

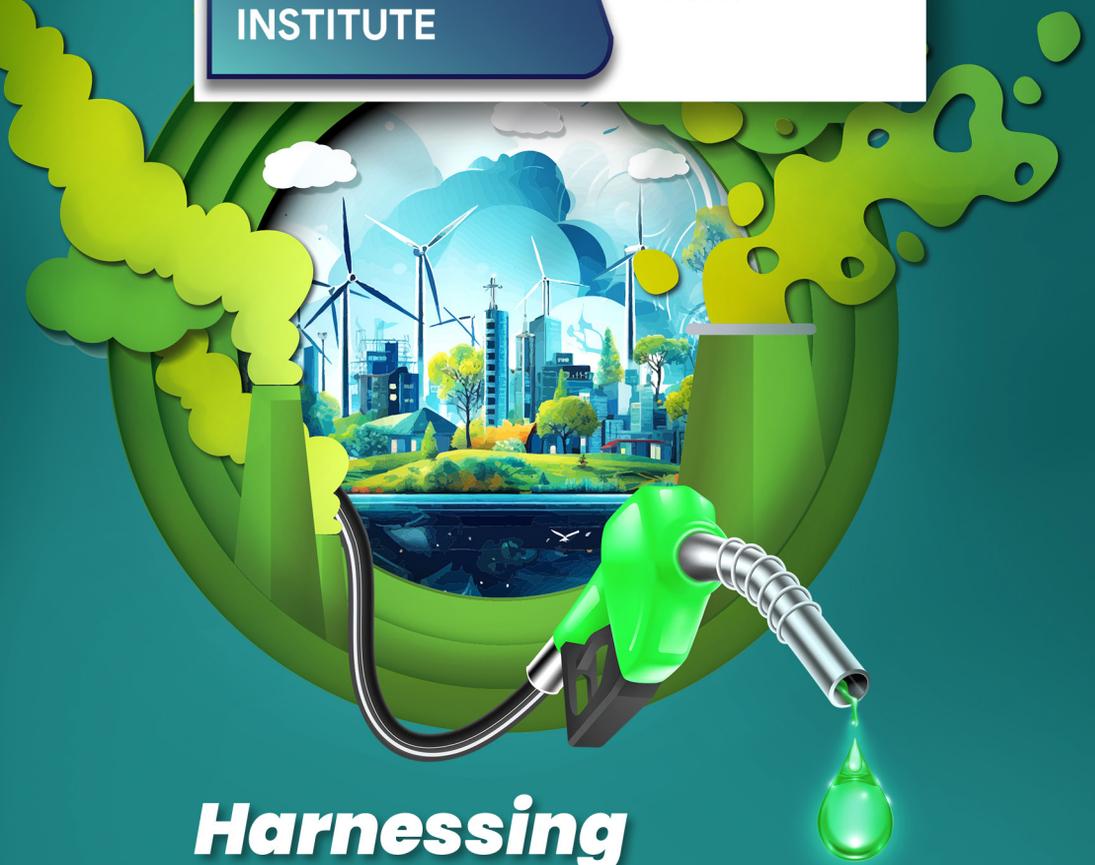
BULETIN

**PERTAMINA
ENERGY
INSTITUTE**

VOLUME 10

N O M O R **01**

2024



***Harnessing
Biofuels
for Resilient and
Sustainable Energy***



PERTAMINA

Follow us:

@Pertamina |    

Contact: energy-institute@pertamina.com

Visit: <https://www.pertamina.com/id/dokumen/pertamina-energy-institute>

Energy Outlook Interactive dataset: <https://www.energyinstitute.id/>

PERTAMAX
GREEN **95**

AKSELERASI MAKSIMAL

Pertamax Green 95 memberikan performa ekstra yang ramah lingkungan untuk melaju terdepan



**MENINGKATKAN
AKSELERASI**



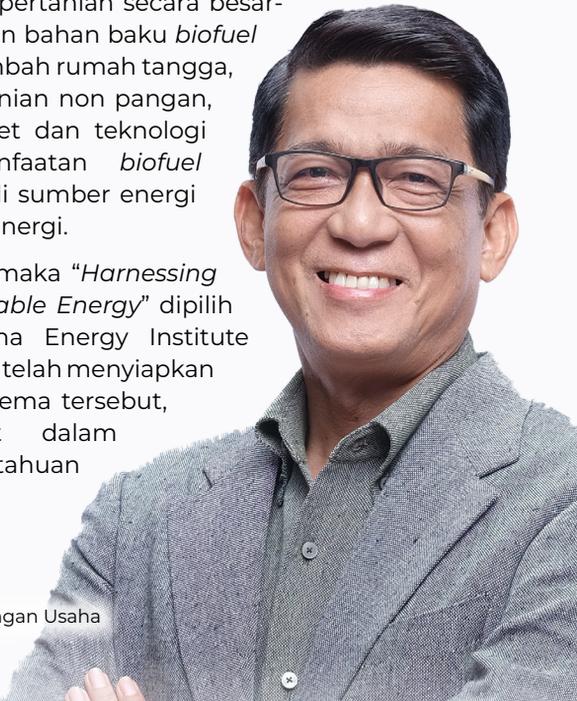
RON BOOSTER



**BAHAN BAKU
TERBARUKAN**

Penggunaan *biofuel* telah menjadi fokus negara-negara dunia dalam mempercepat transisi energi sekaligus mempertahankan ketahanan dan kemandirian energi. Konflik geopolitik global, isu perubahan iklim dan ketidakpastian ke depan, telah memunculkan isu ketahanan energi di tengah akselerasi transisi energi menuju *net zero emissions*. *Biofuel* hadir sebagai sumber energi hijau yang dapat menekan emisi karbon dan menjaga ketahanan energi, dengan melakukan pencampuran antara bahan bakar fosil cair dan komponen nabati. Namun, pemanfaatan *biofuel* masih menemui sejumlah tantangan yang perlu diperbaiki sehingga dapat menjadi sumber energi ramah lingkungan yang lebih dapat diandalkan ke depan. Permasalahan utamanya adalah terkait isu keberlanjutan *biofuel*, mempertimbangkan bahan baku *biofuel* konvensional yang masih bergantung pada tanaman pangan seperti kelapa sawit, jagung, gandum, dan tebu. Adanya tarik-menarik pemenuhan kebutuhan bahan baku *biofuel* baik sebagai kebutuhan pangan dan kebutuhan energi hijau, memunculkan permasalahan seperti ketahanan dan harga pangan, serta permasalahan pembukaan lahan pertanian secara besar-besaran. Ke depan, pengembangan bahan baku *biofuel* yang berkelanjutan, seperti dari limbah rumah tangga, limbah pertanian atau hasil pertanian non pangan, melalui implementasi inovasi, riset dan teknologi menjadi kunci utama pemanfaatan *biofuel* berkelanjutan yang dapat menjadi sumber energi hijau yang mempercepat transisi energi.

Dengan latar belakang tersebut, maka "*Harnessing Biofuels for Resilient and Sustainable Energy*" dipilih menjadi tema Buletin Pertamina Energy Institute Nomor 1 Tahun 2024 ini. Tim redaksi telah menyiapkan beberapa artikel menarik sesuai tema tersebut, yang diharapkan bermanfaat dalam menambah wawasan dan pengetahuan bagi para pembaca.



A. Salyadi Saputra

Direktur Strategi, Portofolio dan Pengembangan Usaha
PT Pertamina (Persero)

OUR TEAM

Advisory Board:

Ari Kuncoro
Widhyawan Prawiraatmadja

Senior Advisor:

Sunarsip

Steering Committee:

Henricus Herwin
Jelita Irmawati

Research Team:

Adhitya Nugraha
Anindya Adiwardhana
Arisman Wijaya
Cahyo Adnrianto
Eko Setiadi

Loisa Debrina Purba
Muhamad Taufik Faizin
Rina Juliet Artami
Sri Konsep Harum Wicaksono
Yohanes Handoko Aryanto

**PERTAMAX
TURBO**

SEMPURNAKAN PERFORMA



OKTAN TINGGI RON 98

Hasilkan emisi gas buang rendah karbon yang ramah lingkungan.



FORMULA PERTATEC

Menjaga dari karat, jadikan mesin tahan lebih lama.



TEKNOLOGI IGNITION BOOST

Optimalkan efisiensi pembakaran, untuk akselerasi maksimal.

Pertamax Turbo diformulasikan untuk mesin teknologi tinggi untuk hasilkan pembakaran sempurna. Akselerasi responsif bertenaga namun tetap irit untuk pemakaian harian, saat menempuh kemacetan atau melaju di jalan bebas hambatan.

Buletin Pertamina Energy Institute edisi ini mengusung tema “*Harnessing Biofuels for Resilient and Sustainable Energy*”. Pemilihan tema kali ini tidak terlepas dari isu bahwa *biofuel* sebagai salah satu sumber energi hijau, telah menjadi perhatian utama global. Salah satu wujud nyatanya adalah dengan peluncuran *the Global Biofuel Alliance*, yang terdiri dari 19 negara dunia dan 12 organisasi internasional, pada KTT G20 di India pada bulan September 2023. Kolaborasi internasional ini berupaya untuk memperluas pemanfaatan *biofuel* secara global dalam proses transisi energi, baik untuk menekan emisi karbon maupun untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Perluasan pemanfaatan *biofuel* diarahkan sebagai bahan bakar yang berkelanjutan, dengan upaya seperti menjaga ketahanan pasokan bahan baku *biofuel*, mengakselerasi produksi *biofuel* yang andal dan berkelanjutan, dan tetap menjaga tingkat keekonomian *biofuel*. Untuk itu, upaya dimaksud perlu didukung sejumlah inisiatif dan strategi, melalui percepatan adopsi teknologi serta penetapan standar bagi produksi *biofuel* yang berkelanjutan, dalam rangka mengatasi permasalahan dalam penggunaan *biofuel*, khususnya terkait peningkatan kebutuhan lahan dan perubahan tataguna lahan akibat pertumbuhan kebutuhan bahan baku *biofuel*, baik sebagai kebutuhan pangan sekaligus bahan bakar nabati.

Dalam konteks Indonesia, pemanfaatan *biofuel* memainkan peran penting dalam mengakselerasi transisi dan ketahanan energi dalam negeri, yaitu dengan pencampuran *biofuel* ke BBM dalam rangka mengurangi impor BBM. Sejalan dengan hal dimaksud, pemanfaatan *biofuel* jenis biogas sebagai salah satu sumber alternatif energi terbaru, berpotensi meningkatkan ketahanan energi Indonesia dengan mengurangi kebutuhan impor LPG.

Seiring dengan perkembangan pemanfaatan *biofuel* dalam transisi energi maupun untuk menjaga ketahanan energi menjadi menarik untuk diikuti, sehingga buletin ini disusun dengan rangkaian artikel yang mengetengahkan tema-tema seputar kebijakan, implementasi, industri, perkembangan global, dan teknologi proses produksi dan bahan baku dalam hubungannya dengan *biofuel*, khususnya *biofuel* berkelanjutan.

Semoga artikel-artikel yang ditampilkan dalam edisi kali ini dapat bermanfaat bagi para pembacanya.

Henricus Herwin

SVP Strategy & Investment PT Pertamina
(Persero)

CONTENT

1	PRAKATA A. Salyadi Saputra Direktur Strategi, Portofolio dan Pengembangan Usaha PT Pertamina (Persero)	iii
2	PROLOGUE Henricus Herwin SVP Strategy & Investment PT Pertamina (Persero)	v
3	PERAN <i>BIOFUEL</i> DALAM PEREKONOMIAN NASIONAL: PERSPEKTIF EKONOMI HIJAU Maxensius Tri Sambodo Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)	1
4	AKSELERASI PENGURANGAN EMISI GAS RUMAH KACA DI SEKTOR TRANSPORTASI MELALUI PENYEDIAAN BAHAN BAKAR NABATI Wendy Martedi, Henny Triana, Ahmad Fuadillah Sam PT Pertamina NRE	19
5	PEMANFAATAN BAHAN BAKAR NABATI DI SUB-SEKTOR TRANSPORTASI DARAT Yohanes Handoko Aryanto Pertamina Energy Institute	35
6	PETA JALAN PENGEMBANGAN DAN PENGGUNAAN BIOETANOL SEBAGAI BAURAN BAHAN BAKAR TERBARUKAN DI INDONESIA Prof. Ir. Tirta Prakoso, S.T, M.Eng, Ph.D, Dr. Jenny Rizkiana, ST, MT, Dr. Tatang Hernas Soerawidjaja, Dr. Astri Nur Istyami, ST, MT Fakultas Teknologi Industri, ITB	51
7	PERAN INDONESIA DALAM POROS PEMBENTUK ASEAN <i>BIOFUEL ACTION</i> Dr. Peggy Hariwan International Energy Agency	66
8	PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DAN SUMBER BAHAN BAKU <i>BIOFUEL</i> BERKELANJUTAN Agung Nugroho ¹ , Deliana Dahnum ² ¹ Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pertamina, ² Pusat Riset Kimia, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)	76
9	TRANSISI ENERGI: MERACIK FORMULA INOVATIF ETANOL UNTUK MASA DEPAN TERANG Sudiyani, Eka Triwahyuni, Sri Sugiwati, Roni Maryana, Muryanto, Teuku Beuna Bardant, dan Muhammad Arifuddin Fitriady Pusat Riset Kimia, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)	93
10	TEKNOLOGI DAN BAHAN BAKU <i>BIOFUEL</i> BERKELANJUTAN Mochamad Yusuf Efendi, Aulia Rahmi, Haqqyana, Klanita Sabira, Tiara Febriani, Vifki Leondo, Yuswan Muharram, Misri Gozan Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia	108
11	TRANSFORMATIVE SHIFTS IN BIOFUELS: DRIVING NET-ZERO GOALS AND SUSTAINABLE GROWTH Sushant Gupta Wood Mackenzie	119
12	SUSTAINABLE <i>BIOFUEL</i> DEVELOPMENT AND TREND IN THE GLOBAL ENERGY TRANSITION Artem Abramov, Nikoline Bromander, Lars Klesse, Thiago Sinzato, and Angel Jain Rystad Energy	130
13	DISCLAIMER	141

PERAN *BIOFUEL* DALAM PEREKONOMIAN NASIONAL: PERSPEKTIF EKONOMI HIJAU

Maxensius Tri Sambodo

Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Email: maxe001@brin.go.id

Abstrak

Bagaimana peran *biofuel* dalam perekonomian Indonesia jika ditelusuri dari dimensi lingkungan, ekonomi, dan sosial atau bisa disebut sebagai ekonomi hijau? Pertanyaan ini penting untuk dijawab karena posisi Indonesia yang sangat penting sebagai pemain *biofuel* tiga terbesar di dunia. Kajian ini menggunakan pandangan transformatif melalui aplikasi ekonomi hijau, dan berbasis dengan data sekunder, serta beragam dokumen. Dari sisi lingkungan khususnya di sisi hulu tampak dimensi keberlanjutan masih menjadi tantangan yang berat yang perlu diselesaikan khususnya untuk pemasok material dari kelompok petani kecil. Dari sisi ekonomi energi, *biofuel* telah berperan dalam meningkatkan ketahanan energi dari sisi baruan energi terbarukan dan ketersediaan. Aspek sosial memperlihatkan, meskipun potensi gejolak harga dapat diatasi dengan pemberian dana insentif biodiesel, namun kebijakan belum tentu memenuhi sisi keadilan, dan sangat mungkin terjadi biaya kesempatan yang besar, jika tidak diimbangi dengan peningkatan efisiensi dan produktivitas.

