalam bidang *non-banking financial institution* yang bergerak untuk mendanai proyek-proyek EBT di India.²⁰ Selain kedua Lembaga ini juga terdapat *Sustainable Energy Development Agency* (SEDA) di Malaysia, *The Institute for Diversification and Saving of Energy* (IDAE) di Spanyol, dan lainnya.

Berdasarkan pendekatan regulasi, usulan pembentukan BPET sudah mencuat sejak pemerintah mengeluarkan Rencana Umum Energi Nasional (Peraturan Presiden No. 22 Tahun 2017). Peraturan tersebut menyatakan bahwa pembentukan badan usaha khusus EBT yang ditugasi pemerintah untuk mengembangkan, memanfaatkan dan/atau membeli EBT merupakan strategi prioritas dalam mengembangkan EBT. Selain itu beberapa *stakeholder* juga mengutarakan gagasannya terhadap pembentukan BPET di Indonesia. Masyarakat

19 Australian Renewable Energy Agency, <https://arena.gov.au/about/>, diakses 10 Januari 2021.

20 Indian Renewable Energy Development Agency Limited, <https://www.ireda.in/home>, diakses 10 Januari 2021.

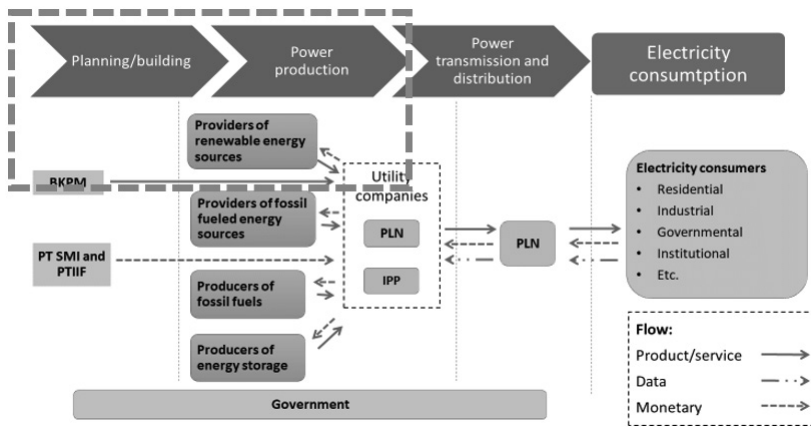
Ketenagalistrikan Indonesia (MKI) menyatakan BPET dibutuhkan terutama untuk efektivitas pengendalian pelaksanaan kegiatan usaha EBT dan mengelola proses transisi EBT.²¹ Sementara Masyarakat Energi Terbarukan Indonesia (METI) secara khusus menjabarkan fungsi utama dibentuknya BPET terutama untuk menyusun strategi implementasi pemanfaatan energi terbarukan dalam rangka mencapai target KEN berdasarkan RUEN, berkoordinasi dengan lembaga atau institusi terkait, mengkoordinasikan perencanaan dan pengadaan energi terbarukan, mempromosikan investasi energi terbarukan serta mengelola dan menetapkan alokasi dana energi terbarukan.²²

Terdapat beberapa aspek yang perlu diperhatikan dalam pembentukan BPET di Indonesia. *pertama*, berkaitan dengan independensi dan transparansi. Selama ini kebijakan EBT di Indonesia sangat bergantung pada beberapa *stakeholder* yang pada dasarnya tidak memiliki kepentingan utama terhadap pengembangan EBT di Indonesia. Desain BPET harus dibuat sebagai lembaga independen yang membantu menyeimbangkan kepentingan pemerintah, badan usaha dan konsumen (PLN) secara bersamaan. Selain itu penting untuk mengutamakan sumber pendanaan untuk mencegah pengaruh yang tidak semestinya. Peningkatan transparansi juga sangat dibutuhkan untuk meningkatkan integritas atas kebijakan atau keputusan yang dikeluarkan BPET.

Kedua berkaitan dengan kewenangan dan posisi kelembagaan, pada dasarnya BPET harus mampu mengkoordinasikan K/L serta memberikan rekomendasi terkait pengembangan proyek dan investasi EBT di Indonesia. Namun tentunya hal ini harus mempertimbangkan persimpangan antara perusahaan dan penyedia energi lain terutama terhadap pemanfaatan energi tidak langsung sektor kelistrikan. Berdasarkan pemetaan yang ada pada Gambar 1, kewenangan BPET mencakup kebijakan terhadap tahap perencanaan dan produksi EBT di Indonesia.

21 <https://www.cnbcindonesia.com/news/20200917152103-4-187563/ruu-ebt-ada-usul-badan-pengelola-energi-terbarukan-dibentuk>

22 <https://www.cnbcindonesia.com/news/20210215190632-4-223532/simak-ini-sederet-masukan-untuk-ruu-energi-baru-terbarukan>



Gambar 1. Rantai Pengelolaan Sistem Energi di Indonesia (Sumber: Ma, Zheng et al, 2018)

Ketiga, bentuk kelembagaan dan fungsi. Pada dasarnya terdapat dua usulan bentuk kelembagaan dari BPET baik berbentuk badan usaha atau badan publik. Masing-masing model ini mempengaruhi fungsi kelembagaan tersebut yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Unsur	Model A	Model B
Bentuk Kelembagaannya	Badan Usaha (BUMN)/Badan Layanan Umum (BLU).	Badan Hukum Publik.
Fungsinya	<ol style="list-style-type: none"> Menetapkan target pencapaian bauran EBT. Menjalankan fungsi perencanaan strategis terkait bauran EBT. Mengelola standar portofolio energi terbarukan dan dana EBT. Merancang proses pengadaan EBT. Menjadi agregator dan melakukan PPA dengan IPP-IPP EBT. Sebagai <i>offtaker</i> yang berkontrak dengan pembangkit ET, kemudian menjualnya ke perusahaan utility. Merancang dan menjadi <i>channelling agency</i> insentif EBT. 	<ol style="list-style-type: none"> Menyusun strategi pemanfaatan EBT dalam bentuk kebijakan bersama dengan Kementerian ESDM dan/atau stakeholder lain. Berkoordinasi dengan K/L terkait untuk mempercepat pengembangan EBT. Menyusun kebijakan perencanaan, investasi, pembiayaan, pengaturan tarif dan insentif pengembangan EBT. Mengelola standar portofolio energi terbarukan dan dana EBT yang bersifat publik Pembinaan dan Pengawasan Implementasi Kebijakan EBT.
Hubungan dalam pengelolaan Ketenagalistrikan	Peluang pengelolaan listrik di luar tahap perencanaan dan produksi, seperti Sertifikat EBT/kredit karbon, penjualan ke konsumen.	Terbatas pada penyusunan kebijakan kelistrikan pada tahap perencanaan dan produksi
Referensi/Contoh	PT Sarana Multi Infrastruktur, Pusat Investasi Pemerintah, Badan Pengelola Dana Lingkungan Hidup, Badan Pengelola Dana Kelapa Sawit.	Badan Pengelola Jalan Tol, SKK Migas, Otoritas Jasa Keuangan, Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi.

Tabel 1. Usulan Bentuk Kelembagaan dan Fungsi BPET (Sumber: Hasil Olahan Penulis)

Usulan pembentukan BPET sebagai institusi yang memiliki kepentingan atas pengembangan EBT di Indonesia diharapkan dapat mengakomodasi transisi energi bersih melalui perbaikan tata kelola aturan EBT dan peningkatan investasi. Rangkaian inisiatif pada BPET pada akhirnya berupaya mewujudkan transisi energi yang sudah berlangsung, tetapi dengan jaminan yang lebih cepat dan efektif.

Daftar Pustaka

- Australian Renewable Energy Agency*, <https://arena.gov.au/about/>, diakses 10 Januari 2021.
- Dewan Energi Nasional*, 2020, *Outlook Energi Indonesia 2019*, Dewa Energi Nasional, Jakarta, hlm. 21.
- IEA*, 2020, *Global Energy Review 2020*, <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020>, diakses 10 Januari 2021.
- IESR*, 2019, *Indonesia Clean Energy Outlook: Tracking Progress and Review of Clean Energy Development in Indonesia*, Institute for Essential Services Reform, Jakarta, hlm. 42.
- IESR*, 2021, *Indonesia Energy Transition Outlook 2021: Tracking Progress of Energy Transition in Indonesia*. Jakarta: Institute for Essential Services Reform (IESR), hlm. 45
- IISD*. 2018. *Missing the 23 Per Cent Target: Roadblocks to the development of renewable energy in Indonesia*. <https://www.iisd.org/system/files/publications/roadblocks-indonesia-renewable-energy.pdf>
- Indian Renewable Energy Development Agency Limited*, <https://www.ireda.in/home>, diakses 10 Januari 2021.
- IRENA*, 2017, *Renewable Energy Prospects: Indonesia, a REmap Analysis*, International Renewable Energy Agency (IRENA), Abu Dhabi, hlm. 1.
- IRENA*, 2020, *Call to Action in Response to COVID-19: Renewable Energy is a Key Part of the Solution*, https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Coalition-for-Action/Publication/IRENA_Coalition_COVID-19_response.pdf, diakses 10 Januari 2021.
- IRENA*, 2020, *The post-COVID recovery: An agenda for resilience, development and equality*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi, hlm 28.

Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral, 2021, Capaian Kinerja 2020 dan Program 2021, hlm. 19.

Siaran Pers Nomor: 003.Pers/04/SJI/2021 tanggal 7 Januari 2020 Kinerja Tahun 2020 dan Program 2021 Sektor ESDM.

Siaran Pers Nomor: 003.Pers/04/SJI/2021 tanggal 7 Januari 2020 Kinerja Tahun 2020 dan Program 2021 Sektor ESDM.



Artikel 10

Efisiensi Produksi Cepat Biodiesel Berbasis Mikroalga Melalui Implementasi Metode Hydrodynamic Cavitation

Jeessica Hermayanti Pratama

(Universitas Sebelas Maret – UNS, Surakarta)

Konsumsi energi global telah meningkat berdasarkan laju eksponensial selama beberapa tahun terakhir dan diperkirakan akan mencapai kenaikan sebesar 56% hingga tahun 2040 (Zhang dkk., 2017). Peningkatan kebutuhan energi tersebut didorong oleh laju pertumbuhan populasi dunia yang sangat cepat dan perkembangan industri di berbagai negara, termasuk Indonesia, dengan laju pertumbuhan penduduk mencapai 1,15% setiap tahunnya. Kebutuhan energi sebanyak lebih dari 85% saat ini masih didukung oleh pembakaran bahan bakar fosil (Li dkk., 2011). Menurut Mohammad (2019), ketergantungan bahan bakar fosil di Indonesia untuk kebutuhan energi didominasi oleh minyak bumi sebesar 46,9%, gas alam sebesar 21,9%, batu bara sebesar 26,4%, sedangkan energi baru terbarukan (EBT) hanya sebesar 4,8%. Tingkat konsumsi bahan bakar fosil yang mencapai 105 kali lebih tinggi dibandingkan cadangan yang tersedia menjadikan sumber daya ini terancam tidak dapat memenuhi kebutuhan energi secara tunggal (Shuba dan Kifle, 2018). Selain itu, dampak negatif akibat penggunaan bahan bakar fosil secara masif adalah peningkatan konsentrasi CO₂ di atmosfer yang menyebabkan efek rumah kaca dan perubahan iklim secara drastis (Rittmann, 2008). Oleh karena itu, diperlukan upaya untuk mengontrol emisi karbon dan mengembangkan ekonomi rendah karbon.

Salah satunya dengan pencarian energi alternatif yang bersifat ramah lingkungan dan berasal dari sumber daya yang dapat diperbarui. Biodiesel menjadi salah satu solusi alternatif yang ditawarkan (Setyawan dkk., 2018a). Bahan bakar biodiesel menarik perhatian peneliti karena dapat diproduksi dari sisa bahan makanan, minyak tumbuhan, lemak hewani, dan minyak jelantah. Selain itu, biodiesel bersifat dapat diperbarui, tidak melepaskan jejak karbon dioksida, kandungan sulfur yang rendah, tidak mengandung senyawa aromatik, serta memiliki titik nyala dan degradabilitas yang lebih baik daripada diesel konvensional (Huang dkk., 2010).

Biodiesel dapat diproduksi dari bahan baku pangan maupun nonpangan. Pengolahan biodiesel dari bahan pangan memakan biaya produksi yang tinggi dan berpotensi menyebabkan persaingan dengan kebutuhan pangan (Sati dkk., 2019). Maka dari itu, inovasi produksi biodiesel dari bahan baku nonpangan perlu dikembangkan. Salah satu jenis biomassa nonpangan yang dapat diolah menjadi biodiesel adalah mikroalga. Mikroalga merupakan sekelompok spesies yang berada melimpah di perairan Indonesia dan kurang dimanfaatkan. Spesies ini dapat tumbuh dengan sangat cepat dan menghasilkan biomassa dengan kandungan lemak dan karbohidrat yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan pohon dan tanaman darat lainnya (Anathi dkk., 2020).