Kata Kunci: *Biofuel*, Ekonomi Hijau, Energi, Biodiesel

Pendahuluan

Posisi Indonesia dalam hal produksi *biofuel* berada dalam urutan tiga besar dunia setelah Amerika Serikat dan Brasil dengan tingkat produksi mencapai 174.000 barel setara minyak per hari di tahun 2022 (Nabilah Muhamad, 2023). *Biofuel* memegang peran yang semakin penting dalam postur energi baru dan terbarukan. Di sektor transportasi global, dari sekitar 163 miliar barel *biofuel* yang dihasilkan tahun 2019, sebanyak 70 persen dalam bentuk etanol, 25 persen biodiesel, dan

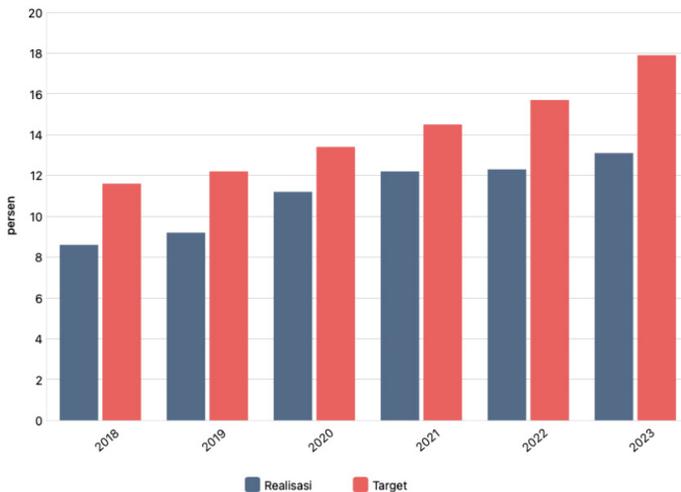
5 persen dari *hydrogenated vegetable oil* (HVO) (Mori, A., 2024).

Sejak tahun 2016, kontribusi *biofuel* telah melampaui peran panas bumi dalam bauran pasokan energi primer (ESDM, 2022). Konsumsi *biofuel* yang terus meningkat juga mampu menyusul peranan pembangkit listrik tenaga air (ESDM, 2022). Peranan *biofuel* diperkirakan akan terus meningkat, seiring dengan rencana pemerintah untuk meningkatkan

bauran *biofuel* dari 35 persen (B35) dan 65 persen minyak diesel saat ini, menjadi 40 persen *biofuel* (B40) di tahun 2030 dan 50 persen *biofuel* (B50) di tahun 2050 (Nabilah Muhamad, 2023; Faqihah M. I., 2024). *Biofuel* memiliki beberapa varian seperti biodiesel, bioetanol, dan bahan bakar nabati lainnya. Target alokasi *biofuel* di tahun 2023 mencapai 12,3 juta KL, sementara itu target yang diterapkan dalam Rencana Umum Energi Nasional (RUEN) sebesar 11,2 juta KL (Faqihah M. I., 2024). Dalam RUEN, disebutkan di tahun 2024 dan 2025, target kuota *biofuel* masing-masing 13,1 juta KL dan 13,9 juta KL. Pemerintah melalui Direktorat Jenderal Energi Baru dan Terbarukan dan Konservasi Energi cukup optimis target tersebut dapat dicapai (Faqihah M. I., 2024). Selanjutnya, pemerintah juga mengatakan dari sebesar 12,3 juta KL biodiesel yang dimanfaatkan, dapat menghemat devisa negara sebesar

Rp 122 triliun dan mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 132 juta ton CO₂ (Faqihah M. I., 2024).

Gambar 1 memperlihatkan target bauran energi baru dan terbarukan sejak tahun 2018 belum pernah tercapai, bahkan antara tahun 2021 dan 2022, besaran realisasi cenderung tidak mengalami perubahan. Di tahun 2022, proporsi *biofuel* terhadap total pasokan energi primer (tidak termasuk biomasa tradisional) mencapai 4,23 persen, sementara itu di tahun 2012, angkanya masih sekitar 0,35 % (ESDM, 2022). Hal ini mengindikasikan, setiap tahun, secara rata-rata peran *biofuel* terhadap total pasokan energi primer naik sekitar 0,38 persen. Meskipun angkanya tampak relatif kecil, namun peranan *biofuel* terhadap bauran energi baru dan terbarukan mencapai 34,4 persen (total bauran energi baru dan terbarukan dalam pasokan energi primer sekitar 12,3 persen di tahun 2022).



Gambar 1. Realisasi dan Target Bauran Energi Baru dan Terbarukan Indonesia (2018 – 2023)

Sumber: Adi Ahdiat, 2024

Biofuel memiliki keterhubungan dengan perekonomian berkelanjutan melalui sisi pengurangan kemiskinan, pembangunan sektor pertanian, produksi energi terbarukan, pertumbuhan ekonomi, kebijakan perubahan iklim, perlindungan lingkungan hidup, pengurangan emisi karbon, emisi gas rumah kaca, kebijakan penggunaan lahan, inovasi teknologi, dan pembangunan (Morshadul Hasan, et al., 2023). Keberlanjutan ekonomi *biofuel* akan terkait secara erat dengan tujuan pembangunan berkelanjutan (SDGs) nomor 1 (tanpa kemiskinan), 2 (tanpa kelaparan), 7 (energi bersih dan terjangkau), 8 (pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi), 13 (penanganan perubahan iklim), 15 (menjaga ekosistem darat), dan 17 (kemitraan untuk mencapai tujuan) pembangunan (Morshadul Hasan, et al., 2023).

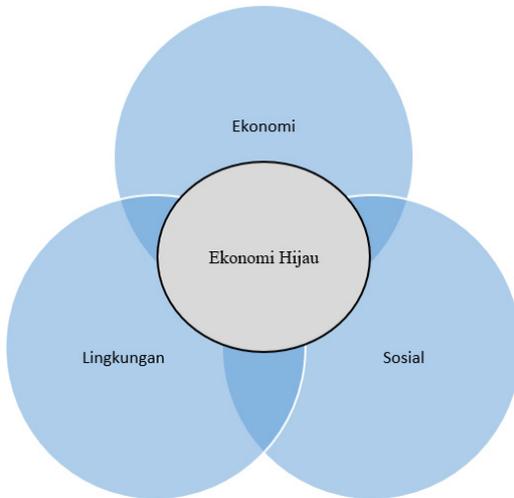
Demikian juga dari beragam informasi diketahui, sejak tahun 2015 hingga kuartal pertama tahun 2020, pendapatan yang diperoleh dari pajak ekspor *biofuel* sebesar Rp 50,8 triliun dan sekitar Rp 37 triliun dipergunakan untuk subsidi *biofuel* (Rahmanulloh, A, 2020). Pemerintah juga mengatakan program B20 dan B30 biodiesel dapat menghemat anggaran sebesar RP 79,2 triliun dan Rp 112,8 triliun setiap tahun (Lidyana, V, 2019). Program biodiesel 30% (B30) mampu menciptakan kesempatan

kerja langsung sebesar 1,2 juta petani dan 9055 pekerja di luar sektor pertanian (*off farm*) (Hasan, F., dan Hidayat, A.N., 2020). Demikian juga dengan biodiesel minyak yang dapat mengurangi 20 – 40 persen emisi hidrokarbon dibandingkan dengan hanya menggunakan minyak diesel murni (Searle, S. dan Bitnere, K., 2018). Pada sisi lain, ada juga argumen yang mengatakan pengembangan perkebunan sawit antara tahun 2000 dan 2010 telah menyumbang 11 persen deforestasi (Abood, S.A., et al., 2015). Ibarat timbangan melihat peran *biofuel* bagi perekonomian nasional bukanlah hal yang sederhana. Hal ini juga sejalan dengan prinsip menjalankan perekonomian nasional tidak hanya dilihat dari tujuan ekonomi semata. Di dalam UUD 1945 Pasal 33 Ayat 4 dikatakan “perekonomian nasional diselenggarakan berdasar atas demokrasi ekonomi dengan prinsip kebersamaan, efisiensi berkeadilan, berkelanjutan, berwawasan lingkungan, kemandirian, serta menjaga keseimbangan kemajuan dan kesatuan ekonomi nasional”. Dengan dasar filosofis ini maka cara pandang atas peran *biofuel* juga perlu melihat sisi yang lebih holistik.

Masih sejalan dengan amanat UUD Pasal 33 Ayat 4, gambar di bawah ini meneguhkan akan sasaran dari pengembangan *biofuel* juga perlu sejalan dengan prinsip ekonomi hijau. Ekonomi hijau pertama kali disebutkan dalam laporan yang

berjudul *'Blueprint for a Green Economy'*. Namun istilah *green economy* ini tidak dikembangkan lebih lanjut oleh para penulis tersebut, sehingga istilah ini lebih merupakan pemikiran lanjutan atas laporan tersebut (UNDESA, 2012). Di bulan November 2011, UNEP mengeluarkan *Green Economy Report Flagship*, dan dalam report tersebut ekonomi hijau definisikan *"one that results in improved human well-being and social equity, while significantly reducing environmental risks and ecological scarcities"*. Ekonomi hijau, bertujuan untuk memperbaiki

outcome dari sistem ekonomi yang berjalan saat ini (sistem pasar) yang tidak berkelanjutan, karena telah mengaburkan nilai lingkungan dan keadilan (baik intra dan antar generasi) (Arief Anshory Yusuf, 2022). Oleh karena itu, UNEP *"the concept of green economy should be seen as consistent with the broader and older concept of sustainable development"* (UNDESA, 2012). Dengan demikian, mendorong peran *biofuel* dalam perekonomian, perlu sejalan dengan upaya memperkuat posisi Indonesia dalam mewujudkan ekonomi hijau (gambar 2).



Gambar 2. Tiga Pilar Keberlanjutan

Sumber: Mizik, T dan Gyarmati, G., 2022

Tulisan ini berisikan telaah akan peran *biofuel* bagi perekonomian nasional dilihat dari perspektif ekonomi hijau melalui gaya diskusi transformatif. Sudut pandang transformatif (*transformative worldview*), membuka ruang akan interaksi

politik dan agenda perubahan politik untuk memenuhi keinginan keluar dari tekanan sosial (Mertens, D.M., 2010). Tekanan sosial diletakan pada upaya untuk mewujudkan ketahanan energi yang mencakup lima dimensi yaitu (Savacool, B.K., 2011): regulasi

dan tata kelola, ketersediaan energi, perkembangan teknologi dan efisiensi, keberlanjutan lingkungan, dan keterjangkauan. Lebih jauh, potensi adanya konflik antara meletakkan dasar kepentingan pada sisi ketersediaan, akses, keterjangkauan, dan penerimaan, juga menjadi hal yang tidak mudah dipercahkan dalam konstruksi tekanan sosial. Potensi konflik ini sangat terbuka karena pengembangan *biofuel* yang menyangkut kehidupan banyak orang, terutama petani kecil yang terlibat langsung pada pembudidayaan tanaman sawit, dan masyarakat global yang membutuhkan pasokan bahan bakar ramah lingkungan untuk menunjang kegiatan perekonomian.

Sistematika penulisan akan terbagi dalam lima bagian. Setelah pendahuluan, bagian kedua akan melakukan telaah atas dinamika *biofuel* dari perspektif lingkungan. Dinamika perspektif ekonomi energi disajikan pada bagian ketiga, dan bagian keempat mendiskusikan dinamika dari perspektif sosial. Bagian akhir ditutup dengan kesimpulan.

Dinamika *Biofuel* dari Perspektif Lingkungan

Secara umum diketahui, *biofuel* generasi pertama dihasilkan dari bahan makanan, seperti minyak sawit mentah (*crude palm oil*

/ CPO). *Biofuel* generasi kedua dibuat dari bahan yang tidak dapat dikonsumsi. Selanjutnya, generasi ketiga berasal dari alga, dan generasi keempat berasal dari organisme hasil rekayasa genetika (Mizik, T dan Gyarmati, G., 2022). Generasi keempat diyakini sebagai pilihan yang paling menjanjikan di masa depan, meskipun terdapat permasalahan serius, termasuk risiko lingkungan dan kesehatan manusia (Mizik, T dan Gyarmati, G., 2022). Menimbang pada tingginya jasa ekosistem yang dapat diberikan oleh mikroalga, maka budidaya mikroalga mempunyai potensi paling tinggi dalam menghemat emisi CO₂ (Mizik, T dan Gyarmati, G., 2022). Generasi keempat *biofuel* tidak hanya mampu menyelesaikan masalah '*food versus fuel*', tetapi juga efektif dalam perubahan iklim dan pemanasan global (Mizik, T dan Gyarmati, G., 2022). Namun demikian, generasi keempat *biofuel* masih belum masuk pada tahap komersialisasi karena kebutuhan investasi yang besar dari sisi pembangunan bio reaktor (Mizik, T dan Gyarmati, G., 2022).

Indonesia masih terjebak pada *biofuel* generasi pertama dan hal ini membuat produksi energi memberikan tekanan pada ketersediaan pasokan bahan makanan, konservasi biodiversitas, hak atas tanah, dan juga perubahan iklim. Kondisi ini memberikan pilihan sulit pengembangan *biofuel* dari sisi iklim-energi-tanah. Sementara itu, generasi lainnya relatif belum banyak

dikembangkan. Langkah pemerintah Indonesia untuk 'berkompromi' atas ketiga kepentingan tersebut yaitu dengan mendorong diterapkannya sertifikasi *Indonesian Sustainable Palm Oil* (ISPO) di tahun 2011 dan rencananya di tahun 2025, ISPO juga perlu diadopsi oleh para petani kecil. Secara total baru sekitar 26 persen lahan perkebunan sawit yang telah memiliki ISPO dan untuk petani kecil jumlahnya jauh lebih rendah yaitu baru sekitar 4 persen (Faqihah, M, I., 2024). Hal ini tentu dapat menjadi ganjalan untuk mendorong peran industri *biofuel* yang lebih berkelanjutan.

Kondisi ini dapat dipahami karena sisi ekonomi dan sosial lebih mendasari pembangunan industri *biofuel*. Sejak program *biofuel* dikembangkan tahun 2006 (Instruksi Presiden No. 1/2006), sisi lingkungan pengembangan *biofuel* relatif belum banyak dibicarakan. Hal ini karena motivasi awal pengembangan *biofuel* lebih pada tujuan ekonomi dan ketahanan energi (Halimatussadiyah, et.al 2024). Naiknya kebutuhan *biofuel*, dapat memberikan tekanan pada produsen minyak sawit, dan dapat mendorong terjadinya deforestasi. Oleh sebab itu, di tahun 2011, 2013, dan 2018, pemerintah menerapkan kebijakan moratorium untuk ekspansi perkebunan sawit. Kebijakan pengembangan *biofuel* lebih bias pada tujuan ekonomi dan hal ini tampak dari beberapa target berikut, seperti (1) penciptaan kesempatan kerja sebesar 3,5 juta; (2)

meningkatkan pendapatan baik *on* dan *off farm* hingga mencapai tingkat pendapatan minimum regional; (3) mengembangkan tanaman *biofuel* di lahan yang tidak termanfaatkan seluas 5,25 juta Ha; (4) mencapai 1.000 desa dalam kondisi kecukupan energi dan dibangun 12 zona khusus *biofuel*; (5) mengurangi subsidi untuk sektor transportasi hingga 10 persen; (6) mengurangi subsidi bahan bakar.

Sebagai bahan bakar yang berbasis sumber daya alam, peran *biofuel* tidak hanya dilihat pada produk akhir sebagai pengganti bahan bakar fosil, namun bagaimana industri ini dapat tumbuh dalam setiap mata rantainya secara berintegritas (Michael E. Porter dan Claas van der Linde, 1995). Industri tidak bergerak dalam ruang yang statis, namun dinamis. Kondisi ini membuat, "*resource productivity, environmental improvement and competitiveness*" hadir secara bersamaan (Michael E. Porter dan Claas van der Linde, 1995). Dengan demikian tantangan industri *biofuel* yaitu bagaimana industri ini dapat semakin mendorong inovasi dalam merespon dinamika regulasi di sektor lingkungan. Hal ini dapat dilakukan dengan mengembangkan teknologi baru serta mengembangkan beragam pendekatan yang dapat meminimalkan biaya dan meningkatkan produktivitas sumber daya (Michael E. Porter dan Claas van der Linde, 1995). Dengan demikian, tuduhan yang memandang industri *biofuel* mengancam ekologis mampu untuk

dibantah dengan berbasis bukti. *Biofuel* akan memberikan dampak besar bagi pembangunan hijau, jika dari sisi hulu hingga hilir, industri ini dibangun dengan mengedepankan praktik ekonomi sirkular yaitu dari sisi efisiensi penggunaan material, energi, air, limbah, dan emisi.

Dinamika *Biofuel* dari Perspektif Ekonomi Energi

Tabel 1 memperlihatkan, sejak tahun 2012 hingga 2022, kontribusi *biofuel* terhadap total pasokan energi primer cenderung mengalami kenaikan. Jika diperhatikan sejak tahun 2016, pasokan *biofuel* secara konsisten terus meningkat. Kondisi tidak dapat dilepaskan atas tiga kondisi utama (Halimatussaidah, A., 2024). Pertama, di tahun 2012, kondisi neraca perdagangan Indonesia mengalami defisit yang cukup

besar dan mendorong Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral untuk mengubah aturan terkait dengan bauran *biofuel* dalam bahan bakar biodiesel. Kedua, kebijakan anti *dumping* yang diterapkan oleh pemerintah Uni Eropa (EU) terhadap produk sawit Indonesia, membuat pasokan CPO melimpah di tahun 2013. Ketiga, di tahun 2015, pemerintah juga kembali meningkatkan proporsi bauran *biofuel* dalam bahan bakar diesel. Dengan demikian, tampak pemerintah mendorong utilisasi *biofuel* dengan menjalankan kebijakan bauran *biofuel* di bahan bakar diesel (misalkan di tahun 2019 ada kebijakan B30, B40 di tahun 2021; dan rencana ke bauran B50), menargetkan bauran energi terbarukan di pasokan energi primer, dan memberikan subsidi untuk penggunaan *biofuel* di sektor transportasi non publik.

Tabel 1. Peran *Biofuel* terhadap Pasokan Energi Primer (dalam BOE)

Sumber: HEESI, 2022 (diolah)

Tahun	<i>Biofuel</i>	Total Pasokan Energi Primer	Proporsi <i>Biofuel</i> (%)
2012	4.339.870	1.341.864.860	0,32
2013	6.798.481	1.316.395.279	0,52
2014	11.966.513	1.328.006.955	0,90
2015	8.380.587	1.298.225.096	0,65
2016	20.625.241	1.366.996.043	1,51
2017	20.947.287	1.409.074.644	1,49
2018	28.312.237	1.536.397.347	1,84
2019	45.927.085	1.625.978.320	2,82
2020	55.515.900	1.512.940.208	3,67
2021	65.566.941	1.550.242.815	4,23
2022	74.370.840	1.831.619.126	4,06

Upaya pemerintah untuk menggenjot produksi *biofuel*, juga tampak dari kapasitas produksi *biofuel* (Tabel 2), yang mengalami kenaikan dari sekitar 11,1 juta KL menjadi 19,2 juta KL antara tahun 2017 dan 2022. Paling tidak ada empat temuan penting terkait dengan perubahan kapasitas produksi dalam lima tahun terakhir ini. Pertama, pulau Sumatera masih menjadi basis produksi *biofuel* nasional, dan saat ini posisi pulau Jawa – Bali dan Kalimantan cenderung berimbang. Kedua, terjadi penambahan kapasitas yang cukup berarti di pulau Kalimantan dibandingkan pulau lainnya, khususnya di provinsi

Kalimantan Timur. Ketiga, terjadi titik baru produksi *biofuel* yang tidak terjadinya sebelumnya di tahun 2007, yaitu di provinsi Jawa Tengah, Lampung, dan Kalimantan Barat. Keempat, menjadi menarik pulau Jawa yang tidak memiliki keunggulan komparatif di produksi CPO, namun memiliki peranan penting dalam hal produksi *biofuel*. Di tahun 2022, luas areal kelapa sawit di Pulau Jawa hanya terdapat di Jawa Barat dan Banten dengan luasan sekitar 0,2 persen dari total luasan nasional yang sekitar 16,83 juta Ha (BPS, 2023). Sementara itu luasan di pulau Sumatera sekitar 60,6 persen dan Kalimantan sekitar 35,5 persen.

Tabel 2. Kapasitas Produksi *Biofuel* (dalam KL)

Sumber: diolah dari ESDM 2022, 2017

Provinsi	2017	2022
Banten	12.000	580.966
Jawa Barat	857.699	857.699
Jawa Tengah	-	138.000
Jawa Timur	2.228.736	3.885.633
Bali	360	360
Jawa - Bali	3.098.795 (27,7)	5.462.658 (28,3)
Riau	4.528.735	5.097.701
Batam	896.522	896.552
Sumatera Utara	912.011	912.000
Lampung	-	885.058
Sumatera	6.337.268 (56,7)	7.791.311 (40,4)
Kalimantan Timur	419.540	2.547.000
Kalimantan Tengah	402.299	402.299
Kalimantan Selatan	440.520	1.702.000
Kalimantan Barat	-	910.345
Kalimantan	1.262.359 (11,3)	5.561.644 (28,8)
Sulawesi Utara	475.862	475.862
Total	11.174.284	19.291.475

Catatan: angka dalam kurung memperlihatkan proporsi terhadap total

Dengan memperlihatkan luasan kebun sawit, dan sebaran kapasitas produksi *biofuel*, maka diperlukan dukungan sistem logistik yang handal untuk mengantarkan minyak CPO ke pulau Jawa, khususnya ke provinsi Jawa Timur untuk diproses menjadi biodiesel. Saat ini ada sekitar 21 badan usaha yang memasok biodiesel, seperti Sinar Mas (kapasitas 1,47 juta KL), Wilmar group (kapasitas 4,89 juta KL), Musim Mas (kapasitas 2,2 juta KL), Royal Golden Eagle (kapasitas 2,2 juta KL) (Denis, R. M., 2023). Dengan demikian, keempat perusahaan tersebut menguasai sekitar 55,7 persen kapasitas *biofuel* nasional.

Dengan mengambil dasar harga indeks pasar biodiesel di akhir tahun 2017 sekitar Rp 8.491 per liter (plus ongkos angkut) (Nicko Yoga Permana, 2017) dan harga di akhir tahun 2022 sekitar Rp 12.039 (plus ongkos angkut) (Humas EBTKE, 2022), maka dengan asumsi pemanfaatan kapasitas produksi mencapai 100 persen, maka nilai kapitalisasi produksi biodiesel Indonesia antara tahun 2017 dan 2022, mengalami kenaikan dari sekitar Rp 94,88 triliun menjadi sekitar Rp 232,25 triliun (belum termasuk ongkos angkut). Nilai kapitalisasi biodiesel, sekitar 17,5 persen dari total penjualan dan pendapatan lainnya yang diterima oleh Pertamina di tahun 2022 (*Annual Report* PT Pertamina (Persero), 2022). Dengan

mempertimbangkan tingkat perubahan harga serta kapasitas, maka tampak perubahan kapasitas jauh lebih besar dibandingkan perubahan harga. Hal ini sekaligus menandakan kondisi perubahan kapasitas yang bersifat elastis terhadap perubahan harga. Keinginan pemerintah untuk meningkatkan bauran *biofuel*, akan mendorong peningkatan kapasitas biodiesel. Dengan kata lain, bisnis *biofuel* masih sangat menjanjikan di pasar domestik. Pada sisi lain, naiknya kapasitas produksi perlu diimbangi dengan perbaikan dari sisi produktivitas bahan baku *biofuel*. Penambahan kapasitas yang tidak diimbangi dengan perbaikan dari sisi produksi (produktivitas), akan semakin membutuhkan lahan yang luas, dan ini dapat mendorong potensi konflik yang semakin meningkat.

Tabel 3 memperlihatkan posisi produksi dan ekspor biodiesel antara tahun 2012 dan 2022. Rasio ekspor biodiesel yang semakin menurun menandakan sebagian besar produksi digunakan untuk kebutuhan domestik. Namun demikian, tampak anomali terjadi di tahun 2018 dan 2019. Hal ini terjadi karena di tahun 2015 dan 2017, produk biodiesel Indonesia terkena tuduhan *dumping* dari Uni Eropa (Tungkot Sipayung, 2024). Namun demikian di tahun 2018 dan 2019 kembali terjadi kenaikan ekspor biodiesel karena Indonesia menang dalam gugatan banding di

Mahkamah Uni Eropa. Menimbang pada besar nilai ekspor biodiesel, maka tampak kontribusi ekspor biodiesel terhadap penerimaan devisa relatif tidak sebesar kondisi sebelum tahun 2020. Ancaman restriksi perdagangan

dan meningkatkan permintaan biodiesel domestik menjadi alasan melemahnya posisi ekspor. Dengan demikian tampak, dalam hal orientasi pasar *biofuel* lebih menguat pada pemenuhan pasar domestik.

Tabel 3. Produksi dan Ekspor Biodiesel (dalam ribu KL)

Sumber: ESDM, 2022 (diolah)

Tahun	Produksi	Ekspor	Porsi Ekspor terhadap Produksi (%)
2012	2221	1.552	69,9
2013	2.805	1.757	62,6
2014	3.961	1.629	41,1
2015	1.620	328	20,2
2016	3.656	477	13,0
2017	3.416	187	5,5
2018	6.168	1.803	29,2
2019	8.399	1.319	15,7
2020	8.594	36	0,4
2021	10.240	133	1,3
2022	11.836	372	3,1

Dinamika *Biofuel* dari Perspektif Sosial

Pemerintah memberikan insentif untuk menjalankan program mandatori pasokan biodiesel untuk memasok kebutuhan nasional. Kebijakan insentif ini dilaksanakan sejak 1 September 2018. Sehingga selisih kurang antara harga indeks pasar (HIP) minyak solar dengan HIP biodiesel akan ditutupi dengan insentif ini. Dana insentif ini bukan berasal dari Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (APBN),

namun dari pajak ekspor CPO yang diterima oleh Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDP-KS). BPDP-KS melakukan penghimpunan dana dari beberapa sumber salah satunya dari pelaku usaha yang menanam sawit dikenakan pajak ekspor produk dan pajak royalti dari kelapa sawit. Di tahun 2022, BPDP-KS merealisasikan insentif biodiesel sebesar Rp 34,674 triliun dari target yang direncanakan sebesar Rp 57,922 triliun (BPDP, 2022). Insentif yang menurun dari target karena selisih antara HIP biodiesel

dan HIP solar yang tidak terlalu besar akibat naiknya harga minyak bumi. Sementara itu, dari pungutan ekspor berhasil dikumpulkan sebesar Rp 34,715 triliun. Namun demikian, pendapatan BPDP-KS turun sekitar 50 persen dibandingkan dengan tahun sebelumnya. Hal ini karena kebijakan DPO/DMO, larangan ekspor CPO, penurunan tarif pungutan ekspor, dan turunnya harga CPO di semester II tahun 2022 (BPDP, 2022).

Dengan demikian, dana pajak ekspor CPO sebagian besar digunakan untuk mencapai paritas harga biodiesel dengan minyak solar. Namun demikian, sebagaimana disebutkan dalam Visi dan Misi BPDP-KS, disebutkan akan delapan program yaitu: pengembangan sumber daya manusia, penelitian dan pengembangan, promosi, peremajaan sawit rakyat, sarana dan prasarana, pemenuhan kebutuhan pangan, hilirisasi industri perkebunan sawit, serta penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati. Namun, jika sebagian besar pajak ekspor digunakan untuk mengkompensasi harga *biofuel* yang rendah dibandingkan dengan minyak solar, maka tidak cukup sumber daya untuk menjalankan program lainnya dan hal ini tentu akan semakin memperbesar biaya kesempatan (*opportunity cost*) dari kebijakan insentif biodiesel.

Di dalam revisi rencana bisnis dan anggaran, tampak besaran pungutan ekspor mengalami kenaikan

yang signifikan. Hal ini karena dilakukannya penyesuaian atas tarif ekspor sebagaimana dinyatakan dalam PMK Nomor 23/PMK.05/2022 yang berlaku tanggal 18 Maret 2022 dan PMK Nomor 103/PMK05/2022 yang berlaku tanggal 14 Juni 2022. Pungutan ekspor menjadi hal yang sangat penting dalam memperkuat posisi keuangan BPDPKS sebagai lembaga Badan Layanan Umum. Pungutan ekspor terbagi dalam dua komponen utama yaitu minyak sawit dan turunan kelapa sawit. Jika dilihat dari komposisi volume ekspor minyak sawit, maka di tahun 2022, sekitar 81,79 persen masuk dalam kategori minyak sawit lainnya (*other palm oil*); CPO sebesar 13,13 persen; *crude oil of palm kernel* 0,41 persen; dan *other palm oil kernel* sekitar 13,13 persen. Lima negara yang menjadi pengimpor utama minyak sawit Indonesia yaitu India, Italia, Malaysia, Kenya dan Belanda, dengan total ekspor CPO ke lima negara tersebut mencapai 95,38 persen (BPS, 2023). Namun demikian sekitar 83,45 persen diserap di pasar India (BPS, 2023).

Gambar 3 memperlihatkan tren harga minyak sawit dan inti sawit mengalami kenaikan, meskipun di beberapa tahun tampak mengalami penurunan yang signifikan. Jika diperhatikan pola setelah tahun 2018 - 2022, rata-rata volume ekspor minyak sawit Indonesia mengalami penurunan sebesar 2,86 persen antara tahun 2018 – 2022, namun dari sisi harga per ton memperlihatkan

Tabel 4. Perbandingan Proyeksi Keuangan BDPKS antara RSB Tahun Anggaran 2020-2024 (khusus tahun 2022) dengan Revisi RBA Tahun 2022

Sumber: BDPKS, 2022

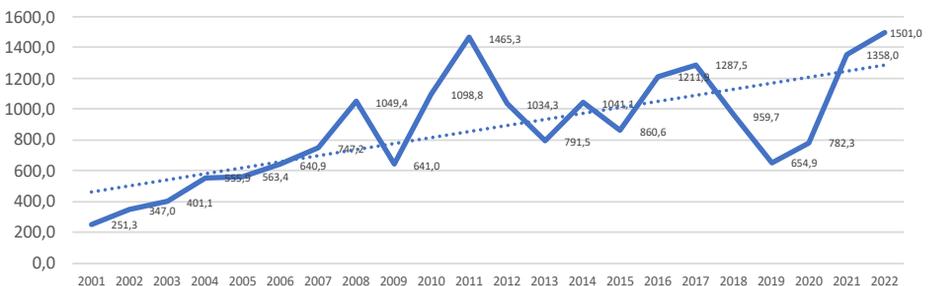
(dalam miliar Rupiah)

No.	Uraian	RSB TA 2022	RBA TA 2022
A	Saldo Awal	16.281	21.704
B	Pendapatan	13.810	68.180
	1. Pungutan Ekspor	11.361	67.227
	2. Pengelolaan Dana	2.450	953
C	Belanja	18.357	73.011
	1. Insentif Biodiesel	15.057	57.922
	2. Peremajaan	2.625	5.613
	3. Pengembangan SDM	98	140
	4. Riset	128	119
	5. Sarana dan Prasarana	204	676
	6. Promosi	102	127
	7. Insentif Minyak Goreng	-	8.307
	8. Operasional/Dukungan Manajemen	144	107
D	Dana Cadangan	621	500
E	Surplus (Defisit) Berjalan	(5.168)	(5.331)
F	Saldo Akhir	11.113	16.373
G	Akumulasi Dana Cadangan	2.492	4.500

Catatan: TA (Tahun Anggaran); RSB (Rencana Strategis dan Bisnis); RBA (Rencana Bisnis Anggaran)

kenaikan rata-rata sekitar 19,2 persen (BPS, 2023). Harga sawit yang cenderung naik sejak tahun 2019, diharapkan dapat memberikan dampak keuntungan tidak hanya pada produsen sawit skala besar, namun juga petani kecil. Merujuk pada data rata-rata nilai tukar petani subsektor tanaman perkebunan rakyat, tampak ada korelasi positif

antara perbaikan harga ekspor dengan nilai tukar. Antara tahun 2018 – 2022, terjadi kenaikan rata-rata nilai tukar petani sebesar 6,7 persen (BPS, 2022). Meskipun, proporsi kenaikan nilai tukar petani tidak sebesar rata-rata kenaikan harga ekspor, namun kondisi ini memberikan dampak berarti bagi kesejahteraan petani sawit.