Penggunaan mikroalga dalam pembuatan biodiesel memiliki beberapa kelebihan, di antaranya efisiensi fotosintesis yang tinggi, serta dapat menghasilkan biomassa dalam jumlah besar dan regenerasi yang lebih cepat (Miao dan Wu, 2006). Mikroalga dapat menyerap CO₂ dari udara untuk memproduksi lipid. Lipid yang dihasilkan dari proses fotosintesis mikroalga dapat digunakan sebagai bahan baku pembuatan biodiesel melalui proses transesterifikasi (Setyawan dkk., 2018a). Akumulasi lipid dapat dipercepat oleh laju fotosintesis mikroalga yang tinggi, sehingga dapat meningkatkan jumlah biodiesel yang dihasilkan. Rata-rata kandungan lipid dari mikroalga berkisar antara 20 – 50% berat keringnya (Sati dkk., 2019). Tahap awal konversi biodiesel berbasis mikroalga memerlukan adanya proses ekstraksi lapisan lipid intraseluler terlebih dahulu sebelum dapat dikonversi menjadi biodiesel. Disrupsi sel

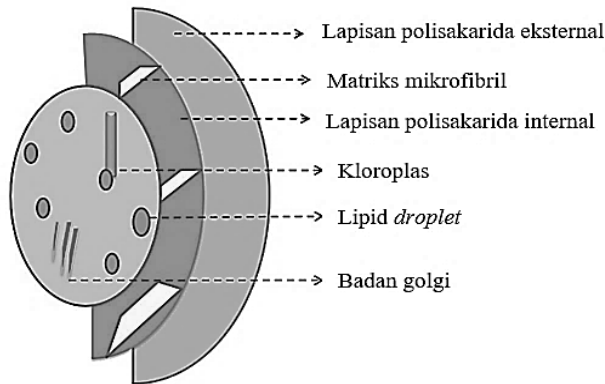
menjadi salah satu metode yang dapat digunakan untuk meningkatkan jumlah lipid intraseluler yang dapat diekstrak hingga mencapai 3 kali lipat. Metode disrupti sel yang berpotensi dapat digunakan adalah *hydrodynamic cavitation* (Lee dkk., 2014).

Hydrodynamic cavitation (HC) menawarkan teknologi pemrosesan yang lebih baik dan efisien. HC sangat potensial untuk dikembangkan dalam skala besar dan diaplikasikan sebagai teknologi pada industri (Panda dkk., 2020), tetapi penggunaannya sebagai teknologi konversi mikroalga menjadi biodiesel masih belum dikembangkan di Indonesia. Oleh karena itu, inovasi dalam karya ini adalah analisis efisiensi *hydrodynamic cavitation* (HC) sebagai proses *pretreatment* pada mikroalga sehingga diharapkan dapat dijadikan metode yang dapat meningkatkan efisiensi ekstraksi lipid serta kualitas biodiesel yang diproduksi.

Produksi biodiesel dari biomassa memanfaatkan kandungan senyawa metil atau etil ester dari asam lemak, yang diproduksi oleh reaksi dari minyak atau lemak dengan alkohol dan menggunakan bantuan katalis (Karthikeyan dkk., 2016; Karthikeyan dkk., 2014; Karthikeyan dan Prathima, 2017). Mikroalga sebagai organisme yang menggunakan energi surya atau cahaya buatan secara utama memiliki versatilitas metabolik. Sel mikroalga dapat tumbuh dengan menggunakan materi anorganik atau karbon dioksida dari atmosfer sebagai sumber karbon alternatif dan menghasilkan metabolit yang relevan, seperti protein, karbohidrat, dan lipid (Gupta dan Bux, 2019).

Lipid netral yang terakumulasi dalam mikroalga meliputi triasilgliserol (TAG), asam lemak bebas, hidrokarbon, alkohol, ester, dan lilin dapat digunakan untuk memproduksi biodiesel melalui proses biokimia atau kimia sekunder berupa transesterifikasi lipid (Ahmad dkk., 2011; McCurdy dkk., 2014; Wu dkk., 2017). Kualitas biodiesel berkaitan dengan kehadiran ester jenuh tanpa adanya ikatan rangkap. Asam yang digunakan dalam produksi biodiesel berasal dari kandungan TAG dengan rantai 16 karbon, seperti asam palmitat serta rantai 18 karbon seperti asam oleat, asam linoleat, dan asam stearat (Dai dkk., 2019; Zhao dkk., 2011).

Produksi biodiesel dari biomassa akuatik seperti mikroalga memerlukan langkah *pretreatment* untuk mengolah kandungan intraseluler, khususnya untuk memecah dinding sel. Komposisi dinding sel mikroalga dengan tingkat kekakuan yang berbeda-beda dapat mempengaruhi tingkat kerusakan dan kemudahan *pretreatment* yang dilakukan. Ilustrasi komponen dinding sel pada mikroalga ditunjukkan oleh Gambar 1.

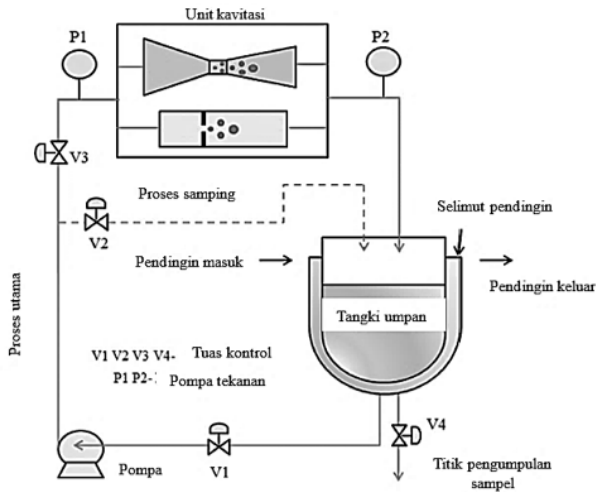


Gambar 1. Komponen dinding sel mikroalga (dimodifikasi dari Ananthi dkk., 2020).

Dinding sel mikroalga utamanya terdiri dari selulosa, polisakarida sulfat, senyawa pektin serta beberapa zat anorganik (silika, kalsium karbonat, dan magnesium) (Chen dkk., 2013; Castrillon dkk., 2013). Lapisan luar dinding sel terdiri dari matriks polisakarida (polimer pektin, algaenan, agar, dan alginat) dan lapisan internalnya berupa hemiselulosa, pektin, dan matriks mikrofibril glikoprotein (Scholz dkk., 2014). Berdasarkan struktur dinding sel mikroalga sesuai Gambar 1, maka metode *pretreatment* perlu dilakukan untuk memungkinkan keberhasilan ekstraksi lipid dari mikroalga.

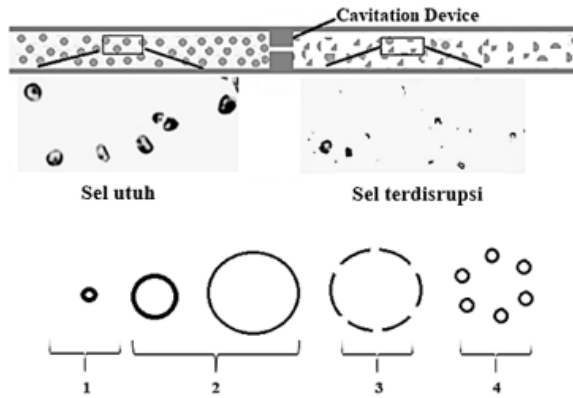
Metode *hydrodynamic cavitation* (HC) dapat mengekstraksi lipid dari mikroalga melalui pembentukan gelembung mikro, yaitu ketika tekanan fluida turun hingga lebih rendah dari tekanan uapnya dan gelembung mikro ini hilang ketika tekanan kembali berada di atas tekanan uap. Hilangnya gelembung mikro menghasilkan gelombang

kejut dan meningkatkan tekanan sesaat (100–5000 atm) dan suhu (500–15000 K), yang secara mekanis mengganggu sel mikroalga sehingga dinding sel mikroalga hancur dan lipid dapat diekstrak keluar dari mikroalga (Setyawan dkk., 2018a). Skema dari reaktor HC ditunjukkan oleh Gambar 2 (Carpenter dkk., 2017).



Gambar 2. Skema reaktor *hydrodynamic cavitation* (dimodifikasi dari Carpenter dkk., 2017)

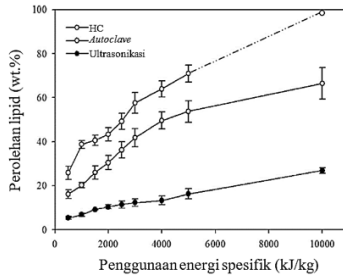
Berdasarkan Gambar 2, reaktor HC terdiri dari tangki umpan sebagai tempat mikroalga, pompa untuk mengalirkan mikroalga menuju reaktor, pompa, tuas, serta tempat unit kavitasi (*cavitation chamber*) sebagai tempat pembentukan gelembung yang digunakan untuk disrupti sel (Panda dkk., 2020). Mekanisme *hydrodynamic cavitation* ditunjukkan oleh Gambar 3, yaitu (1) pembentukan inti, (2) ekspansi gelembung maksimum, (3) pemecahan gelembung, dan (4) pelepasan energi.



Gambar 3. Mekanisme *hydrodynamic cavitation* (dimodifikasi dari Waghmare dkk., 2019)

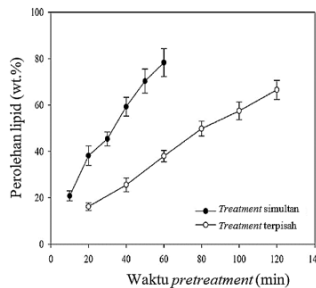
Ekstraksi lipid menggunakan HC dilaporkan menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi dengan waktu yang pemrosesan yang lebih cepat daripada menggunakan ekstraksi langsung menggunakan pelarut. Penelitian oleh Setyawan dkk. (2018b) telah membandingkan efektivitas penggunaan metode ekstraksi pelarut secara langsung dan ekstraksi HC dan didapatkan hasil bahwa ekstraksi menggunakan metode HC dapat menghasilkan lipid sebesar 8,9% dengan menggunakan campuran pelarut heksana:metanol (2,3:1) selama 10 menit, sedangkan ekstraksi langsung menggunakan pelarut yang sama hanya menghasilkan lipid sebesar 7,3% selama 60 menit dengan menggunakan mikroalga *Nannochloropsis sp.*

Penelitian Lee dan Han (2015) juga melakukan *pretreatment* ekstraksi lipid dari mikroalga jenis *Nannochloropsis salina* dengan menggunakan 3 jenis metode yaitu HC, *autoclave*, dan ultrasonikasi dengan hasil seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 4 (Lee dan Han, 2015).



Gambar 4. Hasil lipid yang diperoleh menggunakan 3 jenis ekstraksi yang berbeda dalam hal konsumsi energi (dimodifikasi dari Lee dan Han, 2015).

Berdasarkan Gambar 4, didapatkan hasil ekstraksi lipid yang mendekati 100% ketika menggunakan metode HC, jauh lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode *autoclave* maupun ultrasonikasi. Pada penelitian yang sama juga dilakukan proses simultan dan terpisah antara disrupsi sel mikroalga dan ekstraksi lipid menggunakan metode HC dengan hasil seperti pada Gambar 5. Terlihat bahwa hasil ekstraksi lipid dari proses *pretreatment* HC didapatkan hasil yang lebih besar pada proses simultan yaitu sebesar 20,8 – 78,3%, sedangkan pada proses terpisah didapatkan hasil sebesar 16,2 – 66,5%. Lipid mikroalga yang dilepaskan dari matriks sel dengan *pretreatment* memiliki kecenderungan untuk bergabung dan terikat dengan pecahan sel, sehingga metode *hydrodynamic cavitation* (HC) sangat menguntungkan dengan tingkat perolehan lipid yang sangat tinggi.



Gambar 5. Perolehan hasil lipid dengan pada proses *pretreatment* HC simultan dan terpisah (dimodifikasi dari Lee dan Han, 2015).

Senyawa ester yang diperoleh dari proses transesterifikasi lipid mikroalga akan menghasilkan sifat biodiesel sebagai bahan bakar yang resisten terhadap degradasi dan *autoxidation* serta menghasilkan peningkatan angka setana yang berdampak pada peningkatan kualitas biodiesel. Perbandingan sifat dari biodiesel mikroalga, bahan bakar diesel, dan standar ASTM biodiesel ditunjukkan oleh Tabel 1 yang menunjukkan bahwa biodiesel mikroalga berpotensi memiliki beberapa kesesuaian dengan standar dan dapat dioptimasi untuk mendapat biodiesel dengan kualitas unggul.

Tabel 1. Perbandingan sifat biodiesel mikroalga, diesel, dan standar ASTM biodiesel.