Gambar 3. Rata-rata Harga Ekspor Minyak Kelapa Sawit dan Inti Sawit (2001 – 2022) dalam USD/ton

Sumber: BPS, 2023 (diolah)

Namun demikian, Serikat Petani Kelapa Sawit (SPKS) menilai kebijakan alokasi belanja BDPKKS belum memperlihatkan keberpihakan pada kelompok petani dan hal ini tampak dari anggaran peremajaan sawit yang relatif kecil (Serikat Petani Kelapa Sawit, 2024). Sehingga kebijakan ini hanya menguntungkan industri sawit dan kurang berdampak pada kesejahteraan petani. Proporsi luasan area perkebunan sawit di Indonesia, sekitar 55,9 persen dimiliki oleh perusahaan perkebunan besar swasta, dan sekitar 40,5 persen dimiliki oleh perkebunan rakyat, serta sisanya dimiliki oleh perkebunan besar negara (BPS, 2023). Namun demikian, ketimpangan dalam hal produktivitas (produksi CPO terhadap luas lahan), perkebunan besar negara sebesar 4868 Kg/Ha; perkebunan swasta 3821 Kg/Ha; dan perkebunan rakyat 3.359 Kg/Ha (BPS, 2023). Berbasis pada informasi ini, maka penting untuk mendorong produktivitas perkebunan rakyat dan hal ini dapat dilakukan dengan membantu petani untuk melakukan peremajaan. Urgensi untuk melakukan peremajaan sawit rakyat juga tampak dari rencana pemerintah untuk meningkatkan dana bantuan dari Rp 30 juta per Ha dengan maksimal luasan kebun 4 Ha menjadi Rp 60 juta per Ha (Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, 2014).

Akhirnya, paling tidak ada tiga tantangan dari sisi hulu dan hilir

biofuel khususnya yang berbasis sawit (Catur Sugiyanto, 2020). Pertama, lemahnya keberpihakan pada petani sawit dan lemahnya posisi tawar petani. Hal ini tampak dari kebijakan pemerintah yang cenderung menaikkan pajak ekspor CPO (*Crude Palm Oil*) ketika harga CPO dunia naik, dan sebaliknya cenderung pasif ketika harga CPO turun. Kebijakan ini akan berdampak besar pada petani, karena dari sekitar 14,3 juta lahan sawit, sekitar 54 persen dikendalikan oleh perusahaan swasta, 7 persen oleh perusahaan negara, dan 41 persen oleh petani swadaya (Ferdy Hasiman, 2020).

Kedua, kebijakan anti sawit yang semakin kuat terutama di pasar Uni Eropa untuk melakukan perlindungan pasar terhadap minyak nabati dari negara mereka. Ketiga, kebijakan mandatori bauran biodiesel perlu secara cermat memperhatikan dampaknya baik pada industri dan petani, agar terbangun keadilan pada semua pelaku pasar. Tantangan lainnya terkait dengan diskursus konversi bahan pangan menjadi *biofuel* (Toto Subandriyo, 2022). Kekurangan pasokan minyak goreng di negara penghasil CPO terbesar dunia sungguh sangat ironis. Posisi Indonesia sebagai produsen terbesar ketiga *biofuel* setelah Amerika Serikat dan Brasil, ternyata berdampak besar pada gangguan ketersediaan minyak goreng. Dengan demikian, kebijakan *biofuel*

jangan sampai membahayakan ketahanan pangan (Toto Subandriyo, 2022).

Kesimpulan

Indonesia masuk dalam rangking tiga besar dunia dalam hal produksi *biofuel*. Bahkan *biofuel* memberikan sumbangan terbesar dalam hal bauran energi terbarukan, dibandingkan dengan tenaga air dan panas bumi. Upaya pemerintah yang secara konsisten meningkatkan bauran *biofuel* dalam bahan bakar minyak solar menjadi penting bagi terbangunnya industri *biofuel*. Ketergantungan pada impor bahan bakar minyak, dapat secara bertahap dikurangi dengan meningkatkan bauran *biofuel*. Hal ini tidak hanya berdampak positif bagi penyelamatan devisa, namun juga mampu menjaga ketahanan energi. Mendudukan peran *biofuel* dalam perekonomian nasional bukanlah hal yang sederhana. Perspektif multisektor menjadi kunci penting untuk memaknai peran *biofuel* secara holistik. Dengan konsep ekonomi hijau, pemetaan ekonomi, sosial, dan lingkungan atas dinamika peran *biofuel* diulas dengan gaya diskusi transformatif.

Telaah dari perspektif lingkungan mengindikasikan, tanpa melakukan upaya mendorong pelaku usaha di hulu memiliki sertifikasi ISPO maka peran industri *biofuel* akan semakin sulit dijalankan secara berkelanjutan. Praktik ekonomi

sirkuler akan memberikan dampak positif untuk meningkatkan integritas terhadap bahan baku *biofuel*. Dari perspektif ekonomi energi, paling tidak ada tiga hal penting yang perlu diperhatikan. Pertama, *biofuel* telah memperbaiki posisi ketahanan energi nasional dari indikator kontribusi bauran energi terbarukan. Kedua, dengan berkembangnya kapasitas produksi *biofuel* di banyak daerah, akan membantu meningkatkan kinerja dari sisi ketersediaan. Ketiga, kebutuhan domestik *biofuel* yang terus meningkat dan tanpa diimbangi dengan perbaikan dari sisi produktivitas akan mengancam sisi keberlanjutan. Sisi perspektif sosial memberikan hasil yang menarik. Upaya menggenjot permintaan domestik dengan kebijakan DMO, akan menekan potensi CPO yang dapat diekspor. Jika tidak banyak CPO dapat diekspor, maka pungutan ekspor juga akan berkurang. Kondisi ini akan mempengaruhi posisi keuangan BPDPKS yang saat ini masih bergantung pada pungutan ekspor sebagai sumber utama penopang keuangan. Sementara itu, karena harga *biofuel* yang relatif lebih mahal dari bahan bakar solar, maka jika harga minyak dunia turun, diperlukan insentif *biofuel* yang lebih besar. Hal ini tentu saja berdampak pada alokasi anggaran untuk keperluannya lainnya yang akan semakin mengecil dan akan membuka ruang konflik khususnya dari sisi keadilan bagi petani kecil.

Referensi

1. Morshadul Hasan, Mohammad Zoynul Abedin, Mohamamd Bin Amin, Md. Nekmahmud, Judit Oláh, Sustainable *biofuel* economy: A mapping through bibliometric research, *Journal of Environmental Management*, Volume 336, 2023, 117644, ISSN 0301-4797, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.117644>.
2. <https://lestari.kompas.com/read/2024/02/27/170000386/penggunaan-biofuel-diproeksi-tembus-13-9-juta-kl-tahun-2025>
3. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-and-economic-statistics-of-indonesia-2022.pdf>
4. https://www.kompas.id/baca/opini/2020/12/19/industri-biofuel-sawit-vs-petani?open_from=Search_Result_Page
5. https://www.kompas.id/baca/artikel-opini/2022/03/14/diskursus-ketahanan-pangan-versus-biofuel?open_from=Search_Result_Page
6. https://www.kompas.id/baca/opini/2020/10/20/mencermati-proyek-biodiesel?open_from=Search_Result_Page
7. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/08/04/indonesia-jadi-produsen-biofuel-terbesar-ketiga-global-pada-2022>
8. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2024/01/17/bauran-ebt-indonesia-naik-pada-2023-tapi-tak-capai-target>
9. <https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-economic-statistics-of-indonesia-2017-1.pdf>
10. Mizik, T.; Gyarmati, G. Three Pillars of Advanced *Biofuels'* Sustainability. *Fuels* 2022, 3, 607-626. <https://doi.org/10.3390/fuels3040037>
11. Halimatussadiyah, A., Moeis, F.R., Izzuddin, A., dan Savitri, I. (2024). Climate Consideration on Bioenergy Policy in Indonesia. Dalam *The Climate-Energy-Land Nexus in Indonesia*, editor Akihisa Mori dan Alin Halimatussadiyah, hal. 70 – 93. Routledge.
12. Rahmanulloh, A. (2020). *Indonesia Biofuel Annual Report 2020*
13. Lidyana, V. (2019). Airlangga Yakin Penerrapan Biodiesel 30% Bisa Hemat Devisa Rp 112 T. Kamis (28 November 2019). Diambil 11 Maret 2024 dari <https://finance.detik.com/energi/d-4801590/airlangga-yakin-penerapan-biodiesel-30-bisa-hemat-devisa-rp-112-t>

Referensi

14. Hasan, F., dan Hidayat, A.N. (2020). Masa Depan Biodiesel Indonesia: Perspektif finance sustainability. Diambil 11 Maret 2024 dari https://sawitindonesia.com/wp-content/uploads/2020/12/2_PRESENTASI-FADHIL-HASAN_INDEF.pdf
15. Searle, S. dan Bitnere, K. (2018). Compatibility of mid-level biodiesel blends in vehicles in Indonesia, working paper 2018-08, International Council on Clean Transportation. Diambil 11 Maret 2024 dari <https://theicct.org/publication/compatibility-of-mid-level-biodiesel-blends-in-vehicles-in-indonesia/>
16. Abood, S.A., Lee, J.S.H., Burivalova, Z., Garcia-Ulloa, J., dan Koh, L.P. (2015). Relative contributions of the logging, fiber, oil palm, and mining industries to forest loss in Indonesia. *Conservation Letters*, 8(1): 58 – 67. Doi:10.1111/conl.12103
17. IESR. (2019). Indonesian Clean Energy Outlook: Tracking Progress and Review of Clean Energy Development in Indonesia, Institute for Essential Services Reform (IESR), Jakarta. Diambil tanggal 11 Maret 2024, dari https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2022/12/Indonesia-Energy-Transition-Outlook_2023.pdf
18. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/GE%20Guidebook.pdf>
19. Arief Anshory Yusuf (2022). <https://www.youtube.com/watch?v=nJFP5Q2bGXk&t=555s>
20. Mertens, D.M. (2010). Research and evaluation in education and psychology: integrating diversity with quantitative, qualitative, and mixed method (3 rd ed.) Thousand Oaks, CA: Sage
21. BPS. (2023). Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2022.
22. <https://ekonomi.bisnis.com/read/20230811/44/1683912/para-konglomerat-penguasa-kilang-biodiesel-di-indonesia>
23. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2017/11/30/1834/harga.indeks.pasar.hip.bahan.bakar.nabati.bbn.bulan.desember.2017>
24. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/11/30/3360/harga.indeks.pasar.hip.bahan.bakar.nabati.bbn.jenis.biodiesel.bulan.desember.2022>
25. https://www.pertamina.com///Media/File/Pertamina_Annual%20Report%202022_20230608.pdf

Referensi

26. <https://palmoilina.asia/sawit-hub/biodiesel-indonesia/>
27. https://bpdp-my.sharepoint.com/personal/tri_sujatmiko_bpdp_or_id/Documents/AR/2022/AR%202022/ANNUAL%20REPORT%202022%20Rev.%207.pdf
28. <https://spks.or.id/detail-sikap-alokasi-dana-sawit-salahkaprah-biodiesel-atau-petani>
29. <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/5648/tingkatkan-produktivitas-sawit-rakyat-pemerintah-dorong-sejumlah-kebijakan-strategis>
30. <https://www.bps.go.id/id/publication/2023/04/10/976011cd754095dec0ba5ef8/statistik-nilai-tukar-petani-2022.html>
31. Michael E. Porter dan Claas van der Linde. (1995). Green and Competition Ending the Stalemate, in *On Competition*, Michael E. Porter (ed). Harvard Business Review, Boston.
32. <https://www.kompas.id/baca/opini/2023/07/03/membangun-industri-sawit-yang-berintegritas>
33. Savacool, B.K. (2011). Evaluating Energy Security in the Asia Pacific: Towards a More Comprehensive Approach. *Energy Policy* 39:7472-79
34. Mori, A. (2024). From the Climate-energy conundrum to the climate-energy-land nexus.. Dalam *The Climate-Energy-Land Nexus in Indonesia*, editor Akihisa Mori dan Alin Halimatussadiyah, hal. 3 – 29. Routledge.
35. <https://lestari.kompas.com/read/2024/02/27/190000286/sertifikasi-ispo-2023-capai-4-2-juta-hektare-kementan-siap-revisi-aturan>

NO PROBLEMO



Oli ENDURO Motor Tangguh

AKSELERASI PENGURANGAN EMISI GAS RUMAH KACA DI SEKTOR TRANSPORTASI MELALUI PENYEDIAAN BAHAN BAKAR NABATI

Wendy Martedi, Henny Triana, Ahmad Fuadillah Sam

Pertamina NRE

Email: wendy.martedi@pertamina.com

Abstrak

Bahan Bakar Nabati (BBN) berperan penting sebagai tonggak utama dalam transisi energi sektor transportasi di Indonesia. Berdasarkan Susmozas et.al (2020), sektor transportasi menjadi salah satu penyumbang Emisi Gas Rumah Kaca (Emisi GRK) dan penyebab polusi udara tertinggi dibanding sektor lain. IESR (2024) menegaskan bahwa Emisi GRK dari sektor transportasi Indonesia di tahun 2022 mencapai 150 juta ton ekuivalen karbon dioksida (tCO₂e). Pemerintah Indonesia melalui beragam regulasi berupaya mengakselerasi penyediaan BBN sebagai respon terhadap tantangan perubahan iklim, ketergantungan kepada bahan bakar fosil, dan capaian *National Determined Contribution* (NDC). Pada saat ini BBN telah diterapkan melalui program Bioediesel, *Sustainable Aviation Fuel* (SAF), dan Pertamax Green 95. Ketersediaan bahan baku untuk produksi BBN dan aturan dari Pemerintah berupa cukai menjadi beberapa tantangan dalam pengembangan BBN di Indonesia. Optimisme Pemerintah, terutama melalui Badan Usaha Milik Negara (BUMN) diharapkan dapat memfasilitasi percepatan implementasi BBN untuk mendukung transisi energi di Indonesia.

Kata Kunci: Bahan Bakar Nabati, Bioetanol, Emisi GRK, Transisi Energi

Pendahuluan

Paris Climate Agreement (COP21) menyoroti dampak signifikan dari pengurangan emisi untuk menghadapi tantangan perubahan iklim di muka bumi. Mengacu dokumen yang sama, emisi perlu dikurangi sampai 45% di tahun 2030 untuk mencapai *Net Zero Emission* (NZE) di tahun 2050 guna menjaga

level kenaikan pemanasan global berada di 1.5°C. Mengacu pada C2ES (n.d.), sumber utama emisi gas rumah kaca global berasal dari kegiatan produksi listrik (31%), pertanian (11%), transportasi (15%), industri (24%), kehutanan (11%), dan sumber energi lainnya (10%). Sektor ketenagalistrikan menjadi penyumbang terbesar, terutama

melalui pembakaran bahan bakar fosil seperti batu bara, gas alam, dan minyak. Kegiatan pertanian, termasuk produksi ternak, pertanian padi, dan penggunaan pupuk, juga berkontribusi signifikan. Sektor transportasi, yang mencakup mobil, truk, kereta api, kapal laut, dan pesawat terbang, menjadi penyumbang emisi global terbesar, terutama karena pembakaran bahan bakar fosil yang digunakan. Sektor industri memberikan kontribusi besar melalui pembakaran bahan bakar fosil sebagai sumber energi utamanya. Deforestasi, penebangan lahan hutan untuk pertanian, dan degradasi tanah di sektor kehutanan juga menyumbang pada emisi. Sementara itu, kategori energi lainnya melibatkan kegiatan seperti ekstraksi bahan bakar, pengolahan, dan transportasi yang tidak langsung terkait dengan produksi listrik. Gas rumah kaca utama yang dihasilkan dari kegiatan manusia meliputi karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrogen oksida (N₂O), dan gas terfluorinasi (F-gas).

Berdasarkan data dari *International Energy Agency* yang diperoleh dari ITDP (2015), sektor transportasi merupakan salah satu sektor penghasil karbon dioksida (CO₂) tertinggi secara global dan bahkan dapat meningkat hingga 120% dari tahun 2000 hingga 2050 sebagai konsekuensi dari peningkatan jumlah mobil di seluruh dunia. Berdasarkan Susmozas et.al (2020), disebutkan bahwa sektor

transportasi menjadi penyumbang Emisi GRK dan polusi udara tertinggi dibandingkan sektor lainnya. Menariknya, menurut ITDP (2015), lebih dari 75% rencana identifikasi dalam sektor transportasi sebagai peluang untuk mengurangi emisi dan bahkan lebih dari setengahnya dapat dijadikan peluang untuk melakukan tindakan aksi mitigasi. Melihat potensi peluang pengurangan emisi yang tinggi tersebut, sektor transportasi dapat menjadi langkah taktis untuk mengakselerasi pengurangan emisi.

Beberapa langkah dilakukan oleh negara yang memiliki komitmen dalam COP21. Amerika Serikat, Cina, Jepang, Uni Emirat Arab, hingga Albania memainkan peranan penting untuk mengurangi Emisi GRK di sektor transportasi. Sebagai contoh Cina sebagai salah satu raksasa di Asia memainkan peranan kunci dimana menurut data dari Ren21 (2019), sektor transportasi di Cina terdapat 781 juta tCO₂e di tahun 2014 yang akan diturunkan agar dapat mencapai capaian target NDC-nya. Amerika Serikat berdasarkan data NDC *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC), sebagai salah satu penggagas memiliki target menurunkan Emisi GRK hingga 50-52% di tahun 2030 dengan langkah tegas yang diambil berupa insentif kendaraan *zero emission*, riset dan pengembangan teknologi transportasi, investasi di infrastruktur pengisian kendaraan

listrik, dan melakukan standar efisiensi untuk emisi karbon dari pembuangan knalpot.

Indonesia, sebagai salah satu negara yang turut andil dalam agenda COP21 juga telah mengambil langkah dalam pengurangan Emisi GRK di sektor transportasi. Secara umum, Indonesia telah melakukan ratifikasi atas *Paris Agreement* melalui Undang-Undang No. 16 Tahun 2016, Pengesahan *Paris Agreement to The United Nations Framework Convention on Climate Change* (Persetujuan Paris Atas Konvensi Kerangka Kerja Perserikatan Bangsa-Bangsa mengenai Perubahan Iklim). Berdasarkan komitmen NDC dalam COP21 di tahun 2015 yang diperbaharui melalui *Enhanced NDC*, Indonesia menyatakan untuk dapat mencapai target menurunkan Emisi GRK sebesar 31% dari kondisi saat ini (*business as usual/BaU*) dengan usahanya sendiri, atau sebesar 43% dengan bantuan internasional. Untuk menurunkan Emisi GRK, Pemerintah menargetkan untuk dapat mencapai NZE secara nasional di tahun 2060 dan hal ini telah dimandatkan juga kepada perangkat-perangkat Pemerintah lainnya seperti Kementerian dan seluruh Perusahaan BUMN.

Penggunaan Energi Baru dan Terbarukan (EBT) menjadi langkah strategis Pemerintah dalam pencapaian target *Enhanced NDC*. Dalam *Enhanced NDC*

2030, sektor energi di Indonesia berkomitmen untuk menurunkan emisi sebesar 358 juta ton CO₂e. Dari jumlah tersebut KESDM (2023) menyampaikan 132 juta ton CO₂e diharapkan berasal dari upaya penerapan efisiensi energi di berbagai sektor, seperti yang diungkapkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM) pada tahun 2022.

Penggunaan EBT, percepatan kendaraan Listrik (*Electric Vehicle/ EV*), dan pencampuran Bahan Bakar Nabati (BBN/*Biofuel*) menjadi beberapa langkah taktis dan kongkrit bagi Pemerintah untuk mendorong industri ramah lingkungan sekaligus transisi energi. Sebagai langkah konkret menuju NZE, pencampuran BBN dengan Bahan Bakar Minyak (BBM) dapat menjadi tonggak pelaksanaan transisi energi saat ini. Optimalisasi cadangan minyak saat ini, jenis kendaraan yang beredar, dan optimisme masyarakat akan perubahan yang berkelanjutan menjadi beberapa justifikasi mengapa BBN menjadi efektif untuk diterapkan untuk mencapai target NZE meskipun beberapa tantangan juga perlu dihadapi. Sebagai langkah konkret dalam implementasi biodiesel, Indonesia menjadi negara pertama di dunia yang berhasil melakukan pencampuran 35% bahan baku biodiesel dengan 65% minyak solar yang dikenal program B35 (Humas EBTKE, 2023). Saat ini, Pemerintah sedang berupaya mengembangkan

Program BBN lainnya berupa bioetanol sebagai bahan bakar campuran dengan persentase 5% Etanol dan 95% Bensin (E5) yang telah diimplementasikan di Surabaya, dan Jakarta. Dalam hal pengembangan Bioavtur sebagai campuran BBN untuk bahan bakar pesawat terbang, uji terbang telah dilakukan dari Bandung ke Jakarta menggunakan Bioavtur 2,4%, atau J2.4.

Penggunaan BBN di Dunia

Mengutip Adiwardhana (2023) tren pemanfaatan dan produksi BBN semakin umum di berbagai negara, didorong oleh kebutuhan akan energi rendah karbon untuk mengurangi emisi gas rumah kaca. Beberapa negara, seperti Brazil dan Amerika Serikat, telah mengadopsi bioetanol dari bahan baku tebu dan jagung sejak beberapa dekade lalu, dengan persentase campuran sekitar 10-15%. Di Indonesia, program penggunaan BBN dimulai pada tahun 2006, dengan persentase campuran 5% bioetanol dan 2,5% biodiesel.

Data produksi BBN global pada tahun 2022 mencapai 1,91 juta *barrel of oil equivalent per day* (boepd), terdiri dari *biogasoline*/bioetanol sebesar 1,06 juta boepd dan biodiesel sebesar 0,84 juta boepd. Produksi bioetanol meningkat sebesar 5,3% dibandingkan tahun sebelumnya, sedangkan biodiesel tumbuh sebesar 6,6%. Mayoritas produksi bioetanol (81%) berasal

dari Amerika Serikat dan Brasil, sementara biodiesel dominan berasal dari wilayah Asia Pasifik, Eropa, dan Amerika Serikat.

Dari segi permintaan, konsumsi BBN pada tahun 2022 mencapai 1,93 juta boepd, terdiri dari *biogasoline*/bioetanol sebesar 1,07 juta boepd dan biodiesel sebesar 0,86 juta boepd. Permintaan bioetanol meningkat sebesar 2,7%, sementara biodiesel tumbuh sebesar 7,8%. Sekitar 74% permintaan bioetanol berasal dari Amerika Serikat dan Brasil, sementara biodiesel banyak diminta di wilayah Eropa, Asia Pasifik, dan Amerika Serikat.

Laporan REN21 (2022) *Global Status Report* menyatakan bahwa 65 negara telah menerapkan kewajiban pencampuran BBN dalam pasokan bahan bakar mereka. Beberapa negara, seperti India dan Korea Selatan, bahkan mengubah kebijakan mereka terkait penggunaan biodiesel untuk mencapai target pencampuran yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih singkat. Sebagai contoh, India mempercepat target pencampuran 20% bioetanol pada tahun 2025-2026, lima tahun lebih awal dari target sebelumnya. Korea Selatan meningkatkan campuran mandatori BBN untuk transportasi jalan dari 3% menjadi 3,5%.

Mengutip Adiwardhana (2023), terdapat perbandingan menarik kebijakan BBN antar negara sebagai berikut:

Tabel 1. Komparasi Kebijakan BBN di Dunia

Sumber: Adiwardhana (2023)

	Brazil	Amerika Serikat	India
Kebijakan jangka panjang	BBN tercantum dalam Rencana Energi Nasional Brasil yang mengatur <i>supply demand</i> energi negara tersebut	Produksi dan pemanfaatan BBN dalam jangka Panjang tercantum dalam UU <i>Energy Policy</i> Tahun 2005 dan UU <i>Energy Independence and Security</i> Tahun 2007.	Terdapat dokumen Kebijakan Nasional BBN, yang menetapkan target penggunaan BBN di sektor transportasi pada 2030
Persentase Pencampuran	<ul style="list-style-type: none"> • Mandatori bioetanol sebesar 27%, berpotensi ditingkatkan menjadi 30% • Mandatori Biodiesel sebesar 12% dan menjadi 15% di 2026 	Dalam dokumen <i>Renewable Fuel Standard</i> , ditetapkan volume dan persentase standar untuk <i>cellulosic biofuel</i> , <i>biomass-based diesel</i> (BBD), <i>advanced biofuel</i> , dan total <i>renewable fuel</i> untuk 2023–2025. Untuk volume bahan bakar terbaru untuk 2023 ditetapkan sebanyak 250 juta <i>gallon</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Mandatori bioetanol sebesar 20% pada 2025-2026 • Mandatori biodiesel sebesar 5% pada 2030
Kebijakan insentif	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemberian pajak lebih rendah 1-3% untuk kendaraan dengan bahan bakar fleksibel (<i>flexfuel</i>) 2. Perbedaan pajak penjualan antara etanol dan <i>gasoline</i> 3. Insentif untuk biodiesel (tergantung dari jenis bahan baku) 	Dalam kebijakan <i>Inflation Reduction Act</i> , diatur <i>tax credit</i> untuk produksi, infrastruktur, investasi pada pabrik dan teknologi SAF	<ol style="list-style-type: none"> 1. Menetapkan secara berkala harga etanol berdasarkan jenis bahan baku 2. Mengurangi pajak barang dan jasa dari 18% menjadi 5%
Kebijakan pasokan	Penetapan mandatori pencampuran etanol 27% sejak 2015 dengan kontrak yang menjamin pasokan etanol dengan harga tertentu	Penetapan volume dalam dokumen RFS, untuk memastikan pasokan dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan baku, dampak biaya dan energi	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bahan baku biodiesel berasal dari minyak nabati non-pangan, minyak jelantah dan lemak hewani 2. Bahan baku bioetanol berasal dari molase dan biji-bijian atau <i>grain</i> (gandum, beras, sorgum, quinoa) tidak layak. Penggunaan tebu atau grain untuk pangan dapat digunakan sepanjang terjadi surplus.

Ketiga negara yang dibandingkan tersebut terbilang sukses untuk menyusun *roadmap* hingga implementasinya dan telah

meletakkan batu pondasi dari hulu ke hilir untuk pengimplementasian BBN di negaranya. Di Asia Tenggara dengan

lanskap yang menyerupai Indonesia, Thailand juga aktif mengembangkan BBN sebagai alternatif terhadap BBM yang terbatas dengan memanfaatkan basis pertanian yang kuat dan surplus produksi tanaman yang cocok untuk BBN. Sejak 1970-an, Thailand telah melakukan percobaan BBN untuk mengatasi krisis energi dan mengurangi ketergantungan pada impor minyak bumi. Jenis BBN yang diproduksi antara lain bioetanol dari molase dan singkong, Biodiesel dari kelapa sawit (CPO), *Bio-crude* dan yang saat ini masih dalam pengembangan yakni *advanced biofuel* dan *Hydrogenation-Derived Renewable Diesel* (HDRD). Menurut *Foreign Agricultural Service, US Department of Agriculture* (2023), Pemerintah Thailand menargetkan peningkatan konsumsi BBN dengan rencana untuk menggandakan target tersebut di COP26 guna mengurangi emisi gas rumah kaca. Meskipun pada tahun 2021, konsumsi BBN masih di bawah target karena dampak pandemi COVID-19, diharapkan Pemerintah Thailand dapat meningkatkan pencampuran BBN yang wajib, terutama setelah penurunan harga CPO. Pada tahun 2023, diperkirakan konsumsi BBN akan naik 6%, sementara produksi bioetanol dan biodiesel di tahun 2021 diproyeksikan akan terus tumbuh, yang menimbulkan tantangan tersendiri pada ketersediaan sumber daya air dan lahan. Selain itu,

Thailand berencana membangun pabrik BBN massal pertama di Asia tanpa mengurangi stok pangan dan berkolaborasi dengan Sumitomo Corp. dari Jepang serta perusahaan lokal.

Penggunaan BBN di Indonesia

Indonesia sebagai negara dengan populasi dan aktivitas ekonomi yang tinggi, menghadapi tantangan besar dalam mengelola sektor transportasi yang menjadi penyumbang Emisi GRK yang signifikan. IESR (2024) menegaskan bahwa Emisi GRK dari sektor transportasi Indonesia di tahun 2022 menghasilkan sampai 150 juta ton ekuivalen karbon dioksida (tCO₂e). Sektor transportasi yang merupakan penyumbang Emisi dengan GRK terbesar berada di DKI Jakarta, kota terbesar di Indonesia. Berdasarkan Laporan Inventarisasi Profil Emisi GRK DKI Jakarta tahun 2019 yang dirilis oleh Dinas Lingkungan Hidup (DLH) dan diterbitkan oleh Databoks (2023), selama periode tahun 2010-2018 sektor transportasi di Jakarta menghasilkan emisi GRK dalam rentang 7,5 juta hingga 13,3 juta tCO₂e per tahun.

Artami (2022) melalui publikasinya menyampaikan paparan terkait Indonesia yang saat ini telah menetapkan kebijakan akselerasi pemanfaatan energi terbarukan melalui *biofuel* di sektor transportasi bukanlah tanpa hambatan. Ketersediaan bahan baku “hijau”

yang masih bertumpu pada CPO dan kondisi Indonesia sebagai pengimporgula, menjaditantang utama dalam pengembangan BBN di Indonesia.

Peraturan Presiden Nomor 5 Tahun 2006 tentang Kebijakan Energi Nasional, merupakan sebuah *baby step* dari implementasi BBN di Indonesia dengan penetapan presentase BBN di tahun 2025 menjadi lebih dari 5%. Peta jalan pun disahkan melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 32 Tahun 2008 tentang Penyediaan, Pemanfaatan, dan Tata Niaga BBN disusul perubahan ketiga dari Permen dimaksud melalui Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 tahun 2015 yang meningkatkan pencampuran Biodiesel menjadi 15% di tahun 2015 dan 20% di tahun 2016. Kondisi terkini, keseriusan BBN dalam Biodiesel terimplementasikan dalam kenaikan campuran Biodiesel yang semula 30% menjadi 35% di tahun 2023. Pada akhir tahun 2023, Pemerintah melalui Peraturan Presiden Nomor 40 Tahun 2023 mengatur target lanjutan mengenai Percepatan Swasembada Gula Nasional dan Penyediaan Bioetanol sebagai BBN dan pada tahun 2030 ditargetkan bioetanol dari tebu mencapai 1,2 juta Kilo Liter (KL) dengan produktivitas hingga 93 ton per hektar.

Melalui Peraturan Presiden Nomor 40 tahun 2023 terkini, seakan menegaskan optimisme akan BBN yang bersumber dari bahan baku

“hijau” yang terus digaungkan. Meskipun pada Oktober tahun 2013, PT. Medco Ethanol Lampung, perusahaan yang sepenuhnya dimiliki oleh Medco Energi melalui anak usahanya, menghentikan operasional pabrik Etanol. Penutupan pabrik tersebut disebabkan oleh kelangkaan bahan baku singkong dan tetes tebu untuk memproduksi etanol.