Sifat	Biodiesel Mikroalga	Diesel	Standar ASTM Biodiesel
Densitas (kg/L)	0,864	0,838	0,86 – 0,90
Viskositas (mm ² /s, cSt pada suhu °C)	5,2	1,9 – 4,1	3,5 – 5,0
Titik nyala (°C)	115	75	Minimal 100
Titik pematatan (°C)	-12	-50 hingga 10	-
Titik penyumbatan filter dingin (°C)	-11	-3,0 (maksimal - 6,7)	Musim panas maksimal 0; musim dingin maksimal < -15
Bilangan asam (mg KOH/g)	0,374	Maksimal 0,5	Maksimal 0,5
Nilai pemanasan (MJ/kg)	41	40-45	-
Rasio H/C	1,81	1,81	-

(Sumber: Miao dan Wu, 2006)

Berdasarkan berbagai uraian di atas, maka dapat disimpulkan bahwa mikroalga menjadi bahan baku potensial pembuatan biodiesel karena tingginya kandungan lipid, yaitu sekitar 20-50% dari berat kering mikroalga. Proses *pretreatment* melalui *hydrodynamic cavitation* secara simultan menawarkan efisiensi ekstraksi lipid yang tinggi dan kemudahan untuk dikembangkan sebagai teknik produksi biodiesel dalam skala yang besar. Efisiensi ekstraksi lipid dari mikroalga *Nannochloropsis salina* (*N. salina*) dengan menggunakan metode HC dapat mencapai 100%, sehingga sangat dimungkinkan banyaknya kandungan dari lipid tersebut nantinya dapat dikonversi menjadi biodiesel dengan lebih optimal dengan karakteristik yang mendekati standar ASTM biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, A. L. , Yasin, N. H. M., Derek, C. J. C., and Lim, J. K. 2011. Microalgae as a Sustainable Energy Source for Biodiesel Production: A Review. *Renewable Sustainability Energy Reviews* 15: 584–93. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2010.09.018>.
- Ananthi, V., Brindhadevi, K., Pugazhendhi, A., and Arun, A. 2020. Impact of Abiotic Factors on Biodiesel Production by Microalgae. *Fuel* 284: 1-11. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118962>.
- Chen, C. Y., Zhao, X. Q., Yen, H. W., Ho, S. H., Cheng, C. L., Lee, D. J., *et al.* 2013. Microalgae-based Carbohydrates for Biofuel Production. *Biochem Eng J* 78:1–10.
- Castrillon, L. J. R., Carmona, M. E. R., Salazar, Y. V. 2013. *Microalgas Para La Industria Alimenticia*. Colombia: Editorial Universidad Pontificia Bolivariana
- Scholz, M. J., Weiss, T. L., Jinkerson, R. E., Jing, J., Roth, R., Goodenough, U., *et al.* 2014. Ultrastructure and Composition of the Nannochloropsis Gaditana Cell Wall. *Eukaryot Cell* 13(11):1450–64.
- Carpenter, J., Badve, M., Rajoriya, S., George, S., Saharan, V. K., Pandit, A. B., 2017. Hydrodynamic Cavitation: An Emerging Technology for the Intensification of Various Chemical and Physical Processes in a Chemical Process Industry. *Rev. Chem. Eng.* 33: 433–468. Doi: <https://doi.org/10.1515/revce-2016-0032>.
- Dai, X., Shen, H., Li, Q., Rasool, K., Wang, Q., Yu, X., *et al.* 2019. Microbial Lipid Production from Corn Stover by the Oleaginous Yeast *Rhodospiridium Toruloides* using the Presslp Process. *Energies* 12. Doi: <https://doi.org/10.3390/en12061053>.
- Gupta, S. K., and Bux, F. S. 2019. Application of Microalgae in Wastewater Treatment Volume 1: Domestic and Industrial Wastewater Treatment. Doi: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-13909-4>.

- Huang, G. H., Chen, F., Wei, D., Zhang, X. W., Chen, G. 2010. Biodiesel Production by Microalgal Biotechnology. *Appl. Energy* 87, 38–46. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.06.016>.
- Karthikeyan, S., 2016. An environmental effect of *Vitis vinifera* biofuel blends in a marine engine. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 38(21): 3262-3267.
- Karthikeyan, S., Elango, A., Silaimani, S. M., and Prathima, A. 2014. Role of Al₂O₃ Nano Additive in GSOBiodiesel on the Working Characteristics of a CI engine.
- Karthikeyan, S., and Prathima, A. 2017. Analysis of Emissions from use of An Algae Biofuel with nano-ZrO₂. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 39(5): 473-479.
- Karthikeyan, S., and Prathima, A. 2016. Characteristics Analysis of Carbon Nanowires in Diesel: *Neochloris Oleoabundans* Algae Oil Biodiesel–Ethanol Blends in a CI engine. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects* 38(20): 3089-3094.
- Karthikeyan, S., and Prathima, A. 2017. Environmental Effect of CI Engine using Microalgae Methyl Ester with Doped Nano Additives. *Transp. Res. Part D* 50: 385–396. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.11.028>.
- Lee, A. K., Lewis, D. M., and Ashman, P. J. 2014. Microalgal cell disruption by hydrodynamic cavitation for the production of biofuels. *J. Appl. Phycol.* 27: 1881–1889. Doi: <https://doi.org/10.1007/s10811-014-0483-3>.
- Lee, I., and Han, J. I. 2015. Simultaneous Treatment (Cell Disruption and Lipid Extraction) of Wet Microalgae Using Hydrodynamic Cavitation for Enhancing the Lipid Yield. *Bioresour. Technol.* 186: 246–251. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.045>.
- Li, J. R., Ma, Y., McCarthy, M. C., Sculley, J., Yu, J., and Jeong, H. K. 2011. Carbon dioxide capture-related gas Adsorption and Separation in Metal-Organic Frameworks. *Coordination Chemistry Review* 255(15–16): 1791–1823.

- McCurdy, A. T, Higham, A. J., Morgan, M. R., Quinn, J. C., and Seefeldt, L. C. 2014. Two-step Process for Production of Biodiesel Blends from Oleaginous Yeast and Microalgae. *Fuel*. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2014.07.099>.
- Miao, X., and Wu, Q. 2006. Biodiesel Production from Heterotrophic Microalgal Oil. *Bioresour. Technol.* 97: 841–846. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.04.008>.
- Mohammad, M.A. 2019. Pengujian fixed bed gasifier dengan bahan bakar biomassa. *J. Tek. Mesin Indones.* 14, 14. Doi: <https://doi.org/10.36289/jtmi.v14i1.107>.
- Panda, D., Saharan, V. K., and Manickam, S. 2020. Controlled Hydrodynamic Cavitation: A Review of Recent Advances and Perspectives for Greener Processing. *Processes* 8. Doi: <https://doi.org/10.3390/pr8020220>.
- Rittmann, B.E. 2008. Opportunities for renewable bioenergy using microorganisms. *Biotechnol. Bioeng.* 100: 203–212. Doi: <https://doi.org/10.1002/bit.21875>.
- Sati, H., Mitra, M., Mishra, S., and Baredar, P. 2019. Microalgal Lipid Extraction Strategies for Biodiesel Production: A review. *Algal Res.* 38. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101413>.
- Setyawan, M., Budiman, A., Mulyono, P., and Sutijan. 2018a. Optimum extraction of algae-oil from microalgae using hydrodynamic cavitation. *Int. J. Renew. Energy Res.* 8, 451–458.
- Setyawan, M., Mulyono, P., Sutijan, and Budiman, A. 2018b. Comparison of Nannochloropsis sp. cells disruption between hydrodynamic cavitation and conventional extraction. *MATEC Web Conf.* 154: 1–5. Doi: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815401023>.
- Shuba, E.S., Kifle, D. 2018. Microalgae to biofuels: ‘Promising’ alternative and renewable energy, review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 81: 743–755. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.042>.
- Waghmare, A., Nagula, K., Pandit, A., and Arya, S. 2019. Hydrodynamic Cavitation for Energy Efficient and Scalable Process of Microalgae Cell Disruption. *Algal Research* 40: 1-9. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101496>.

- Wu, S., Song, L., Sommerfeld, M., Hu, Q., and Chen, W. 2017. Optimization of an Effective Method for the Conversion of Crude Algal Lipids Into Biodiesel. *Fuel*. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.02.040>.
- Zhang, H., Nai, J., Yu, L., and Lou, X. W. 2017. Metal-Organic-Framework-Based Materials as Platforms for Renewable Energy and Environmental Applications. *Joule* 1(1): 77–107.
- Zhao, X., Hu, C., Wu, S., Shen H., and Zhao, Z. K. 2011. Lipid production by *Rhodosporidium toruloides* Y4 using different substrate feeding strategies. *J Ind Microbiol Biotechnol* 38:627–632. <https://doi.org/10.1007/s10295-010-0808-4>



Artikel 11

Optimasi Rasio Konsentrasi Pada Receiver Strirling Engine Sebagai Upaya Peningkatan Efisiensi Daya Listrik Pada Concentrating Solar Power (CSP) Tipe Parabolic Dish

Naufal Baihaqi Al Afkar

Universitas Negeri Semarang

Tantangan dan Potensi PLTS di Indonesia

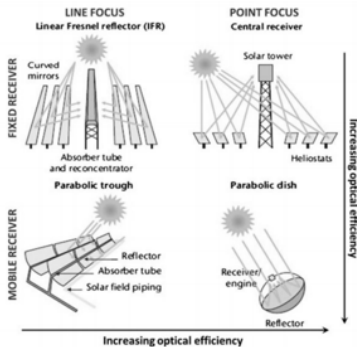
Pemanfaatan energi terbarukan menjadi opsi pengembangan sumber energi listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik pada tiap harinya. Ketersediaan yang tidak akan habis membuat energi terbarukan sangat berpotensi untuk dikembangkan, terlebih lagi nilai efisiensi yang cukup tinggi serta adanya faktor ramah lingkungan membuat pembangkit energi terbarukan semakin berkembang, tidak terkecuali di Indonesia. Saat ini sekitar 12% produksi listrik negara diproduksi oleh pembangkit energi terbarukan (Tech, 2018), pada tahun 2020 Indonesia telah menghasilkan daya sebesar 10.467 MW dari energi baru terbarukan (EBT) dan telah terjadi peningkatan rasio elektrifikasi dari 84,35% menjadi 99,20% dalam kurun waktu 6 tahun (Kementerian ESDM, 2021). Salah satu fokus pengemban EBT adalah dengan menggunakan panel surya melalui penerapan sel *photovoltaic*, pemanfaatan energi surya semakin meningkat pada tiap tahunnya, pada tahun 2020 tercatat telah menghasilkan daya sebesar 153,5 MW dan akan terus meningkat ditambah oleh adanya rencana realisasi PLTS Terapung Cirata berkapasitas 145 MW (Kementerian ESDM, 2021).

Sebagai negara tropis ditambah dengan luasan wilayah yang tersedia, Indonesia memiliki potensi besar energi matahari yaitu rata-rata sebesar 3,41-4,47 kWh/m²/hari (World Bank Group, 2017). Tantangan yang dihadapi untuk mendapatkan daya listrik yang besar

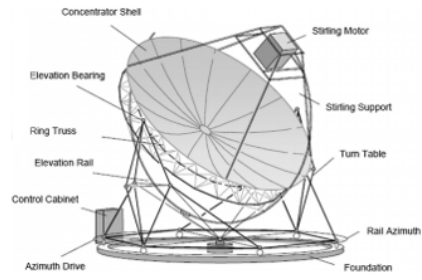
adalah dibutuhkannya luasan area panel surya yang mencukupi, sedangkan penerapan panel surya di Indonesia saat ini didominasi oleh model PLTS Atap dengan luasan terbatas yang bertujuan untuk kebutuhan mandiri bangunan. Dampak negatif sebagai negara tropis yang dijumpai adalah suhu udara yang tinggi yang disebabkan oleh penyinaran matahari yang intens, pada kondisi temperature lingkungan mencapai 25°C berdampak pada penurunan efisiensi panel (Hortaçsu et al., 2015). Penelitian sebelumnya oleh Bashir et al., (2014) menyatakan pada peningkatan suhu dari 22°C menjadi 33°C membuat penurunan efisiensi sebesar 8,85% pada jenis panel surya monocrystalline dan 5,3% pada jenis polycrystalline. Sebagai inovasi dalam mengatasi permasalahan tersebut, teknologi *Concentrating Solar Power* (CSP) sangat cocok diterapkan untuk mengkonversi energi panas matahari menjadi energi listrik berkapasitas tinggi pada luas lahan terbatas.