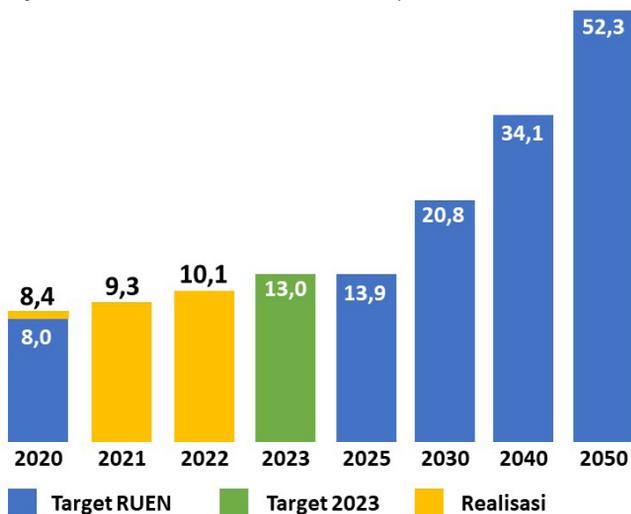
Dalam upaya untuk akselerasi transisi energi, Indonesia memandang BBN sebagai solusi yang menjanjikan dengan segala tantangannya. Fokus utama dalam pemanfaatan BBN di Indonesia terlihat melalui tiga program kunci yakni biodiesel, *Sustainable Aviation Fuel* (SAF), dan bioetanol.

Biodiesel: Mendorong Keberlanjutan Melalui Minyak Sawit

Biodiesel telah menjadi kekuatan utama dalam mewujudkan keberlanjutan dan pengurangan emisi di Indonesia. Sebagai negara yang memimpin panggung dunia dalam penggunaan biodiesel, Indonesia mengadopsi standar nasional B35, yang merupakan campuran 35% biodiesel dan 65% bahan bakar diesel. Langkah signifikan ini berasal dari kebijakan mandatori pencampuran BBN sebesar 2,5%, yang diamankan melalui Instruksi Presiden No. 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan Pemanfaatan BBN sebagai Bahan Bakar Lain.

Keberhasilan pelaksanaan kebijakan ini tercermin dalam peningkatan tingkat pencampuran Biodiesel selama tujuh tahun terakhir, dimulai dari 15% (B15) pada tahun 2015, tingkat pencampuran kemudian meningkat menjadi 20% (B20) pada tahun 2016, mencapai 30% (B30) pada tahun 2020, dan bahkan melonjak menjadi 35% (B35) pada tahun 2023. Adiwardhana (2023) mencatatkan data realisasi RUEN yang menunjukkan bahwa target pemanfaatan Biodiesel pada tahun 2023 sebesar 13 juta KL, hampir mencapai target yang ditetapkan sebanyak 13,9 juta KL.

Dari proyeksi data tersebut, dapat disimpulkan bahwa pada tahun 2025 target RUEN untuk pemanfaatan Biodiesel berpotensi terlampaui. Keberhasilan ini mencerminkan pencapaian positif dalam transisi energi, khususnya di sektor transportasi dengan fokus utama pada bahan bakar diesel. Kesuksesan implementasi Biodiesel juga sejalan dengan upaya Indonesia dalam mencapai tujuan pembangunan keberlanjutan dan mengurangi dampak Emisi GRK dan menjadi tulang punggung pengurangan Emisi GRK di sektor transportasi.



Gambar 1. Realisasi Pemanfaatan Biodiesel vs Target RUEN

Sumber: Kementerian ESDM; diolah Adiwardhana (2023)

SAF: Birukan Langit Melalui Bioavtur

Salah satu kontributor Emisi GRK yang signifikan berasal dari pembakaran bahan bakar pesawat terbang, baik itu pesawat komersial maupun jet pribadi. Pada

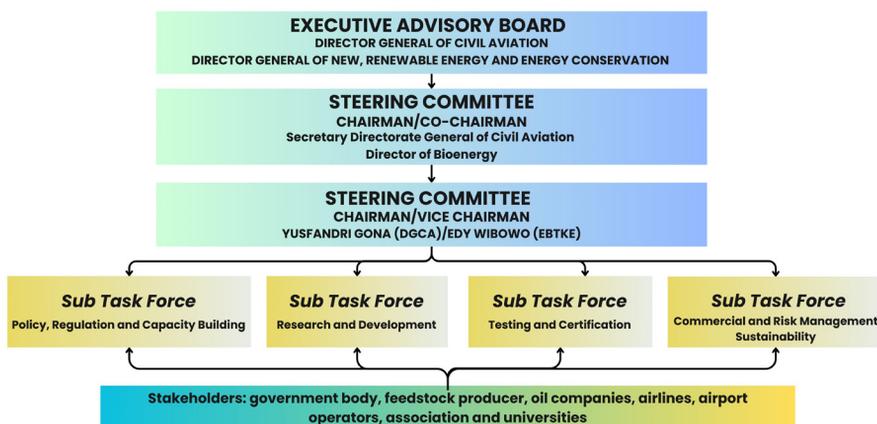
bulan Oktober 2023, Pertamina dan Garuda berhasil mencapai pencapaian bersejarah dengan melakukan penerbangan komersial perdana menggunakan BBN berupa *Sustainable Aviation Fuel* (SAF) atau yang dikenal sebagai

Bioavtur. Sebagaimana dilaporkan dalam artikel resmi Pertamina (2023), pada tahun 2021 PT Kilang Pertamina Internasional berhasil memproduksi SAF J2.4 di Unit Kilang IV Cilacap. Proses produksi ini menggunakan teknologi *Co-Processing* yang melibatkan *Refined Bleached Deodorized Palm Kernel Oil* (RBDPKO), dengan kapasitas harian mencapai 1.350 kiloliter (KL). Penggunaan SAF J2.4 dalam penerbangan ini bukan hanya sekadar implementasi teknologi terbaru, tetapi juga mencerminkan komitmen bersama dari dua BUMN utama, yaitu Pertamina dan Garuda, dalam mendukung pencapaian target NZE.

Inisiasi pengembangan SAF J2.4 tidak lepas dari langkah awal

yang diambil melalui pendirian *Aviation Biofuels and Renewable Energy Task Force* (ABRETF) pada tahun 2014. *Task force* ini dibentuk untuk secara khusus mengurangi Emisi GRK di sektor penerbangan melalui pemanfaatan bahan bakar alternatif yang berkelanjutan dan sumber energi terbarukan. ABRETF memiliki tujuan strategis untuk memperkuat penggunaan *bio-jet fuel* di Indonesia, dengan penekanan pada formulasi kebijakan, penelitian, pengujian, dan aspek komersial. Berbagai pemangku kepentingan, seperti kementerian pemerintah, operator bandara, maskapai penerbangan, dan institusi akademis, berpartisipasi aktif dalam menjalankan tugas-tugas krusial ini.

**INDONESIA AVIATION BIOFUEL AND RENEWABLE ENERGY TASK FORCE (INDONESIA ABRETF)
DG DECREE NO: 517 K/73/DJE/2014 & KP.429 YEAR 2014**



Gambar 2. Struktur ABRETF 2014

Kerjasama antara Pertamina dan Garuda Indonesia bukan hanya terbatas pada pengembangan SAF, tetapi juga mencakup keterlibatan aktif dalam uji coba campuran BBN pada mesin pesawat. Contohnya, uji coba menggunakan campuran bioavtur J2.4 yang mengandung minyak kelapa sawit yang telah melalui proses pengolahan. Langkah-langkah ini menandai sebuah kemajuan signifikan dalam mendukung transisi energi dan mengurangi Emisi GRK dalam penerbangan komersial. Kolaborasi yang solid antara Pertamina dan Garuda Indonesia menjadi elemen kunci dalam pengembangan bahan bakar aviasi ramah lingkungan ini, yang pada gilirannya dapat memberikan dampak positif dalam mencapai sumber energi terbarukan dalam industri penerbangan.

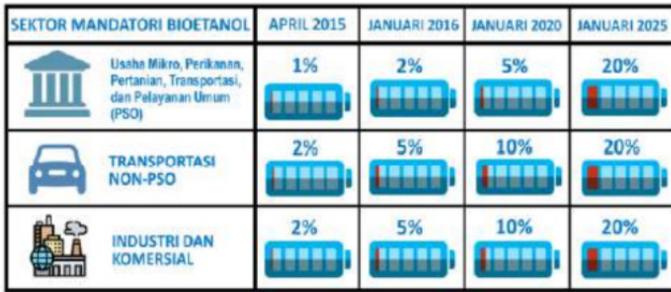
Melihat keberhasilan tersebut, bukanlah tanpa tantangan. Ketersediaan bahan baku yang terbatas mengharuskan pemilihan *feedstock* yang efektif, sementara biaya produksi harus dikurangi agar SAF menjadi ekonomis. Disamping itu, infrastruktur yang terbatas juga perlu diperbesar guna memenuhi kebutuhan produksi, penyimpanan, dan distribusi. Di sisi kelaikan, proses sertifikasi yang rumit menjadi tantangan karena membutuhkan proses yang rumit dan panjang. Teknologi dan inovasi juga menjadi barang mutlak yang perlu dikembangkan

untuk membuat SAF terjangkau sebagai bahan bakar penerbangan. Peningkatan kapasitas produksi, kontrol ekologis, dan penanganan kendala ekonomi melalui dukungan dan investasi dari hulu ke hilir juga menjadi fokus dari Pemerintah yang perlu menjadi perhatian. Dengan pendekatan terintegrasi, termasuk pengembangan teknologi, pemanfaatan sumber daya domestik, regulasi yang efektif, pengelolaan ekonomi, serta pengujian dan pengembangan, diharapkan dapat mengatasi tantangan-tantangan tersebut dan mendorong pertumbuhan SAF di Indonesia.

Bioetanol: Dari Makanan hingga Bahan Bakar

Indonesia aktif menjelajahi potensi bioetanol sebagai sumber bahan bakar terbarukan, seiring dengan mandat Peraturan Menteri ESDM Nomor 12 tahun 2015 yang menetapkan penggunaan campuran bioetanol sebesar 5% (E5) pada tahun 2020, dengan target kenaikan hingga 20% (E20) pada tahun 2025 untuk sektor transportasi.

Lebih lanjut, Pemerintah melalui Peraturan Presiden Nomor 40 Tahun 2023 menetapkan target lanjutan terkait percepatan swasembada gula nasional dan penyediaan bioetanol sebagai BBN. Pada tahun 2030, ditargetkan penambahan luas area baru hingga 700.000 hektar dan produksi bioetanol



Gambar 3. Roadmap Bioetanol Berdasarkan Permen ESDM No. 12 Tahun 2015

dari tebu mencapai 1,2 juta kiloliter dengan produktivitas hingga 93 ton per hektar. Dalam menghadapi tantangan ini, Pertamina sebagai BUMN di bidang minyak dan gas meluncurkan Pertamax Green 95 dengan campuran bioetanol sebesar 5% (E5). Produk ini, yang memiliki RON 95, telah dijual di 5 SPBU Jakarta dan 10 SPBU Surabaya sebagai langkah konkret menuju penggunaan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan.

Adiwardhana (2023) mencatat bahwa pelaksanaan kebijakan pemanfaatan BBN di Indonesia sejak tahun 2006 membawa peluang dan tantangan. Beberapa isu krusial melibatkan bahan baku, infrastruktur, insentif, dan teknologi. Pemilihan bahan baku, khususnya kelapa sawit untuk biodiesel dan tanaman pangan untuk bioetanol, menghadirkan tantangan dalam ketersediaan dan keberlanjutan pasokan bahan baku yang perlu diatasi. Infrastruktur pencampuran dan distribusi BBN berbasis potensi lokal mampu menggerakkan ekonomi kerakyatan, terutama

untuk unit produksi kecil. Namun, perlu dicatat bahwa insentif saat ini hanya berlaku untuk produk berbasis minyak sawit, sedangkan belum ada skema yang jelas untuk BBN berbasis selain kelapa sawit. Pemilihan teknologi (1G, 2G, atau 3G) juga menjadi pertimbangan penting, di mana hasil optimal dengan biaya terjangkau perlu diupayakan melalui dukungan penelitian dan pengembangan.

Sejalan dengan referensi tersebut, Kementerian BUMN melalui Surat Keputusan No. 312-MBU/11/2023 membentuk Tim Percepatan Implementasi yang salah satu inisiatifnya adalah pengembangan BBN. Tim percepatan ini, yang melibatkan Kementerian BUMN, Pertamina (termasuk PT Pertamina Patra Niaga dan PT Pertamina Power Indonesia), PT Perkebunan Nusantara III (termasuk PT Sinergi Gula Nusantara dan PT Energi Agro Nusantara), dan Perum Perhutani, diharapkan dapat menjadi solusi atas berbagai tantangan seperti ketersediaan bahan baku dan infrastruktur.

Kolaborasi dari sisi hulu, melalui PTPN III sebagai BUMN di bidang Perkebunan, dan di sisi hilir, melalui Pertamina sebagai BUMN di industri minyak dan gas, dianggap sebagai langkah strategis untuk mengatasi kompleksitas tantangan dalam implementasi kebijakan ini. Meskipun terdapat tantangan lain dari sisi ekonomi dimana sampai saat ini cukai alkohol untuk produk bioetanol masih tergolong tinggi, terlebih jika dibebankan untuk penggunaan BBN (CNBC, 2023). Terkait dengan cukai menjadi hal penting berikutnya yang perlu didiskusikan dengan Kementerian Keuangan dengan tujuan untuk pembebasan bea cukai untuk campuran *non-consumable*.

Selain kolaborasi terintegrasi, dalam jangka pendek, pemenuhan bahan baku tidak selalu bersumber dari produksi dalam negeri. Hal ini dikarenakan bahan baku molase yang digunakan merupakan komoditas yang menjadi barang rebutan. Sebut saja industri makanan minuman, pakan ternak, kosmetik, farmasi hingga bahan bakar ditambah potensi ekspor yang lebih diminati penjual. Larangan ekspor, dirasa perlu guna dapat memenuhi kebutuhan pasok dalam negeri.

Dalam jangka panjang, penyiapan lahan baru menjadi kunci, dengan fokus pada pengkhususan dan regulasi khusus dari Pemerintah dengan melakukan diversifikasi bahan baku seperti pembukaan

lahan jagung, singkong, dan lainnya. Pengkhususan dan regulasi khusus dari Pemerintah dari tebu menjadi etanol melalui nira pun dapat dijadikan opsi untuk menjaga ketersediaan stok untuk kebutuhan BBN. Hal ini guna meminimalisir kelangkaan stok dan bahan baku utama BBN itu sendiri. Ditambah, investasi dan kerja sama dengan pihak swasta selaku pemain agribisnis (baik domestik maupun internasional) menjadi hal yang perlu dilakukan.

Kesimpulan

Peningkatan kesadaran global terhadap perubahan iklim, yang tercermin dalam COP21 telah mendorong negara-negara termasuk Indonesia untuk mengambil langkah-langkah serius dalam mengurangi Emisi GRK, terutama di sektor transportasi. Sebagai salah satu negara peserta COP21, Indonesia telah meratifikasi *Paris Agreement* dan menetapkan komitmen melalui *Enhanced NDC* untuk menurunkan Emisi GRK sebesar 31% atau bahkan 43% dengan bantuan internasional.

Langkah-langkah konkret yang diambil oleh Pemerintah Indonesia mencakup penggunaan EBT, dengan fokus pada pengembangan biodiesel, SAF, dan bioetanol. Pemanfaatan Biodiesel, terutama melalui program B35, menunjukkan kesuksesan dalam pencampuran bahan bakar yang ramah lingkungan.

Selain itu, langkah revolusioner dalam penerbangan komersial menggunakan SAF/bioavtur, menegaskan komitmen Indonesia dalam menghadapi tantangan emisi di sektor penerbangan. Tak luput, peluncuran Pertamina Green 95 sebagai langkah diversifikasi penggunaan BBN dan pencapaian target melalui bioetanol dari molase.

Meskipun demikian, beberapa tantangan masih dihadapi, terutama terkait masalah ketersediaan bahan baku yang berkelanjutan dan dukungan insentif yang masih perlu ditingkatkan. Kerja sama saat ini yang melibatkan perusahaan BUMN seperti Pertamina dan PTPN III, dapat menjadi pondasi untuk mengatasi kompleksitas tantangan dan memastikan implementasi kebijakan ini berjalan lancar. Meskipun ada hambatan ekonomi lainnya, khususnya dalam hal cukai alkohol yang masih dianggap tinggi untuk produk bioetanol, terutama jika diterapkan pada penggunaan BBN (CNBC, 2023), pembahasan lebih lanjut dengan Kementerian Keuangan menjadi aspek penting dengan tujuan untuk mencapai pembebasan bea cukai.