Inovasi Implementasi *Concentrating Solar Power*

Teknologi CSP menerapkan prinsip pemusatan panas matahari yang diarahkan ke *receiver* yaitu permukaan *stirling engine* oleh *concentrator* yang berupa cermin. *Stirling engine* merupakan mesin pembakaran luar yang beroperasi dengan mengkonversi energi panas ke energi kinetik melalui pemanasan dan pendinginan pada gas atau fluida kerja pada ruang silinder hampa (Nagaoka et al., 1990). Terdapat beberapa faktor yang menjadi penentu kinerja CSP diantaranya adalah material reflektor *concentrator*, bentuk reflektor dan *receiver*, radiasi sinar matahari pada *concentrator*, diameter *concentrator*, ukuran *aperture concentrator*, *focal length* dari *concentrator*, dan sudut rim (Hafez et al., 2016). Efisiensi dapat tercapai ketika *receiver* mendapatkan temperatur yang tinggi untuk proses generasi listrik, kinerja *receiver* dalam menerima panas bergantung pada rasio konsentrasi *concentrator*. Jenis CSP *parabolic trough* dan *linear Fresnel* memiliki rasio konsentrasi medium antara 60-80 dengan capaian temperature maksimum adalah 550°C, sedangkan pada *parabolic dish* dan *solar tower* mendapatkan nilai rasio yang lebih besar dengan maksimum temperature lebih dari 1000°C (Arif Nugroho, 2017). Jenis CSP dan desain model *parabolic dish* ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Jenis-jenis Model CSP (Martinez & Thangavelautham, 2019)



Gambar 2. Model CSP Jenis Parabolic Dish (Muthusivagami et al., 2010)

Pemilihan jenis material dan desain dimensi *receiver* serta *concentrator* menjadi poin utama sebagai penentu besar rasio konsentrasi yang dihasilkan. Parabolic concentrator berdiameter 2,2 m dengan koefisien refleksi 0.85 mampu menghasilkan potensi daya radiasi 14739 W/m² dengan temperatur maksimal sebesar 400°C (El Ouederni et al., 2009). Dampak jenis material juga dipelajari oleh Toygar et al., (2016), penggunaan jenis kaca datar (solarux) berdampak pada temperatur *receiver stirling engine* yang rendah tidak mencapai 300°C. Palavras & Bakos, (2006) menerapkan material polymer zeolite sebagai reflektor pada *concentrator* berdiameter 2,85 m dan menghasilkan temperatur sekitar 345°C. Desain *receiver* perlu dipertimbangkan agar memiliki ukuran diameter yang tidak terlalu besar, semakin luasan receiver dapat berdampak pada peningkatan kerugian panas konveksi yang dihasilkan (Ngo, 2013). Penerapan sudut rim sebesar 45° pada desain *concentrator* mampu memberikan hasil rasio konsentrasi tertinggi maupun kinerja thermal tertinggi (Affandi et al., 2014). Rancangan CSP yang tepat mampu memberikan kinerja yang baik dengan semakin tingginya daya listrik yang dihasilkan.

Optimasi Ratio Konsentrasi Pada Strilling Engine

Perancangan dan perhitungan yang matang menjadi bagian penting dalam memperoleh kinerja CSP yang optimal. Rasio konsentrasi

sebagai penentu utama kinerja CSP dapat diperoleh dengan hasil yang baik jika dilakukan pemilihan jenis material reflektor yang tepat serta desain rancangan dengan perhitungan akurat. Material Highly polished mirror stainless steel merupakan material yang paling umum digunakan reflektor saat ini, optimasi pada rancangan ini menggunakan material Polymeric Film non metal karena karakteristiknya yang memiliki rasio refleksi sebesar 98%, hal ini berarti hanya 2% cahaya yang tidak dapat dipusatkan pada *receiver stirling engine*. Bentuk geometri parabola pada *concentrator* juga berpengaruh terhadap sudut refleksi cahaya untuk mengarahkan cahaya ke pusat receiver. Penulis menggunakan beragam persamaan untuk mendapatkan kinerja rancangan terbaik. Rumusan yang digunakan oleh penulis adalah sebagai berikut.

Diameter *concentrator*:

$$d_{con} = 4 f (Csc (\theta) - Cot (\theta))$$

Perbandingan antara diameter *concentrator* dengan besar *focal length*:

$$\frac{f}{d_{con}} = \frac{1}{4 \tan(\frac{\theta}{2})}$$

Diameter *receiver*:

$$D_{rec} = \frac{f \times \theta_{acc}}{Cos \theta (1 + \cos \theta)}$$

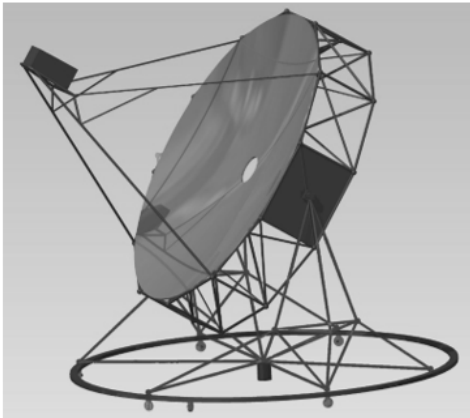
Besar luas *aperture concentrator*:

$$A_{con} = \frac{\pi}{4} d_{con}^2$$

Besar luas *aperture receiver*:

$$A_{rec} = \frac{\pi}{4} d_{rec}^2$$

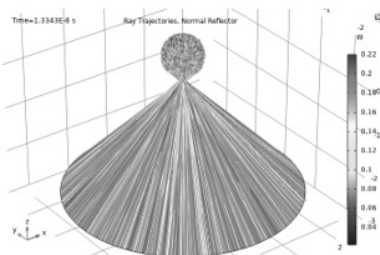
Penggunaan rumusan diatas mampu memberikan dimensi yang sesuai serta dapat dilakukan penyesuaian kelekungan parabola yang tepat. Desain rancangan penulis ditampilkan pada gambar berikut.



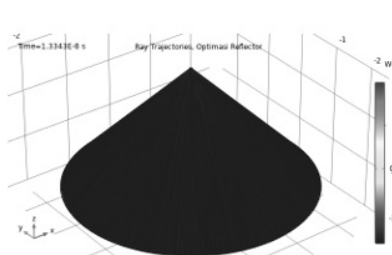
Focal Length [m]	3
Sudut Rim [deg]	45°
Diameter Concentrator [m]	4,9706
Luas Area Concentrator [m²]	19,404
Solar Tracker Control	2 Axis
Diameter Receiver [m]	0,06

Gambar 3. Desain Optimasi CSP Parabolic Dish

Desain rancangan yang telah dibuat kemudian disimulasikan untuk merepresentasikan kinerja pada kondisi nyata. Simulasi dilakukan dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis* dengan pengaturan kondisi lingkungan menyerupai kondisi nyata. Didapatkan dari hasil simulasi terjadi peningkatan jika dibandingkan pada model saat ini yaitu peningkatan pada ketepatan refleksi cahaya ke *receiver*, potensi daya radiasi, dan nilai rasio konsentrasi. Setelah optimasi dihasilkan refleksi cahaya yang terpusat sehingga estimasi panas yang dihasilkan lebih tinggi dengan kerugian panas yang minimal. Perbandingan hasil refleksi ditampilkan pada gambar berikut.

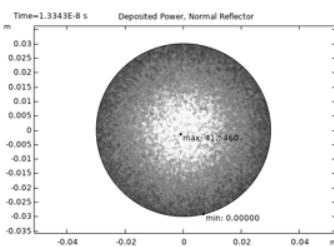


Gambar 4. Refleksi Cahaya Sebelum Optimasi

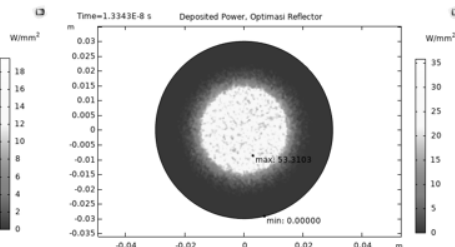


Gambar 5. Refleksi Cahaya Setelah Optimasi

Arah refleksi cahaya matahari yang terkonsentris mampu memberikan peningkatan fluks radiasi yang diterima oleh *receiver*. Material Polymeric Film non metal memberikan tingkat penyerapan sinar yang minimal dan mampu merefleksikan sinar secara terfokus sehingga berdampak pada peningkatan suhu yang diterima oleh *receiver*, hal ini selaras dengan pernyataan Ghani et al., (2014) terkait efek refleksi sinar dan luasan *concentrator* terhadap peningkatan panas pada permukaan *receiver stirling engine*. Peningkatan suhu permukaan *receiver* memberikan dampak peningkatan daya radiasi yang dihasilkan, hal ini karena semakin banyak pula energi panas yang dapat dikonversi menjadi energi listrik pada *stirling engine*. Perbandingan potensi daya radiasi pada permukaan *receiver* ditampilkan pada gambar berikut.

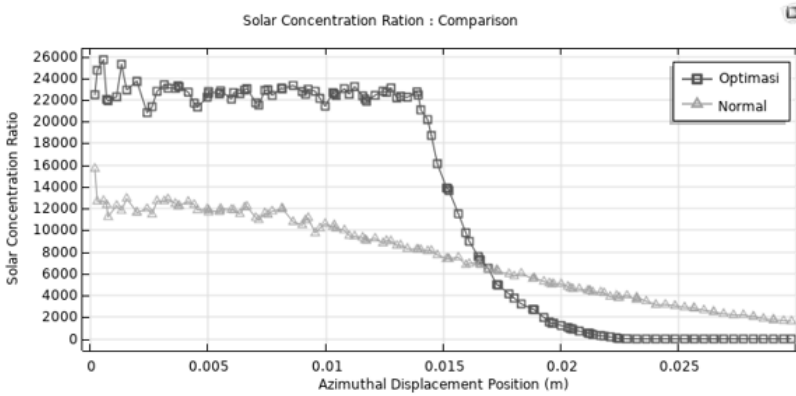


Gambar 6. Daya Radiasi Sebelum Optimasi



Gambar 7. Daya Radiasi Setelah Optimasi

Dapat diketahui pada model sebelum dilakukan optimasi, titik daya radiasi maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 41,55 W/mm², daya radiasi rata rata sebesar 5,39 W/mm², serta total daya radiasi sebesar 167276 W/mm². Setelah proses optimasi didapatkan peningkatan pada titik daya radiasi maksimum yaitu sebesar 53,31 W/mm², daya radiasi rata rata sebesar 6,73 W/mm², serta total daya radiasi 199479 W/mm². Melalui model optimasi didapatkan peningkatan efisiensi kinerja CSP yang ditunjukkan melalui peningkatan rasio konsentrasi, hal ini terjadi karena arah refleksi sinar yang terpusat sehingga kehilangan sinar refleksi dapat diminimalisir dan didapatkan panas yang maksimal. Perbandingan rasio konsentrasi tiap model ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 8. Perbandingan Rasio Konsentrasi Sebelum dan Setelah Optimasi

Dari hasil optimasi didapatkan rasio konsentrasi maksimal pada nilai 25.693 pada pergeseran radial posisi receiver sejauh 0,549 mm. Sedangkan pada model sebelum dilakukan optimasi hanya mendapatkan nilai maksimal sebesar 15.666 pada pergeseran radial posisi receiver sebesar 0.179 mm. Optimasi model dan material efektif memberikan peningkatan kinerja teknologi CSP khususnya dalam peningkatan rasio konsentrasi untuk menghasilkan kinerja thermal terbaik pada *receiver stirling engine*. Penerapan Teknologi CSP akan menjadi langkah tepat dalam upaya pemanfaatan energi matahari yang melimpah pada wilayah Indonesia.

Proyeksi Keberhasilan Implementasi CSP

Kondisi penyinaran matahari yang intens menjadikan peluang besar penerapan teknologi CSP di Indonesia. Teknologi CSP menjawab tantangan terkait keterbatasan luas lahan untuk penerapan pembangkit listrik berkapasitas tinggi. Optimasi yang dilakukan pada CSP jenis parabolic dish mampu memberikan efisiensi produksi daya listrik yang maksimal. Gagasan ini dapat terealisasi dan terimplementasikan apabila terjadi Kerjasama yang baik antara Pemerintah, Kementerian ESDM terkhusus pada Direktorat Jenderal EBTKE, Pihak swasta, serta Masyarakat. Optimasi pada teknologi CSP memberikan hasil daya terbaik pada beragam model pemanfaatan energi matahari, perbandingan capaian hasil ditampilkan pada tabel berikut.

Perbandingan Daya yang Dihasilkan		
Model	Daya [W]	Luasan [m ²]
Model Penulis Sebelum Optimasi	3961,49	19,404
Model Penulis Setelah Optimasi	4944,24	19,404
Panel Surya Monokristalin di Yogyakarta (Mohammad Hafidz ;, 2015)	312,5	20
Panel Surya Monokristalin di Jakarta (Ilyas & Kasim, 2017)	1182,54	20
Panel Surya Polykristalin pada Atap STT PLN Jakarta (Hariyati et al., 2019)	2879	20
Parabolic Trough Solar Collector di Bandung (Pikra et al., 2012)	429,9	12

Adanya kemajuan teknologi menjadikan konsep implementasi teknologi CSP sebagai inovasi pemanfaatan energi matahari dengan potensi pengembangan yang tinggi pada masa mendatang. Optimasi teknologi CSP diharapkan mampu menjadi inovasi dalam upaya peningkatan efisiensi kerja dari implementasi CSP saat ini serta menjadi usulan rancangan pembangkit listrik tenaga surya berkapasitas tinggi dengan penggunaan luas lahan yang terbatas.

DAFTAR PUSTAKA

- Ab Ghani, M. R., Affandi, R., Gan, C. K., Raman, S. H., & Zanariah, J. 2014. The influence of concentrator size, reflective material and solar irradiance on the parabolic dish heat transfer. *Indian Journal of Science and Technology*, 7(9), 1454–1460.
- Affandi, R., Gan, C. K., Ruddin, M., & Ghani, A. 2014. Development of Design Parameters for the Concentrator of Parabolic Dish (PD) Based Concentrating Solar Power (CSP) under Malaysia Environment. *Journal of Applied Science and Agriculture*, 9(11), 42–48.
- Arif Nugroho, A. 2017. *Seminar Nasional Peranan Ipteks Menuju Industri Masa Depan (PIMIMD - 4) Institut Teknologi Padang (ITP)*, ISBN : 978-602-70570-5-0.
- Bashir, M. A., Ali, H. M., Khalil, S., Ali, M., & Siddiqui, A. M. 2014. Comparison of performance measurements of photovoltaic modules during winter months in Taxila, Pakistan. *International Journal of Photoenergy*, 2014: 1-8.
- El Ouederni, A. R., Salah, M. Ben, Askri, F., Nasrallah, M. Ben, & Aloui, F. 2009. Experimental study of a parabolic solar concentrator. *Revue Des Energies Renouvelables*, 12, 395–404.
- Hafez, A. Z., Soliman, A., El-Metwally, K. A., & Ismail, I. M. 2016. Solar parabolic dish Stirling engine system design, simulation, and thermal analysis. *Energy Conversion and Management*, 126: 60–75.
- Hariyati, R., Qosim, M. N., & Hasanah, A. W. 2019. *Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid dengan Gedung STT-PLN Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah*. 11(1), 17–26.
- Hortaçsu, N., Baştığ, S. Ş., & Muhammetberdiev, O. B. 2001. Desire for children in Turkmenistan and Azerbaijan: Son preference and perceived instrumentality for value satisfaction. In *Journal of Cross-Cultural Psychology* 3(32)
- Ilyas, S., & Kasim, I. 2017. Peningkatan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Dengan Reflektor Parabola. *Jetri*, 14(2), 67–80.

- Kementerian ESDM. 2021. *Capaian Kinerja 2020 dan Program 2021*. Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Jakarta.
- Martinez, J., & Thangavelautham, J. 2019. Propelling Interplanetary Spacecraft Utilizing Water-Steam. *ArXiv, January*.
- Mohammad Hafidz ;, S. S. 2015. Perancangan Dan Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Kapasitas 10 Mw on Grid Di Yogyakarta. *Jurnal Energi & Kelistrikan* 1(7): 49.
- Muthusivagami, R. M., Velraj, R., & Sethumadhavan, R. 2010. Solar cookers with and without thermal storage-A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(2), 691–701.
- Nagaoka, Y., Nakamura, M., Yamashita, K., Ito, Y., Haramura, S., & Yamaguchi, K. 1990. Development of Stirling Engine Heat Pump. In *Heat Pumps*. Pergamon Press plc.
- Ngo, L. C. 2013. Exergetic Analysis and Optimisation of a Parabolic Dish Collector for Low Power Application. *Centre for Renewable and Sustainable Energy Studies*, 53(9), 1689–1699.
- Palavras, I., & Bakos, G. C. 2006. Development of a low-cost dish solar concentrator and its application in zeolite desorption. *Renewable Energy*, 31(15), 2422–2431.
- Pikra, G., Salim, A., Purwanto, A. J., & Eddy, Z. 2012. Parabolic Trough Solar Collector Initial Trials. *Journal of Mechatronics, Electrical Power, and Vehicular Technology*, 2(2), 57.
- Tech, T. 2018. Indonesia Renewable Energy Business Opportunities. British Embassy. Jakarta.
- Toygar, E. M., Bayram, T., Daş, O., & Demir, A. 2016. The design and development of solar flat mirror (Solarux) system. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 1278–1284.
- World Bank Group. 2017. *Solar Resource and Photovoltaic Potential of Indonesia* (Issue May). United States.



Artikel 12

Material Graphene Sebagai Inovasi dan Efisiensi Energi Panas Bumi Indonesia

Muhammad Nadhif Rizqia

(Program Studi Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Padjadjaran, Bandung)

Energi berperan penting terhadap kehidupan manusia dan menjadi salah satu faktor penting bagi ketahanan nasional. Kebutuhan energi Indonesia pada periode 2018 - 2020 meningkat dari 185 menjadi 290 mtoe dan diperkirakan meningkat hingga 1000 mtoe pada tahun 2050 (DEN, 2020). Untuk memenuhi kebutuhan energi nasional, Indonesia masih mengandalkan energi fosil yang jumlah produksinya cenderung menurun, khususnya pada sektor minyak bumi dari 346 menjadi 283 juta barel (periode 2009-2018), sehingga menimbulkan ketergantungan terhadap impor mencapai sekitar 35% (DEN, 2019). Kondisi ini mendorong peningkatan peranan Energi Baru Terbarukan (EBT) untuk mencapai ketahanan dan kemandirian energi nasional yang bersesuaian dengan *sustainable development goals (SDGs)* pada tujuan nomor 7 mengenai *affordable and clean energy*.

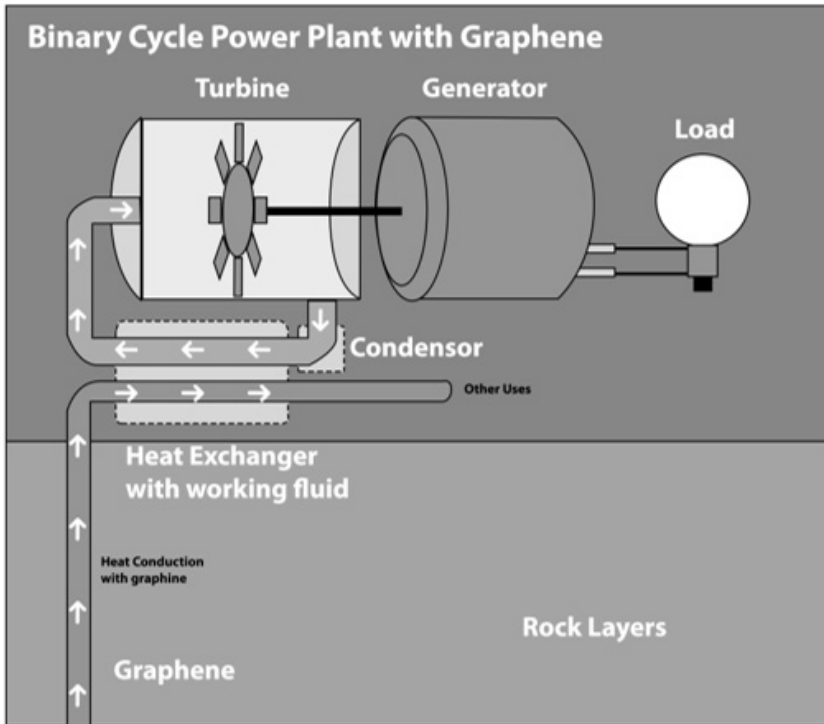
Panas bumi (*Geothermal*) merupakan salah satu jenis Energi Baru Terbarukan (EBT) yang potensinya sangat besar di Indonesia. Potensi panas bumi di Indonesia mencapai 23,9 GW karena terletak di *Ring of Fire* dengan keberadaan tiga lempengan yang berinteraksi, yaitu lempeng Pasifik, Indo-Australia dan Eurasia yang memberikan peranan yang sangat penting bagi terciptanya potensi panas bumi di Indonesia. Energi panas bumi merupakan energi yang ramah lingkungan karena rendah emisi gas rumah kaca. Emisi gas CO₂ yang

dihasilkan sebesar 0.1267 tCO₂e/MWh lebih kecil ketimbang energi dengan bahan fosil (Batubara 1.1400 tCO₂e/MWh, HSD 0.7860 tCO₂e/MWh, dan Gas 1.0020 tCO₂e/MWh) (Alimuddina, 2018). Lahan yang digunakan untuk pengembangan energi panas bumi tidak begitu luas dan tidak merusak kondisi bentang awal seperti pada kegiatan pertambangan sehingga keanekaragaman hayati terjaga. Energi panas bumi pula tidak tergantung musim dengan *availability factor* paling tinggi 90-95% dibandingkan EBT lainnya. Namun, terdapat beberapa kelemahan yang ada pada energi panas bumi diantaranya sebagian area prospek panas bumi teridentifikasi berada pada zona inti yang belum dapat dikembangkan melalui pemanfaatan jasa lingkungan hutan konservasi. Risiko pada awal pengembangan energi panas bumi pun cukup tinggi walaupun akan terus menurun risikonya seiring dengan tahap pengembangan yang dilakukan. Selain itu, efisiensi biaya untuk mencapai keekonomian harga listrik dan sulitnya pendanaan proyek panas bumi menjadi salah satu permasalahan utama pengembangan panas bumi di Indonesia (Ditjen EBTKE, 2020).

Energi panas bumi merupakan energi yang tersimpan dalam bentuk air panas atau uap pada kondisi geologi tertentu pada kedalaman beberapa kilometer di dalam kerak bumi (Santoso, 2004). Komponen utama pembentuk suatu sistem panas bumi terdiri atas sumber panas (*heat source*), batuan reservoir (*permeable rock*), batuan penutup (*cap rock*) dan aliran fluida (*fluida circulation*) (Dwikorianto, 2006). Umumnya, dalam memindahkan panas dari *heat source* menuju turbin dalam *geothermal* dilakukan dengan memanfaatkan fluida berupa air yang terkandung dalam batuan porous (*permeable*) yang telah terpanaskan. Perpindahan panas terjadi secara konveksi pada fluida air, uap atau campuran keduanya dan dimanfaatkan untuk memutarakan turbin generator pembangkit listrik. Fluida yang telah digunakan panasnya diinjeksikan kembali ke dalam reservoir untuk kepentingan lingkungan dan untuk mempertahankan volume fluida dalam reservoir dengan melakukan proses pendinginan terlebih dahulu. Proses injeksi ini memiliki pengaruh yang sangat besar dimana massa fluida yang diinjeksikan dapat berpengaruh terhadap penurunan nilai entalpi dan

perlu dilakukan pengeboran sumur baru agar tidak terjadi *steam short* (Wirawan, 2019). Tentunya, hal ini menunjukkan bentuk keterbatasan fluida sebagai media transfer panas terhadap produksi energi *geothermal* dengan efisiensi panas yang dihasilkan dengan menggunakan fluida air berkisar pada angka 15 - 25% dan menambah biaya produksi energi panas bumi akibat pengeboran sumur baru, sehingga energi panas bumi akan memperpanjang usia komersil dari lapangan panas bumi.

Penelitian terus dilakukan untuk menunjang perkembangan teknologi salah satunya yang dilakukan oleh Andre K. Geim dan Konstantin Novoselov mengenai pengembangan *graphene* 2 dimensi. *Graphene* merupakan alotrop karbon berupa struktur dasar pembentukan material berbasis karbon seperti grafit, CNT dan *Fullerene* (S. Basua, 2012). *Graphene* sangat berpotensi untuk dikembangkan dalam bidang *geothermal* karena memiliki sifat kelistrikan, termal, dan mekanik yang luar biasa. Merujuk pada pernyataan oleh Manoj Bhargava, *graphene* memiliki potensi untuk dikembangkan sebagai media distribusi panas dari *heat source*, dimana *graphene* diusulkan untuk mengganti fluida sebagai media transfer panas ke permukaan bumi dengan karakteristik konduktivitas termal yang sangat baik mencapai ~3000 W/mK yang bahkan jauh lebih besar dari intan yang hanya sebesar 2300 W/mK. Material *graphene* pula merupakan bahan terkuat yang pernah ditemukan, dengan kekuatan hingga 130 gigapascal dengan titik lebur yang dimiliki *graphene* monolayer pun berkisar pada 4000 dan 6000 K yang memungkinkan untuk diterapkan dalam pengembangan sistem panas bumi. Tidak sampai disitu, penggunaan *graphene* juga ikut meminimalisasi biaya produksi akibat penggunaan fasilitas produksi dalam sistem panas bumi, seperti pompa, pipa, biaya *maintenance* akibat peristiwa *scaling* (terbentuknya endapan padat dalam pipa), korosi pada pipa dan pengeboran sumur baru.



Gambar 1. Skema *graphene power plant* (modifikasi *U.S. Department of Energy, Energy Efficiency & Renewable Energy*)

Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi menggunakan material *graphene* memiliki prinsip yang hampir sama dengan penggunaan *binary cycle power plant*. Turbin digerakan dengan menggunakan *working fluid* yang telah dipanaskan dan fasanya berubah menjadi uap dan pada akhirnya didinginkan agar membentuk *cycle*. *Working fluid* ini berasal dari fluida organik yang memiliki titik didih rendah sehingga mudah dipanaskan. Pergerakan turbin tersebut pada akhirnya akan menghasilkan listrik melalui sebuah generator. Perbedaan terletak pada media transfer panas dengan menggantikan fluida air dengan material *graphene*. Fluida organik terpanaskan oleh material *graphene* melalui mesin penukar kalor atau *heat exchanger*. Panas yang masih tersisa pada material *graphene* dapat digunakan

untuk keperluan lainnya seperti pertanian, wisata, pemanas ruangan, atau bahkan digunakan untuk sistem pembangkit listrik lainnya.