Dalam jangka pendek, pemenuhan bahan baku untuk BBN tidak hanya mengandalkan produksi dalam negeri karena persaingan atas bahan baku molase yang melibatkan sektor-sektor seperti industri makanan, minuman,

pakan ternak, kosmetik, farmasi, dan bahan bakar, termasuk potensi ekspor. Untuk mengatasi hal ini, larangan ekspor dianggap sebagai langkah yang diperlukan untuk memastikan pasokan bahan baku dalam negeri. Dalam jangka panjang, penyiapan lahan baru menjadi kunci, dengan fokus pada pengkhususan dan regulasi khusus dari Pemerintah dengan melakukan diversifikasi bahan baku seperti pembukaan lahan jagung, singkong, dan lainnya. Langkah ini bertujuan untuk menjaga ketersediaan stok dan mengurangi potensi kelangkaan bahan baku utama BBN. Investasi dan kerja sama dengan sektor swasta, baik domestik maupun internasional, juga dianggap penting untuk mendukung keberlanjutan agribisnis dalam produksi bahan baku BBN.

Dengan komitmen dan upaya yang diterapkan oleh Pemerintah, serta melalui kerja sama strategis di antara berbagai pemangku kepentingan, Indonesia dapat terus memperkuat perannya dalam mengurangi dampak lingkungan melalui inovasi di sektor BBN di transportasi. Penerapan kebijakan BBN yang berkelanjutan menjadi langkah krusial dalam memenuhi NDC di masa depan, dan Indonesia memiliki potensi untuk menjadi kontributor terbesar dalam menghadapi perubahan iklim melalui langkah-langkah yang progresif dan berkelanjutan.

Referensi

1. Susmozas, Ana. Sampedro, Raquel Martin. Ibarra, David. et.al. (2020) Review Process Strategies for the Transition of 1G to Advanced Bioetanol Production. MDPI Processes 8(10), 1310. <https://doi.org/10.3390/pr8101310>
2. Adiwardhana, A. (2023). Bahan Bakar Nabati Sebagai Energi Alternatif dalam Transisi Energi. Buletin Pertamina Energy Institute, 9(3).
3. Artami, Rina Juliet. (2022). Tren Pemanfaatan *Biofuel* Global dan Nasional. Buletin Pertamina Energy Institute, 8(4).
4. Katadata. (2023). 44% Emisi Gas Rumah Kaca Indonesia Berasal dari Sektor Energi pada 2020. Retrieved from Katadata: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/09/18/44-emisi-gas-rumah-kaca-indonesia-berasal-dari-sektor-energi-pada-2020>
5. Katadata. (2023). Transportasi, Sumber Utama Emisi Gas Rumah Kaca DKI Jakarta. Databox. <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2023/03/20/transportasi-sumber-utama-emisi-gas-rumah-kaca-dki-jakarta>
6. ITDP. (2015, November 25). Why Transportation Is Critical at the Paris Climate Summit. Retrieved from <https://www.itdp.org/2015/11/25/why-transportation-is-critical-at-the-paris-climate-summit/>
7. IESR (2023), Indonesia Energy Transition Outlook 2024. Retrieved from <https://iesr.or.id/download/indonesia-energy-transition-outlook-ieto-2024>
8. SLOCAT. (2023, November 10). NDCs Hall of Fame. Retrieved from <https://slocat.net/ndcs-hall-of-fame/>
9. REN21. (2019). NDC Transport Initiative Asia. Retrieved from <https://www.ren21.net/projects/ndc-transport-initiative-asia/>
10. Pertamina. (2023). Sustainable Aviation Fuel (SAF) Takes Flight: Pertamina's Bioavtur for Environmentally Friendly Aviation. Retrieved from <https://www.pertamina.com/en/news-room/news-release/sustainable-aviation-fuel-saf-takes-flight-pertamina.s-bioavtur-for-environmentally-friendly-aviation>
11. REN21. (2023). Renewables 2022 Global Status Report Energy Demand. Paris
12. Humas EBTKE. (2023). Forum Diskusi Bioshare Series #12: Bahas Upaya Bersama Pengembangan Bahan Bakar Nabati. Retrieved from <https://ebtke.esdm.go.id/post/2023/10/09/3620/forum.diskusi.bioshare.series12.bahas.upaya.bersama.pengembangan.bahan.bakar.nabati>.
13. International Civil Aviation Organization (ICAO). (n.d.). Indonesian Aviation *Biofuels* and Renewable Energy Task Force (ABRETF). Retrieved from <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/Project.aspx?ProjectID=40>
14. Center for Climate and Energy Solutions (C2ES) (n.d.) Global Emissions. Retrieved from <https://www.c2es.org/content/international-emissions/>
15. United States Department of Agriculture. (2023). Thailand: *Biofuels* Annual (Attaché Report No. TH2022-0038). Foreign Agricultural Service. Retrieved from <https://fas.usda.gov/data/thailand-biofuels-annual-7>

Apa Boleh Se-Hemat Ini Beli Tiket di Aplikasi?



Lebih Hemat

Pulang-Pergi naik Pelita Air bisa **hemat sampai 5%**

Lebih Mudah

Pesan tiket hingga **check-in** bisa dilakukan **di mana saja dan kapan saja.**

Note : mobile check-in dibuka 24 jam dan ditutup 4 jam sebelum jadwal keberangkatan

Lebih Banyak Infonya

Bisa dapat **rekomendasi destinasi** sampai **tips traveling** lainnya!



Sebelum Pakai
Gas Bumi **gaskita**



Stress saat
kehabisan gas

Sesudah Pakai
Gas Bumi **gaskita**



Masak Lebih Lancar
karena Gas Bumi
GasKita mengalir terus
tanpa putus

PEMANFAATAN BAHAN BAKAR NABATI DI SUB-SEKTOR TRANSPORTASI DARAT

Yohanes Handoko Aryanto

Pertamina Energy Institute

Email: yohanes.handoko@pertamina.com

Abstrak

Di Indonesia, sektor transportasi memiliki kontribusi positif terhadap pertumbuhan ekonomi nasional dan dapat menjadi mesin pendorong pertumbuhan menuju Indonesia Emas 2045. Namun demikian, sektor transportasi juga berkontribusi terhadap emisi di sektor energi yang berdampak pada pencapaian komitmen pemerintah yaitu *Net Zero Emission* pada tahun 2060. Selain itu, sektor transportasi juga masih membutuhkan sumber energi yang berasal dari impor. Oleh karena itu, untuk mencapai target Indonesia untuk menjadi negara maju, diperlukan langkah-langkah *decoupling* antara pertumbuhan ekonomi yang berasal dari sektor transportasi dan emisi yang dihasilkan dari sektor tersebut, serta langkah-langkah untuk meningkatkan ketahanan energi dengan mengurangi impor. Bahan bakar nabati merupakan salah satu solusi terbaik untuk permasalahan tersebut. Selain menurunkan emisi dan meningkatkan kualitas bahan bakar, BBN memiliki berbagai dampak keberlanjutan lain yang positif seperti penciptaan lapangan kerja dan peningkatan *multiplier* ekonomi. Tulisan ini akan membahas BBN terutama sebagai solusi dekarbonisasi di sub-sektor transportasi darat.

Kata Kunci: Bahan Bakar Nabati, Kemandirian Energi, Analisis Dampak, Energi Transportasi, Keberlanjutan.

Kondisi Konsumsi Bahan Bakar Nasional

Pertumbuhan konsumsi energi sektor transportasi di Indonesia mengalami tren pertumbuhan yang signifikan. Berdasarkan data yang diolah dari HEESI (*Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia*)¹, dalam lima tahun terakhir sektor ini mengkonsumsi rata-rata sekitar 399 juta BOE, tertinggi di antara sektor-sektor lainnya (industri, rumah tangga,

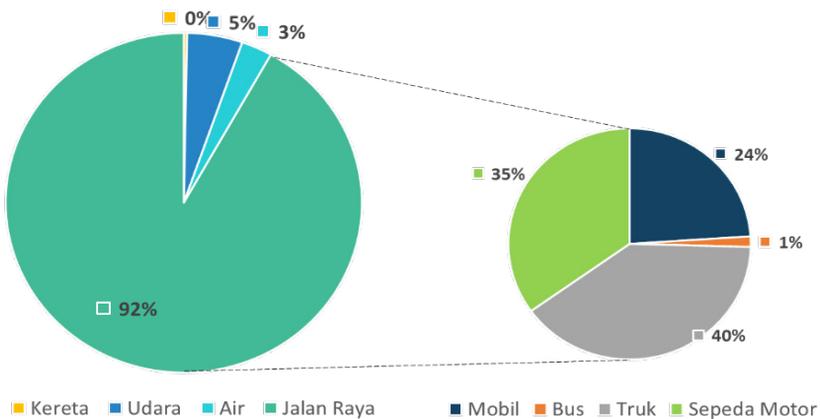
komersial, dan lainnya), dengan pertumbuhan konsumsi energi tertinggi kedua di antara seluruh sektor (sekitar 4%). Dalam dua puluh tahun terakhir, sektor transportasi merupakan sektor yang mengalami peningkatan pertumbuhan konsumsi energi tahunan tertinggi dibandingkan sektor lainnya, yaitu sekitar 6% per tahun. Hal ini berbanding terbalik dengan sektor rumah tangga yang mengalami penurunan konsumsi energi tahunan, yaitu sebesar -2% per tahun.

¹ <https://www.esdm.go.id/en/publication/handbook-of-energy-economic-statistics-of-indonesia-heesi>

Untuk negara berkembang seperti Indonesia, konsumsi energi berkorelasi dengan peningkatan ekonomi. Berdasarkan data yang diolah dari *World Bank*², intensitas energi nasional mengalami tren penurunan yang signifikan sebesar -42% dalam dua dekade terakhir menjadi sekitar 3 Mega Joule per USD Pendapatan Domestik Bruto (2017 *purchasing power parity*) pada tahun 2022. Data BPS mencatat bahwa pada tahun 2023, sektor transportasi dan pergudangan berkontribusi pada sekitar 6% PDB nasional, dengan pertumbuhan sekitar 15% atau tertinggi di antara sektor lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa sektor transportasi memiliki peran penting dalam menggerakkan perekonomian nasional dan meningkatkan kesejahteraan masyarakat. Walaupun, jika dilihat dari posisi neraca perdagangan, minyak yang menjadi sumber energi sektor transportasi, berkontribusi negatif terhadap neraca perdagangan dalam

satu dekade terakhir. Hal tersebut bermakna bahwa sektor transportasi masih bergantung pada impor energi dan rentan terhadap volatilitas harga komoditas serta disrupsi rantai pasok global.

Selanjutnya, jika dilihat dari perspektif lingkungan, peningkatan konsumsi energi di sektor transportasi berkorelasi dengan peningkatan emisi GRK (Gas Rumah Kaca). Berdasarkan data yang diolah dari IEA (*International Energy Agency*)³, emisi GRK dari sektor transportasi di Indonesia meningkat hampir 2 kali lipat dalam dua dekade terakhir. Sementara data dari Pusdatin (Pusat Data dan Informasi) KESDM (Kementerian ESDM), menunjukkan rata-rata peningkatan emisi GRK sektor transportasi di Indonesia dalam sepuluh tahun terakhir berada di kisaran 7% per tahun. Pada tahun 2021, sektor transportasi menyumbang sekitar 23% emisi GRK di sektor energi, terbesar kedua setelah sektor industri.



Gambar 1. Proporsi Emisi Sektor Transportasi Nasional Tahun 2022

Sumber: Pertamina Energy Institute

² <https://data.worldbank.org/indicator/EG.EGY.PRIM.PP.KD?locations=ID>

Berdasarkan subsektor, pada tahun 2022 subsektor transportasi jalan raya mengkonsumsi sekitar 92% dari total konsumsi energi di sektor transportasi, dan menyumbang emisi sekitar 92% dari sektor transportasi. Berdasarkan jenis transportasi di subsektor transportasi jalan raya, truk mengkonsumsi sekitar 43% energi, diikuti sepeda motor ($\pm 33\%$), mobil ($\pm 22\%$), dan bis ($\pm 2\%$). Namun dari sisi emisi, truk hanya menyumbang $\pm 40\%$, sepeda motor $\pm 35\%$, mobil $\pm 24\%$, dan bis $\pm 1\%$.

Setidaknya, terdapat tiga hal yang dapat diambil dari situasi tersebut di atas. Pertama, terjadi peningkatan efisiensi dan efektifitas pemanfaatan energi yang cukup signifikan dalam menghasilkan setiap dollar PDB di Indonesia. Hal ini menunjukkan kemajuan sektor ekonomi dan energi di Indonesia. Kedua, sektor transportasi berperan penting dalam menopang pertumbuhan ekonomi nasional, meskipun sumber energinya masih bergantung pada impor. Ketiga, konsumsi energi di sektor transportasi terus mengalami peningkatan dan berkontribusi pada peningkatan gas rumah kaca. Oleh karena itu, agar terjadi *decoupling* antara pertumbuhan ekonomi dan kerusakan lingkungan, serta untuk meningkatkan ketahanan dan kemandirian energi, diperlukan berbagai solusi di sektor transportasi. Beberapa diantaranya adalah peningkatan pemanfaatan

transportasi publik, memperdekat fasilitas kebutuhan sehari-hari dengan lokasi perumahan, penggunaan kendaraan listrik, atau pemanfaatan solusi berbasis alam melalui Bahan Bakar Nabati (BBN). Artikel ini akan membahas BBN secara deskriptif, terutama pemanfaatannya dalam transportasi darat, untuk memberikan pandangan yang lebih baik atas dampak pemanfaatan BBN dalam rangka meningkatkan ketahanan dan kemandirian energi, sekaligus menurunkan emisi di sektor transportasi darat.

Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati

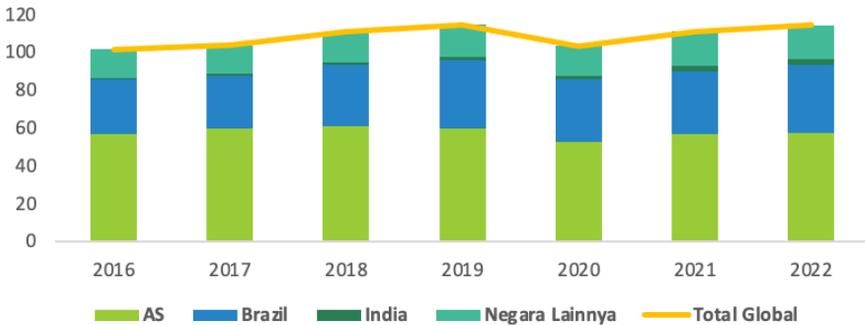
Pemanfaatan BBN di sektor transportasi bukan merupakan hal baru. Berdasarkan Guo et al. (2015), etanol (alkohol) merupakan BBN yang telah digunakan dalam pengujian mesin perahu pada tahun 1826, jauh sebelum produksi komersial *gasoline* pada tahun 1913. Etanol juga telah digunakan sebagai bahan bakar traktor oleh Henry Ford. Namun, etanol kemudian mengalami kendala pemanfaatan karena pengenaan pajak alkohol yang tinggi. Padahal, pada tahun 1910an, dalam periode ketika *gasoline* mulai menguasai pasar, para ilmuwan telah mengadvokasikan kemampuan dan keberlanjutan etanol dalam industri bahan bakar, sebagai solusi ketahanan energi atas permasalahan cadangan minyak yang menurun.

³ <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/greenhouse-gas-emissions-from-energy-data-explorer>

Kembalinya minat untuk memanfaatkan etanol terjadi dalam periode krisis minyak pada tahun 1970an (Novo et al., 2010; Guo et al., 2015; Sajid et al., 2021), periode ketika dunia menghadapi permasalahan ketahanan dan keterjangkauan energi. Namun, minat tersebut tidak terealisasi karena biaya pengembangan enzim selulosa untuk memfermentasi etanol dari gula pada waktu itu belum dapat masuk tahap keekonomian industri (Viikari et al., 2012).