Ditinjau dari aspek ekonomis, penerapan graphene dalam sistem geothermal memiliki risiko yang cukup besar. Dilansir dari *INN Graphene* (2020), diperkirakan harga *graphene* per gram berkisar antara US\$100. Jika *graphene* dibentuk menjadi sebuah pipa dan diaplikasikan di sepanjang sumur eksploitasi sampai menembus bagian reservoir, diperkirakan kuantitas *graphene* yang digunakan akan sangat banyak berkisar 4-5 ton *graphene*. Berdasarkan data dan asumsi yang telah dinyatakan sebelumnya, maka biaya yang dibutuhkan untuk penggunaan *graphene* pada satu sistem geothermal dapat menghabiskan biaya mencapai US\$ 1 M. Maka dari itu, jika ditinjau dari aspek ekonomis, sebenarnya penggunaan *graphene* ini masih belum memberikan efek yang baik, dimana jika sistem ini diterapkan biaya eksplorasi dan eksploitasi geothermal setiap satu lapangan saja akan membutuhkan tambahan biaya sebesar US\$1 M. Efeknya, dengan jumlah pengeluaran awal yang sangat besar nilai *Net Present Value* dari eksploitasi geothermal menggunakan *graphene* diperkirakan akan mencapai nilai yang sangat kecil bila perhitungan waktu produksi diukur berkisar 10-20 tahun. Akan tetapi, jika produksi yang dilakukan dihitung lebih dari >20 tahun, nilai *Net Present value* yang didapatkan diperkirakan akan mulai mencapai titik kestabilan dimana semua biaya pengeluaran di awal sudah bisa tertutupi dengan laba yang dihasilkan dari hasil penjualan energi. Ditambah lagi dengan jumlah pengeluaran yang cukup besar pada masa awal produksi, kemungkinan akan didapatkan nilai *Internal Rate Of Return* <10% jika estimasi masa produksi pendek, jika hal ini terjadi, estimasi pembalikan modal dari awal sampai akhir masa produksi memiliki *rate* yang cukup buruk. Maka dari itu, jika nilai *Internal Rate Of Return* yang diinginkan berada pada angka yang menjanjikan (>10%) diperlukan masa produksi yang panjang pada sistem geothermal yang diberlakukan. Bersesuaian dengan sifat dari *graphene* sebagai material yang memiliki sifat kelistrikan, termal, dan mekanik yang luar biasa jelas akan memperpanjang usia komersil dari lapangan panas bumi sehingga dalam penerapannya akan memberikan

efek yang baik jika ditinjau dari sisi ekonomis meskipun pembalikan modal dan pendapatan keuntungan diestimasikan akan didapatkan dalam rentang waktu yang cukup lama.

Peningkatan efisiensi listrik yang dihasilkan dari produksi *steam* yang cenderung konsisten akibat penggunaan *graphene* juga ikut berdampak terhadap keekonomian harga listrik yang dihasilkan dan mendorong investasi terhadap pengembangan energi baru terbarukan di masa yang akan datang. Dampak jauhnya, target pemanfaatan energi baru terbarukan (EBT) dalam strategi bauran energi nasional yang telah ditetapkan pemerintah sebesar 31% pada tahun 2050 akibat penggunaan *graphene* dapat terealisasi bahkan melebihi ekspektasi target yang telah ditetapkan yang bersesuaian pula dengan *sustainable development goals* (SDGs) pada tujuan nomor 7 mengenai *affordable and clean energy* untuk memastikan akses ke energi yang terjangkau, andal, berkelanjutan, dan modern untuk semua. Tentunya, dalam implementasi yang efisien dan efektif mengenai penerapan *graphene* dalam energi panas bumi, masih perlu dikembangkan dan ditinjau lebih lanjut dari segala aspek sehingga studi ini dapat memberikan kebermanfaatan yang sangat besar baik bagi pihak pemerintah, perusahaan dan masyarakat kedepannya.

Daftar Pustaka

- Cengel, Y.A dan Meran M.J. *Thermodynamics an Engineering Approach*. DEN. (2019). *Outlook Energi Indonesia*. Jakarta: Dewan Energi Nasional
- Ditjen EBTKE. (2020). *Rencana Strategis*. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi.
- Fuente, Jesus de La. *Graphene Structure*. Graphenea
- Ganz, Eric. *The initial stages of melting of graphene between 4000 K and 6000 K*. Royal Society of Chemistry.
- Pistilli, Melissa. (2020). *What Factors Impact Graphene Cost?* di <https://investingnews.com/category/daily/tech-investing/nanoscience-investing/graphene-investing/> (diakses 28 April 2021)

- Suhendi, Endi. (2011). *Graphene dan Aplikasinya Pada Divais Elektronika*. Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.
- Saptadji, Nenny Miryani. *Teknik Panas Bumi*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- S. Basua, P. Bhattacharyya, March 2012. "Recent developments on graphene and graphene oxide based solid state gas sensors". *Sensor and Actuators B : Chemical* (173): 1-21
- Sukmawati, Vivi. (2018). *Sintesis Grafena dari Grafit Melalui Metode Hummer's dan Reduksi Oksida Grafena Menggunakan Reduktor Amonia (NH₃)*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Sung Mook Choi, Min Ho Seo, Hyung Ju Kim, Won Bae Kim. April 2011. "Synthesis and characterization of graphene-supported metal nanoparticles by impregnation method with heat treatment in H₂ atmosphere". *Synthetic Metals* (161) : 2405 -2411
- Teng Zhang, Qingzhong Xue, Shuai Zhang, Mingdong Dong. May 2012." *Theoretical approaches to graphene and graphene-based materials*". *Nano Today* (7): 180-200
- Wardani, Rakhma. (2017). *Energi Panas Bumi Ramah Terhadap Lingkungan Sekitar*. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi.
- Wirawan, Arizona Yoris. (2019). *Pengaruh Sumur Injeksi Terhadap Reservoir Panas Bumi Dominasi Air pada Simulasi Lapangan Panas Bumi Dieng Unit II Menggunakan Software Tough-2*. *Jurnal Offshore*, Vol. 3, No. 1, 11 - 12

Artikel 13

Penerapan *Power Plant Microhydro* untuk Memanfaatkan Air Limbah pada Gedung Bertingkat Menggunakan *Controler Arduino* sebagai Inovasi Energi Terbarukan

Janahtan Firdaus

(Universitas Negeri Semarang)

Kebutuhan energi masih menjadi permasalahan di Indonesia. Pertumbuhan konsumsi energi final di Indonesia selalu meningkat, yakni mencapai 5,3% per tahun. Pada tahun 2016 sumber terbesar pemasok energi yaitu berasal dari minyak bumi, yakni sebesar 47,2% (outlook energi, 2018). Sementara minyak bumi merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbaharui yang akan habis dalam kurun waktu tertentu.

Keadaan tersebut mengakibatkan masyarakat mulai beralih dari penggunaan energi fosil menjadi energi listrik untuk memenuhi kebutuhan sehari-hari. Namun, kapasitas terpasang pada pembangkit listrik (2018) sebagian besar berasal dari pembangkit energi fosil, yaitu batubara mencapai 50%, gas bumi sebesar 29%, dan minyak bumi sebesar 7% (outlook energi, 2019). Sehingga diperlukan sumber energi terbarukan dengan potensi yang sudah ada.

Potensi energi terbarukan untuk pembangkit energi listrik cukup besar. Data Dewan Energi Nasional (2019) mencatat total potensi energi terbarukan mencapai ekuivalen 442 GW. Energi terbarukan tersebut meliputi sinar matahari, panas bumi, bioenergi, angin, air, dan energi laut. Tetapi energi tersebut belum digunakan secara optimal. Pemanfaatan energi terbarukan untuk pembangkit listrik pada tahun 2018 hanya sebesar 8,8 GW atau 14% dari total kapasitas pembangkit listrik yaitu sebesar 64,5 GW (outlook, 2019).

Tabel 1.1 Potensi Energi Terbarukan
(Sumber: Outlook Energi Indonesia DEN, 2019)

Jenis Energi Potensi	
Tenaga Air	94,3 GW
Panas Bumi	28,5 GW
Bioenergi	PLT Bio : 32,6 GW
	BBN: 200 Ribu Bph
Surya	207,8 GWp
Angin	60,6 GW
Energi Laut	17,9 GW

Salah satu energi terbarukan yang belum dioptimalkan yaitu energi air. Potensi energi air sebagai sumber pembangkit energi listrik mencapai 94,3 GW. Jumlah tersebut sangatlah besar karena melebihi total kapasitas pembangkit listrik yang terpasang pada tahun 2018 yang hanya sebesar 64,5 GW. Sehingga diperlukan pemanfaatan secara maksimal pada energi air sebagai pemasok energi listrik. Salah satunya dengan memanfaatkan tenaga mikrohidro pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).

Konsep PLTMH yaitu memanfaatkan energi air dalam skala kecil untuk menghasilkan energi listrik. Kondisi air yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber penghasil listrik adalah yang memiliki kapasitas aliran dan ketinggian tertentu, karena listrik yang dihasilkan oleh PLTMH juga sangat tergantung kepada tinggi terjunan dan debit airnya. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi, maka semakin besar energi listrik yang bisa dihasilkan (Pranoto *et al.*, 2017). Sehingga, PLTMH dapat diterapkan pada saluran pembuangan limbah cair bertingkat sebelum disalurkan ke Instalasi Pengolahan Air Limbah (IPAL) atau dibuang langsung ke lingkungan.

Air limbah pada gedung sangat berlimpah jumlahnya, hal itu dapat ditinjau dari kebutuhan air dalam gedung, yakni membutuhkan 50 liter per orang setiap harinya (Bustami, 2017). Jika dalam satu gedung

terdapat 700 orang maka air limbah yang dihasilkan sekitar 35.000 liter setiap harinya. Air limbah tersebut bisa dimanfaatkan sebagai sumber pembangkit energi listrik dengan menerapkan konsep PLTMH. Berdasarkan hal tersebut, disusunlah gagasan untuk menerapkan *Power Plant Microhydro* pada gedung bertingkat untuk memanfaatkan air limbah gedung menjadi sumber energi listrik, yang kemudian oleh penulis dinamakan dengan *Power Plant Microhydro at Skyscrapers* (POPES). Dengan adanya inovasi tersebut diharapkan dapat menjadi energi terbarukan di masa mendatang serta dapat mengurangi penggunaan energi fosil sehingga mewujudkan *green renewable energy* untuk Indonesia maju.

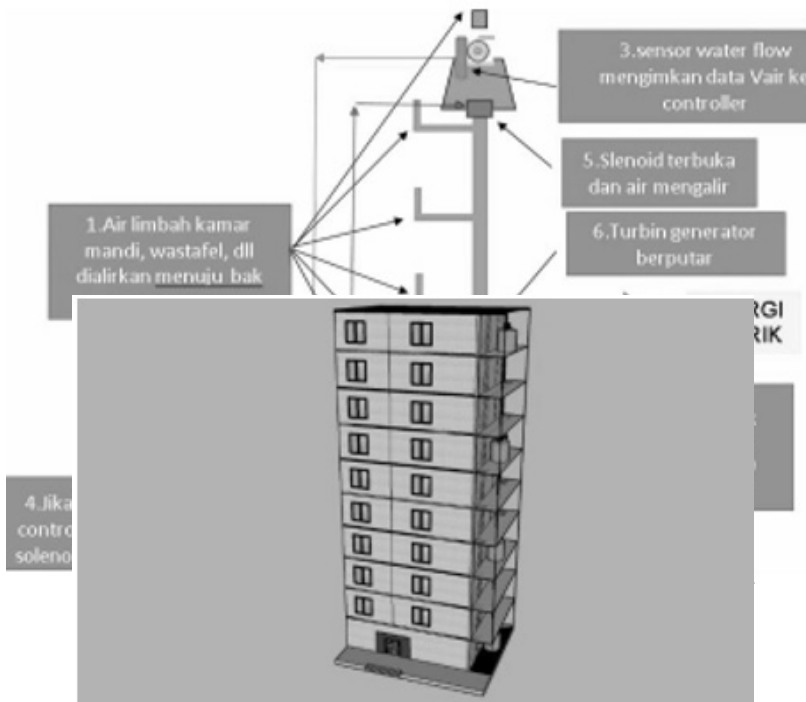
Konsep POPES dalam menghasilkan energi listrik yaitu dengan cara mengalirkan air limbah pada ketinggian 3 lantai untuk memutarakan turbin generator. Air limbah yang digunakan berasal dari kegiatan sehari-hari di dalam gedung, seperti mencuci dan mandi (*greywater*). Air limbah yang berasal dari *closed (blackwater)* tidak digunakan dalam POPES, karena air tercampur dengan kotoran sehingga dapat menghambat saluran instalasi POPES. Air yang digunakan untuk

menyiram *closed* per orang yaitu sekitar 6 liter per hari (Handoko, 2016). Maka jumlah air limbah *greywater* yang dihasilkan per orang sekitar 44 liter dalam satu hari.

Mekanisme pembangkitan daya pada POPES dengan menampung air setiap kelipatan 3 lantai. Tujuan penampungan air yaitu untuk meningkatkan debit air agar sesuai dengan kemampuan input generator. Setiap bak penampung dilengkapi dengan generator yang diletakan di atasnya, kecuali pada bak penampung pertama, karena debit air yang dihasilkan pada 2 lantai teratas umumnya kecil, sehingga belum mampu memutarakan turbin generator.

Bak penampung satu dengan yang lainnya saling berhubungan secara berurutan. Pada saluran penghubung di dasar bak penampung dilengkapi dengan solenoid yang berfungsi sebagai kran pembuka air untuk dialirkan ke bak penampung yang ada dibawahnya. Selenoid membuka pada saat volume air dalam bak penampung sudah maksimal. Selenoid bekerja berdasarkan sensor

water flow yang membaca jumlah volume air di bak penampung apakah volume air sudah maksimal. Kerja sensor *water flow* diatur secara elektronik dengan menggunakan controler Arduino. Prinsip kerjanya adalah sensor *water flow* membaca volume air pada titik maksimal. Setelah itu data hasil pembacaan di kirim ke arduino berupa sinyal tegangan. Kemudian arduinomemerintahkan solenoid untuk membuka saluran pipa sehingga air dapat mengalir.



Gambar 3.3 Desain Gedung Berlantai 12 dengan Instalasi POPES

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2021)

Jatuhnya air menuju putaran *fan* pada generator akan menciptakan induksi listrik yang kemudian menghasilkan energi listrik. Besaran daya yang mampu dihasilkan disampaikan oleh Liun (2011) dalam persamaan yang digunakan ditulis sebagai berikut:

$$P = \eta \rho Q g h$$

(watt)

Dengan:

P = daya yang dihasilkan (kW); ρ (rho) = rapat massa air (=1);

g = percepatan gravitasi; η = efisiensi generator;

h = tinggi jatuh (m); Q = debit (m^3/s)

Perhitungan daya listrik konsep POPES kita ambil dari model gedung berlantai 12 dengan jumlah karyawan 700 orang dan jumlah orang dalam setiap lantai kita asumsikan berjumlah 58 orang.

- **Perhitungan volume air limbah dalam bak penampung per hari:**

Diketahui data jumlah air limbah yang dihasilkan satu orang per hari = 44 dm^3 Volume air limbah satu gedung dalam satu hari = $792 \times 44 \text{ dm}^3 = 35.848 \text{ dm}^3$ Volume air limbah setiap satu bak penampung = $66 \times 3 \times 44 \text{ dm}^3 = 8.712 \text{ dm}^3$ Jadi volume air limbah dalam bak penampung = $8.712 \text{ dm}^3 = 8,7 \text{ m}^3$

- **Perhitungan debit air dan daya per bak penampung:**

Diketahui data di suatu lokasi volume = $8,7 \text{ m}^3$; waktu = 2,15 detik; ketinggian = 7,5 m dan $\eta = 1,5$. Maka:

$$Q = \text{Volume} / \text{Waktu} \quad P = \eta \times \rho \times Q \times g \times h$$

$$= 8,7 \text{ m}^3 / 2,15 \text{ s} = 1,5 \times 1 \times 4,04 \times 9,8 \times 7,5$$

$$= 4,04 \text{ m}^3/\text{s} = 445,41 \text{ Watt (per generator)}$$

- **Potensi daya listrik total yang dibangkitkan per hari**

Daya listrik yang dihasilkan dari POPES dapat dihitung dari aliran air limbah yang melewati beberapa generator disetiap penampungan, dengan perhitungan sebagai berikut: · Penampungan 1 (P_1) = $445,41 \times 3 = 1.336,23 \text{ Watt}$.

· Penampungan 2 (P_2) = $445,41 \times 2 = 890,82 \text{ Watt}$.

· Penampungan 3 (P_3) = $445,41 \times 1 = 445,41 \text{ Watt}$.

· Maka, $P_{\text{total}} = 1.336,23 + 890,82 + 445,41 = 2.672,46 \text{ Watt} = 2,67 \text{ kW}$

Dari perhitungan di atas konsep POPES mampu menghasilkan daya 2,67 kW per hari dari satu gedung berlantai 12. Besaran listrik yang dihasilkan tergantung dari jumlah lantai dan orang di dalam gedung,

semakin banyak jumlah lantai dan orang di dalam gedung, semakin banyak juga jumlah generator yang terpasang, maka energi listrik yang dihasilkan semakin besar. Maka daya listrik yang dihasilkan gedung dengan jumlah lantai yang lain dapat ditentukan dengan rumus:

$$P_{total} = 445,41 \times n!$$

dengan n = jumlah generator

Dari rumus di atas maka besaran listrik yang dihasilkan dari konsep POPES dengan ketinggian gedung yang lain dapat ditentukan. Misalnya gedung dengan lantai 18 maka daya listrik yang dihasilkan yaitu $445,41 \times (5 \times 4 \times 3 \times 2 \times 1) = 53,45$ kW per hari. Dari hasil itu maka dapat diketahui perbandingan besaran listrik yang dihasilkan dari gedung berlantai 12 dengan gedung berlantai 18 sangat jauh selisihnya, maka POPES lebih cocok diterapkan pada gedung-gedung tinggi untuk menghasilkan daya listrik yang besar serta menghemat biaya pemasangan. Besaran listrik yang digunakan rumah tangga rata-rata adalah 5-6 kW per hari, sehingga konsep POPES pada gedung berlantai 18 mampu untuk menyuplai kebutuhan listrik sekitar 10 rumah tangga setiap harinya. Diharapkan POPES menjadi salah satu inovasi untuk solusi menangani produksi energi listrik yang ramah lingkungan dan dapat menekan penggunaan energi fosil tak terbarukan di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pengkaji dan Penerapan Teknologi. 2018. Outlook Energi Indonesia 2018. Jakarta: PPIPE.
- Bustami dan Abdul, M. 2017. Rancang bangun Pembangkit Listrik Pikohidro 1000 VA dengan Memanfaatkan Pembuangan Air Limbah pada Gedung Pakarti Centre. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. 1-2 November 2017, Jakarta, Indonesia. pp.1-12.
- Dewan Energi Nasional. 2019. Outlook Energi Indonesia 2019. Jakarta: PTPSE. Direktorat Jendral Ketenagalistrikan. 2017. *Statistik Ketenagalistrikan 2016*. Jakarta: KESDM.

- Handoko, J. P. S. 2016. Optimalisasi Pemanfaatan Greywater pada Bangunan Rumah Susun sebagai Upaya Mewujudkan Sustainable Architecture (Studi kasus: Rumah Susun Juminayah di Yogyakarta). *Jurnal Arsitektur, Bangunan, & Lingkungan*. 5 (2):59-104.
- Liun, E. 2011. Potensi Energi Alternatif dalam Sistem Kelistrikan Indonesia. *Prosiding seminar Nasional Pengembangan Energi Nuklir*. 21 Juni 2011, Bangka Belitung, Indonesia. pp.311-322.
- Pranoto, Bono., Sinta N.A., Hari S., Afida Z., Harun A. R., Santi L. 2017. Potensi Energi Mikrohidro di Daerah Irigrasi (Studi Kasus di Wilayah Sungai Serayu Opak). *Jurnal Irigrasi*. 12 (2):77-86.



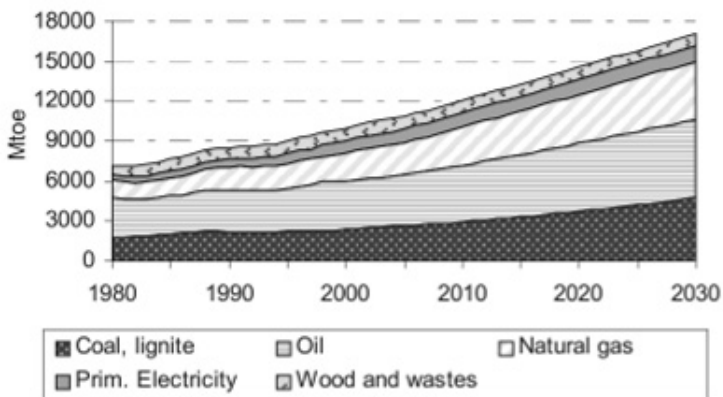
Artikel 14

Geo.Lin Application Sebagai Inovasi Penghubung Perusahaan Geothermal Dalam Penyaluran Potensinya Menjadi Sumber Energi Listrik Untuk Daerah yang Sulit Terjangkau Listrik

Ilma Rafi Muflihatu Yumna

(Institut Teknologi 10 Nopember – ITS)

Energi menjadi salah satu hal yang penting selain pangan. Pertumbuhan penduduk dunia dengan perkembangan peradaban manusia telah berdampak terhadap lonjakan konsumsi energi dunia yang luar biasa. Dalam periode tahun 2000 – 2030, peningkatan kebutuhan energi di negara-negara Uni Eropa sebesar 0,5% per tahun. Sedangkan di negara-negara Asia diperkirakan mencapai 3% pertahun, dan untuk tingkat dunia diperkirakan sebesar 1,8 % per tahun [1]. Akan tetapi, kebutuhan energi sebagian besar masih dipenuhi melalui sumber-sumber energi tak terbarukan.

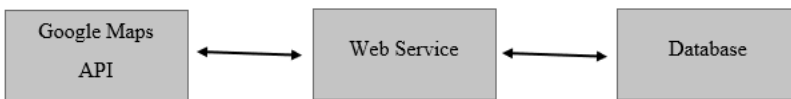


World Energy Consumption

(Sumber: Directorate General for Research Energy)

Pemakaian sumber-sumber energi tak terbarukan ini perlu dikurangi, bukan hanya karena semakin berkurangnya serta semakin langkanya pasokan energi, tapi juga karena adanya beberapa permasalahan global, seperti pemanasan global, yang disebabkan oleh produksi gas karbon dioksida (CO₂) hasil pembakaran bahan bakar [2]. Untuk Indonesia, sumber-sumber energi terbarukan cukup berlimpah, meliputi air sungai, angin, laut, panas bumi, dan sinar matahari. Pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan di Indonesia masih sangat langka. Indonesia memiliki potensi panas bumi yang begitu besar, yang merupakan harta karun yang terpendam dan perlu dikelola dengan baik. Menurut catatan terbaru Badan Geologi, potensi panas bumi di Indonesia sebesar 23,9 Giga Watt (GW) hingga Desember 2019. Berdasar data Direktorat Panas Bumi, potensi ini baru dimanfaatkan sebesar 8,9% atau 2.130,6 MW, masih banyak yang belum dimanfaatkan. perihal ini Pemerintah menargetkan peningkatan pemanfaatan panas bumi menjadi 7.241,5 MW atau 16,8% di 2025 [3]. Panas bumi adalah bentuk energi terbarukan yang menghasilkan sedikit emisi gas rumah kaca dan dapat memberikan kestabilan dan keamanan energi. Selain itu, energi panas bumi dapat menjadi solusi nyata untuk masyarakat luas yang membutuhkan listrik di masa depan. Keberlangsungan berbagai macam bentuk aktivitas dalam masyarakat serta sektor industri nasional, sangat tergantung terhadap tersedianya energi listrik. Hal ini yang menyebabkan ketergantungan terhadap ketersediaan energi listrik semakin hari semakin meningkat. Indonesia akan mengalami kesulitan untuk mengejar pertumbuhan ekonomi yang berkualitas jika tidak ditopang oleh ketersediaan pasokan listrik yang handal dan ramah lingkungan. Pemanfaatan energi geothermal sebagai sumber energi terbarukan yang bisa menghasilkan listrik di Indonesia saat ini dapat dikatakan masih rendah. Pemanfaatan geothermal sebagai energi terbarukan di Indonesia baru berkisar 1.100 MW [4]. Energi panas bumi cukup ekonomis dan ramah lingkungan, namun terbatas hanya pada dekat area perbatasan lapisan tektonik. Pembangkit listrik tenaga panas bumi hanya dapat dibangun di sekitar lempeng tektonik di mana temperatur tinggi dari sumber panas bumi tersedia di

dekat permukaan. Oleh karena itu, penulis mempunyai sebuah inovasi “GEO.LIN” yang merupakan aplikasi penghubung untuk menemukan titik daerah yang belum terjangkau listrik atau yang masih terdapat kendala sehingga bisa dijangkau oleh energi geothermal dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik. Sistem pada aplikasi ini menggunakan peta google untuk menjangkau semua wilayah. Dengan menggunakan Google Maps API (*Application Programming Interface*) maka kita dapat menggunakan peta google untuk menjangkau semua wilayah. *Google Maps API* merupakan sebuah API yang disediakan oleh Google untuk menggunakan peta Google (*Google Map*) dalam suatu inovasi aplikasi. Sedangkan untuk penambahan lokasi maka diperlukan koneksi ke database melalui web service.



Desain sistem

(Sumber : penulis)

Setiap data yang ditambahkan harus dijaga tingkat validitasnya, maka diperlukan mekanisme untuk kontrol terhadap data yang dimasukkan oleh pengguna atau perusahaan. Dalam sistem ini pengguna diwajibkan untuk membuat akun terlebih dahulu untuk proses autentifikasi. Untuk mempermudah, maka akun yang digunakan adalah akun *google official* perusahaan sehingga segala notifikasi atau pemberitahuan dapat diakses pihak perusahaan dengan cepat.



Tampilan halaman awal (*log in*) pada aplikasi GEO.LIN

(Sumber : penulis)

Setelah berhasil mendaftarkan akun pada aplikasi, maka akan ada notifikasi pada gmail untuk proses verifikasi. Sehingga dapat langsung terhubung ke aplikasi GEO.LIN, lalu selanjutnya akan menuju ke fitur untuk menemukan daerah yang berpotensi disalurkan panas bumi sebagai sumber energi listrik. Akan tetapi, lokasi disesuaikan dengan letaknya perusahaan geothermal terdekat. Jadi, titik lokasi pada *maps* sudah berdasarkan jangkauan terdekatnya. Sistem juga akan terus melakukan update data.



Tampilan halaman pencarian lokasi pada aplikasi GEO.LIN

(Sumber : penulis)

Setelah mengetahui lokasi yang belum terjangkau listrik, maka bisa melihat info lebih lanjut dari lokasi tersebut. Mulai dari lokasi terdekat, detail data lokasi, melihat rute ke lokasi, dan gambar dari kondisi di lokasi tersebut. *Service* ambil lokasi pada aplikasi GEO.LIN, ada 3 fungsi atau *class* yang digunakan pada *service* ini yaitu *class RetrieveTask* dan *class ParserTask* yang terletak pada file *MainActivity.java*. Lalu untuk *service* penambahan lokasi pada aplikasi GEO.LIN menggunakan fungsi *class SaveData* yang ada pada file *AddNewLocation.java*. Dan *service* pelaporan lokasi dijalankan oleh fungsi *class SaveData* yang ada pada file *ReportLocation.java*. Berikut adalah tampilan pada detail lokasi di aplikasi GEO.LIN, sehingga dapat memudahkan dalam mendapatkan info.



Tampilan halaman info lokasi pada aplikasi GEO.LIN

(Sumber : penulis)

Aplikasi GEO.LIN akan terus di update dan dalam pemantauan. Serta, akan terus *meng-upgrade* apabila ada saran ataupun masukan dari pihak lain. Dengan adanya aplikasi GEO.LIN diharapkan dapat memudahkan perusahaan *geothermal* dalam penyaluran potensinya sebagai sumber energi listrik untuk daerah yang masih sulit dijangkau listrik. Sehingga manfaat dari potensi geothermal dapat dirasakan oleh seluruh lapisan masyarakat Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Commission. 2003. "World energy, technology and climate policy outlook 2030.". Energy, environment and sustainable development programme European Commission's Directorate General for Research : Brussels.
- [2] N. N. N. Ahmad and D. M. Hossain. 2015. "Climate Change and Global Warming Discourses and Disclosures in the Corporate Annual Reports: A Study on the Malaysian Companies," *Procedia -Social and Behavioral Sciences*, vol. 172, pp. 246-253.
- [3] Humas EBTKE. 2020. "Potensi Besar Belum Termanfaatkan, 46 Proyek Panas Bumi Siap Dijalankan". <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/03/27/2518/potensi.besar.belum.termanfaatkan.46.proyek.panas.bumi.siap.dijalankan>. Diakses 28/04/2021
- [4] Geothermal: Jawaban Kebutuhan Energi Indonesia <http://m.kompasiana.com/post/read/611728/3/geothermal-jawabam-kaumhan-energi-indonesia> diakses tanggal 28/04/2021



Artikel 15

Peningkatan Produksi *Green Hydrocarbon* Berbasis *Fatty Acid Oil* Melalui Variasi Minyak Nabati Guna Mencapai Transisi *Green Fuel Energy*

Akbil Fikran

(Universitas Pembangunan Nasional Veteran, Jawa Timur)

Julukan “*heaven of green fuel*” layak diberikan kepada negeri tempat saya dilahirkan, Indonesia. Kelimpahan minyak nabati yang begitu besar merupakan anugerah tuhan untuk tanah merah putih ini. Namun, kita harus bersedih Karena tujuh puluh lima tahun Indonesia dan selama itu juga kita belum sepenuhnya memanfaatkan kekayaan ini. Padahal, kebutuhan minyak bumi Indonesia begitu besar, sekitar 1,8 juta barel per hari. Konsumsi yang tinggi membuat pemerintah terpaksa mengimpor sekitar 800 ribu barel per hari. Hal ini menunjukkan tingkat konsumsi kita melebihi produksi. Lagi dan lagi, lingkungan menjadi sasaran dari konsumtifnya bangsa ini akan minyak. Padahal sejatinya, ada timbal balik antar manusia dengan lingkungan. Lingkungan memberikan segala kebermanfaatan dan tugas manusia untuk menjaga ekosistemnya

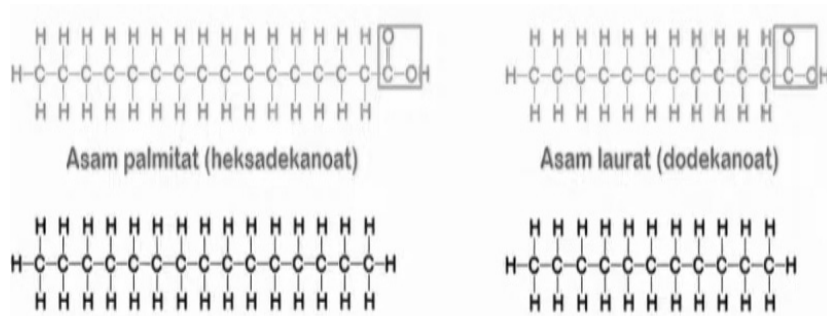
Eksplorasi Minyak Bumi Menghantui Ekosistem Perairan

Minyak bumi, batu bara dan gas alam telah lama menunjang energi bagi bumi. Di Indonesia, energi fosil minyak bumi berada di tingkat kekhawatiran. Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) Mustafid Gunawan menyatakan, besaran cadangan saat ini dengan tingkat produksi minyak Indonesia tinggal 9,22 tahun, sehingga butuh eksplorasi yang lebih dan lingkungan dengan penderitaanya harus menjadi korban lagi. Berdasarkan data statistik terakhir yang dicatat oleh Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi di bawah naungan

Kementerian Sumber Daya dan Mineral pada tahun 2012 hingga 2017 tumpahan minyak di Indonesia secara berturut-turut sebesar 197; 2.071; 46; 91; 549,87; dan 61,34 barrel. Pada tahun 2020, perairan kepulauan seribu menjadi sasaran baru dari tumpahan minyak yang belum diketahui berapa banyak jumlahnya.

Green Hydrocarbon

Green hydrocarbon berbasis *fatty acid oil* merupakan langkah yang tepat untuk diimplementasikan pada zaman sekarang. Di tengah lingkungan yang terus hancur akibat eksplorasi minyak bumi dan emisi gas yang menumpuk akibat pembakaran oleh kendaraan membuat hidrokarbon hijau sebagai langkah awal perubahan. Hidrokarbon hijau alternatif minyak bumi berasal dari asam lemak (*fatty acid*) minyak nabati. Pada dasarnya asam lemak minyak nabati inilah cikal bakal pembentuk minyak bumi.



sumber: (soerawidjaja, 2020)

Gambar 1. Rantai asam lemak palmitat dan laurat.

Berdasarkan Gambar 1, Almatsier pada tahun 2006 dengan bukunya menjelaskan bahwasanya minyak asam lemak tersusun atas rantai panjang hidrokarbon yang mempunyai gugus karboksil (COOH) di salah satu ujungnya dan gugus metil (CH₃) di ujung lainnya. Melalui pemutusan CO₂ di gugus karboksil dengan dekarboksilasi dan pemendekan rantai karbon melalui metode *cracking* dengan bantuan katalis kita akan mendapatkan hidrokarbon hijau murni terbarukan

yang berguna di sektor hilir dalam pembuatan *green fuel energy* seperti *green diesel*, *green gasoline*, *green LPG*, maupun *green avtur*.

Green fuel energy merupakan salah satu energi terbarukan di sektor bahan bakar minyak sebagai solusi penipisan minyak bumi serta dampak negatif yang ditimbulkan. Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) Nomor 12 tahun 2015 tentang Penyediaan, Pemanfaatan dan Tata Niaga Bahan Bakar Nabati (*Biofuel*) sebagai Bahan Bakar telah menjadi patokan bagi perusahaan energi di Indonesia untuk bersama-sama menguatkan kedaulatan energi.

Minyak kelapa sawit sudah cukup?

Kelapa sawit kini menjadi primadona dalam proses pembuatan *green fuel*. Kandungan asam lemak yang tinggi seperti asam palmitat 44% diikuti asam oleat 39,2% (pahan, 2008) adalah alasan Pertamina menjadikan minyak kelapa sawit sebagai bahan utama FAME (*fatty acid metil ester*) ataupun RBDBO (*refined bleaching deodorized palm oil*) bahan baku pembuatan *green fuel*. Hal ini juga tidak terlepas dari produksi minyak kelapa sawit di Indonesia. GAPKI (Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia) menyebutkan Indonesia bisa memproduksi paling tidak 40 juta ton minyak kelapa sawit per tahun mulai dari 2020. Produksi minyak kelapa sawit di dunia didominasi oleh Indonesia dan Malaysia sekitar 85-90% dari total produksi kelapa sawit di dunia.

Ketua Umum Ikatan Ahli Bioenergi Indonesia (IKABI) Tatang H Soerawidjaja menjelaskan, nilai produksi 40 juta ton ekuivalen dengan 700-750 ribu barrel/hari BBM. Padahal, impor minyak bumi di tahun 2018 sudah mencapai sekitar 700 ribu barrel/hari. Disisi lain, pemerintah harus menyisihkan 20-25% minyak sawit untuk sektor pangan dalam negeri serta ekspor untuk mendapatkan devisa. Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Dufrene et al. (1993) di Pantai Gading, Afrika Selatan, bahwa Satu batang pohon kelapa sawit membutuhkan air 2,31 mm/hari dan dapat menyerap air hingga kedalaman 5,2 m menggunakan akarnya yang panjang. Hal ini tentu mengganggu kesuburan ekosistem tanah secara berkelanjutan karena kuantitas air pada tanah menjadi berkurang.

Peningkatan Produksi *Green Hydrocarbon* berbasis *fatty acid oil* melalui variasi minyak nabati

Perlu adanya inovasi dari segi bahan baku *green fuel*. Dari segi kebutuhan bahan bakar minyak dan masalah lingkungan yang ditimbulkan, kita tidak bisa mengharapkan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku semata. Menurut saya, peningkatan produksi *green hydrocarbon* berbasis *fatty acid oil* melalui variasi minyak nabati adalah opsi utama untuk menjawab permasalahan ini. Faktanya, Tatang H soerawidjaja menjelaskan bahwa semua tumbuhan penghasil minyak asam lemak terbaik ada di Indonesia. Gambar 2 memperlihatkan dengan rata-rata rantai karbon C6-C24 yang merupakan fraksi bensin hingga diesel, semua asam lemak ini dapat kita manfaatkan sebagai *green fuel energy*.

Pohon-pohon sumber asam lemak tertentu (kadar asam lemak "anu" di dalam minyak dari pohon tersebut paling banyak dibandingkan dari pohon-pohon lain)			
Asam lemak	Pohon sumber	Asam lemak	Pohon sumber
Kaproat, Kaprilat, Kaprat, dan Laurat, C6:0, C8:0, C10:0, C12:0	Kelapa dan (inti) sawit	Oleat, C18:1	Kelor
Miristat, C14:0	Pala	Arakhidat, C20:0	Rambutan
Palmitat, C16:0	Sawit	Behenat, C22:0	Kelor
Stearat, C18:0	Tengkawang dan Taban merah	Lignoserat, C24:0	Saga utan

sumber: (soerawidjaja, 2020)

Gambar 2. Tumbuhan penghasil minyak asam lemak yang ada di Indonesia.

Kerusakan ekosistem lingkungan akibat pengeboran minyak bumi di lepas pantai sudah seharusnya membuka mata kita, Dampak akibat tumbuhan kelapa sawit juga perlu menjadi pertimbangan. Kedaulatan dan kemandirian energi di Indonesia harus sejalan dengan kualitas lingkungan yang diharapkan. Kekayaan bahan nabati ini merupakan potensi terpendam yang tidak boleh dibiarkan begitu saja. Merah putih

sebagai pemilik penuh atas tumbuh-tumbuhan penghasil minyak asam lemak hanya membutuhkan kolaborasi antara pemerintah serta seluruh elemen terkait untuk menjadikan Indonesia sebagai *renewable energy leader in the world*.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustina, S et.al. (2016). Statistik Minyak dan Gas bumi. Jakarta, Indonesia: Direktorat Jendral Minyak dan Gas Bumi. Data Kementerian Sumber Daya dan Mineral Republik Indonesia.
- Almatsier S. (2006). Prinsip Dasar Ilmu Gizi. Jakarta, Indonesia: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Dufrene E, Dubos B, Rey H, Quencez P, Saugier B. (1993). *Changes in Evapotranspiration from an Oil Palm Stand (Elaeis guineensis Jacq.) Exposed to Seasonal Soil Water Deficits*. *Oleagineux*. 48(3), 120 –105.
- Indrawan, R. (2020, September 24). Green Diesel Pertamina Bahan Campuran B40. Diakses dari <https://www.dunia-energi.com/green-diesel-pertamina-diusulkan-jadi-bahan-campuran-b40/>
- Pahan, I (2008). Panduan Lengkap Kelapa Sawit Manajemen Agribisnis dari Hulu hingga Hilir. Jakarta, Indonesia: Penebar swadaya
- Siswanto, Djoko 2019, Indonesia Energy Outlook 2019, Secretariat Jendral Dewan Energy Nasional, Jakarta.
- Wicaksono, E, P. (2020, Januari 14). Cadangan Minyak Indonesia Hanya Cukup untuk 9 tahun Lagi. Diakses dari <https://www.liputan6.com/read/4155492/cadangan-minyak-Indonesia-hanya-cukup-untuk-9-tahun-lagi>

Kompetisi Penulisan Artikel Energi Baru Terbarukan Piala Menteri ESDM 2021

Didukung Oleh