Saat ini, beberapa negara seperti Amerika Serikat (AS), Brazil, dan India telah menerapkan kebijakan pencampuran (*blending*) antara

gasoline dengan etanol atau disebut sebagai bioetanol, sebagai bahan bakar transportasi ringan dan penumpang. India dan AS telah mencapai tingkat pencampuran 10% atau disebut sebagai E10 (pencampuran etanol 10%), sementara Brazil sudah mencapai tingkat pencampuran 27% (E27). Dalam waktu dekat, India akan meningkatkan tingkat pencampuran hingga 20% dan Brazil hingga 30%. Baik India maupun Brazil memiliki keunggulan kompetitif dalam produksi bioetanol karena kedua negara tersebut merupakan 5 besar eksportir gula yang merupakan salah satu bahan baku etanol.



Gambar 2. Pemanfaatan Bioetanol Global Dalam Juta KL per Hari

Sumber: IEA, 2022

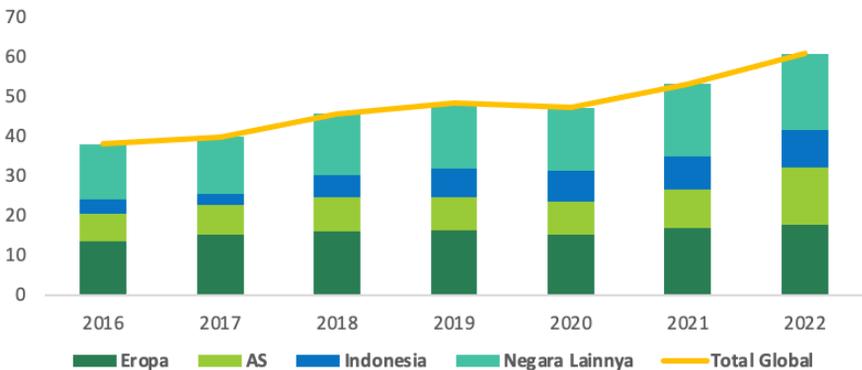
Di Indonesia, terdapat rencana untuk meningkatkan pemanfaatan etanol dari E5 menjadi E10 dan E20 secara bertahap. Hal tersebut tertuang dalam Permen ESDM No.12 tahun 2015. Beberapa produsen kendaraan seperti Toyota dan Suzuki pada tahun 2023 telah menyatakan kesanggupan mesin kendaraan mereka untuk

menggunakan E10 tanpa modifikasi mesin. Permasalahannya, realisasi kebijakan tersebut masih cukup jauh. Beberapa diantaranya disebabkan karena kondisi Indonesia masih menjadi importir gula, dan etanol masih dikenakan cukai kategori alkohol yang relatif mahal, sekitar Rp 20.000 per liter pada tahun 2023. Saat

ini, penerapan pencampuran etanol di Indonesia masih dalam tahap 5% dengan kualitas RON (*Research Octane Number*) 95. Bahan bakar RON 95 E5 ini masih dalam tahap proyek pilot yang diimplementasikan di beberapa kota terutama di Surabaya. Untuk mendorong peningkatan bioetanol, pada tahun 2023 Pemerintah Indonesia menerbitkan Perpres No. 40 tahun 2023 tentang Percepatan Swasembada Gula Nasional dan Penyediaan Bioetanol Sebagai Bahan Bakar Nabati. Diharapkan, Perpres ini dapat meningkatkan produksi gula nasional sekaligus mendukung ketahanan bahan baku bioetanol.

Selain bioetanol, terdapat juga bahan bakar nabati lainnya, yang pemanfaatannya lebih ke kendaraan bermesin diesel, yaitu biodiesel. Perkembangan biodiesel untuk bahan bakar mesin diesel

berawal pada tahun 1900an menggunakan minyak kacang (Guo et al., 2015). Pada waktu itu, biodiesel sulit bersaing dengan *gasoil* yang lebih murah dan tersedia luas. Produksi biodiesel skala industri baru dimulai pada tahun 1989 di Austria, setelah prosedur industrialisasi biodiesel dipatenkan pada tahun 1977. Selanjutnya pada tahun 1996, AS mengembangkan pabrik biodiesel pertama, dan pada tahun 2022 pemanfaatan biodiesel secara global telah mencapai sekitar 57 juta kilo liter (KL), meningkat sekitar 27 kali lipat dalam 20 tahun terakhir. Berbeda dengan bioetanol yang pemanfaatannya secara global relatif stabil di kisaran 100 juta KL per hari, biodiesel yang pemanfaatannya masih di bawah 70 juta KL per hari, terus mengalami peningkatan yang terutama didorong oleh peningkatan pemanfaatan biodiesel di AS (gambar 3).



Gambar 3. Pemanfaatan Biodiesel Global Dalam Juta KL per Hari

Sumber: IEA, 2022

Pemerintah Indonesia sendiri telah mengeluarkan kebijakan penerapan biodiesel hingga B30 dalam Permen ESDM No.12 tahun 2015, meskipun Pemerintah beberapa kali telah menyatakan target pencapaian hingga B50. Hal tersebut dilandasi oleh posisi Indonesia yang memiliki keunggulan kompetitif dalam produksi sawit. Saat ini Indonesia telah memproduksi biodiesel berbahan baku sawit hingga tingkat pencampuran 30% (B30), dan porsi konsumsi energi final dari biodiesel pada tahun 2022 telah mencapai 44% dari konsumsi energi final di sektor transportasi (sekitar 189 juta SBM⁴), meningkat dari tahun 2006 yang hanya 1% (sekitar 1 juta SBM). Hal ini menjadi salah satu penyebab emisi truk pada tahun 2022 hanya menyumbang sekitar 40% dari total emisi sektor transportasi, meskipun energi yang dikonsumsi truk mencapai 43% dari total energi sektor transportasi (perhitungan *tank to wheel*).

Perkembangan Teknologi Bahan Bakar Nabati

Berdasarkan sumbernya, BBN dibagi menjadi 4 generasi (disingkat sebagai G). Berikut penjelasan ringkas generasi BBN (Rodionova, 2017; Alalwan et al., 2019; Deora et al., 2022):

- 1G adalah BBN yang dihasilkan dari sumber pangan, seperti tebu, jagung, atau sawit.
- 2G adalah BBN yang dihasilkan

dari produk sampingan tanaman yang tidak dapat dimakan seperti gabah, limbah cair kelapa sawit (POME/*Palm Oil Mill Effluent*), atau produk sisa pangan seperti jelantah.

- 3G adalah BBN yang dihasilkan dari alga, terbagi menjadi makroalga dan mikroalga.
- 4G adalah BBN yang dihasilkan dari rekayasa genetika dan diproses melalui pirolisis, gasifikasi, atau digestasi. BBN 4^G merupakan BBN dengan emisi karbon negatif karena menyerap emisi.

Saat ini, banyak peneliti maupun industri sedang mencari terobosan produksi BBN dari sumber non-pangan, untuk mengatasi permasalahan pangan vs bahan bakar (*food vs fuel*). Berdasarkan IEA⁵, sejumlah besar produksi BBN secara global berasal dari bahan baku konvensional seperti tebu, jagung, dan kedelai. Jika situasi ini berlanjut, ekspansi BBN hingga 3 kali lipat dalam skenario *Net Zero Emission* akan berdampak pada penggunaan lahan, harga pangan, dan permasalahan lingkungan lainnya. Saat ini, produksi BBN 2G berbahan baku jelantah dan lemak binatang cukup banyak ditemui. Namun, jumlah dari bahan baku tersebut terbatas. Oleh karena itu, diperlukan berbagai terobosan bahan baku BBN 2G hingga 4G untuk mendukung pengembangan BBN ke depan.

⁴ Setara Barel Minyak atau Barrel Oil Equivalent (BOE)

⁵ <https://www.iea.org/energy-system/low-emission-fuels/biofuels>

Terkait produksi etanol, saat ini produksi etanol yang berbasis lignoselulosa sedang mendapatkan perhatian dari dunia peneliti maupun industri. Hal ini karena bahan lignoselulosa yang merupakan komponen utama pembentuk dinding sel tumbuhan berpembuluh, dapat diperoleh dari limbah kehutanan dan pertanian, termasuk juga sampah kertas. Selain itu, lignoselulosa dapat menjadi bahan baku untuk berbagai produk selain energi, termasuk diantaranya bahan kimia, nutrisi, dan pangan (Banu et al., 2021).

Biomassa lignoselulosa dapat diproses menjadi bioetanol melalui proses seperti pirolisis, gasifikasi, hidrolisis enzimatis, maupun fermentasi (Mujtaba et al., 2023). Permasalahannya, proses ini masih berbiaya tinggi (Machineni, 2020; Jatoi et al., 2021). Namun demikian, potensi pemanfaatan lignoselulosa sebagai bahan baku BBN terus digali karena limbah lignoselulosa jumlahnya sangat berlimpah dan murah, serta dapat mendukung ekonomi sirkular (Mujtaba et al., 2023).

Dari sisi biodiesel, saat ini terdapat 2 macam biodiesel yang umum digunakan secara global berdasarkan teknologinya yaitu, biodiesel berbasis FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) atau sejenis asam lemak yang berasal dari proses transesterifikasi minyak nabati atau hewani dengan metanol atau alkohol lainnya, dan biodiesel berbasis HVO (*Hydrotreated Vegetable*

Oil) yang dihasilkan dari proses hidrogenasi dan *hydrocracking* menggunakan hidrogen.

Baik FAME maupun HVO dapat diproduksi dari sampah biomasa seperti lemak hewani atau jelantah, sehingga dalam hal ini masuk dalam kategori 2G. Selain dari jelantah, HVO maupun FAME dapat diproduksi dari sumber nabati seperti minyak bunga matahari, minyak sawit, minyak kedelai. Kualitas FAME sangat dipengaruhi oleh bahan bakunya, sementara HVO relatif netral, oleh karena itu HVO dapat diproduksi dari sumber yang lebih bermacam seperti alga, jatropha, camelina, termasuk limbah lemak (Hunicz et al., 2021). Sehingga dalam hal ini HVO lebih unggul dari FAME dalam hal dilema pangan vs bahan bakar.

Selanjutnya, FAME bersifat higroskopis atau menyerap kelembaban udara, sehingga semakin lama disimpan terjadi risiko penurunan kualitas bahan bakar. Oleh karena itu, beberapa penelitian mencari cara untuk mengatasi permasalahan tersebut. Beberapa solusinya adalah dengan menambahkan surfaktan atau *emulsifier* untuk menghomogenkan campuran *gasoil* dan biodiesel (Dwimawarnita & Hambali, 2021), atau bahkan menambahkan HVO (*Hydrotreated Vegetable Oil*) dalam campuran biodiesel (Fathurrahman et al., 2024). Dibandingkan FAME, secara umum HVO memiliki beberapa keunggulan sebagai berikut (Hunicz et al., 2021):

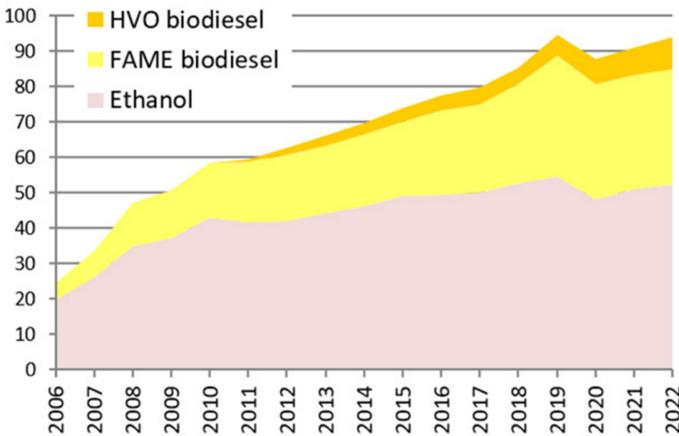
Tabel 1. Perbandingan Gasoil, FAME, dan HVO

Sumber: Hunicz et al., 2021

Parameter	Satuan	Gasoil	FAME	HVO
Kepadatan @ 15°C	g/ml	0.837	0.882	0.764
Viskositas @ 40°C	mm ² /s	2.94	4.43	2.88
Lower heating value	MJ/kg	42.8	38.3	43.7
Kebutuhan udara stoichiometric	kg/kg	14.73	13.7	15.14
Cetane number (CN)	-	54.1	55.2	74.5
Cold filter plugging point	°C	-22	-11	-44
Flash point	°C	70.5	165	66.3
Lubricity @ 60°C	µm	406	190	344
C/H ratio	kg/kg	6.4	7.7	5.5
Kandungan Sulfur	mg/kg	6.1	1	<1
Kandungan Abu	%wt.	0.014	0.01	0.002

Keunggulan HVO membuat biodiesel ini semakin diminati pemanfaatannya, terutama di AS yang mengalami ekspansi hingga setengah dari pasar biodiesel di

negara tersebut⁶. Berikut adalah data tren pemanfaatan HVO dibandingkan dengan FAME dan Etanol secara global:



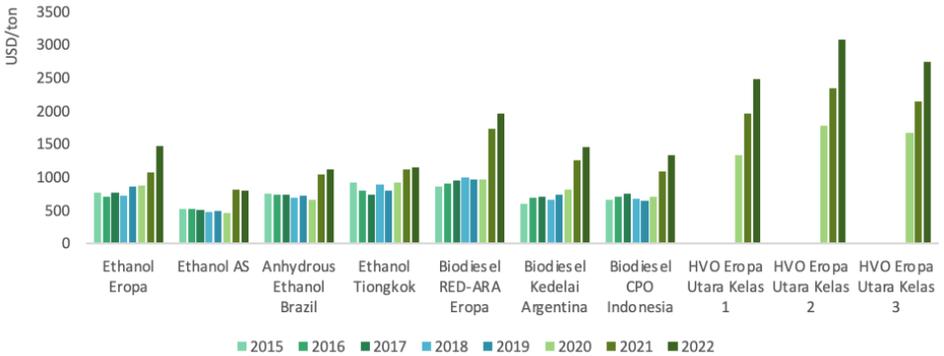
Gambar 4. Tren Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (dalam juta ton setara minyak)

Sumber: IFPEN⁶, 2024

Peningkatan pemanfaatan BBN secara global yang diikuti dengan disrupsi rantai pasok bahan baku dan peningkatan harga energi global, telah menyebabkan

peningkatan harga BBN. Hal ini menimbulkan isu keterjangkauan energi (*energy affordability*). Grafik 5 menunjukkan tren perubahan harga BBN secara global.

⁶ <https://www.ifpenergiesnouvelles.com/article/biofuels-dashboard-2023>



Gambar 5. Tren Harga BBN Global

Sumber: IFPEN, 2024

Permasalahan peningkatan harga BBN perlu diatasi dengan penyediaan pasokan bahan baku serta pencarian alternatif produksi BBN. Di sisi lain, grafik 5 juga menunjukkan bahwa HVO, yang secara kualitas jauh lebih baik dibandingkan dengan FAME, saat ini harganya masih jauh lebih tinggi dibandingkan BBN lainnya. Oleh karena itu, untuk mengoptimalkan pemanfaatan HVO di masa mendatang, masih diperlukan berbagai terobosan yang terutama dapat menurunkan harga HVO.

Perspektif Dampak Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati

Pemanfaatan BBN dapat mendukung beberapa komponen *Sustainable Development Goals* (SDG's), yang merupakan komitmen global dan Indonesia untuk mensejahterakan masyarakat melalui pembangunan yang berkelanjutan. Berdasarkan analisis Kementerian Luar Negeri⁷, BBN

dapat mendukung 9 dari 17 SDGs yaitu:

- Goal 1 : *No Poverty*
- Goal 2 : *Zero Hunger*
- Goal 3 : *Good Health and Well-Being*
- Goal 6 : *Clean Water and Sanitation*
- Goal 7 : *Affordable and Clean Energy*
- Goal 8 : *Decent Work and Economic Growth*
- Goal 12 : *Responsible Consumption and Production*
- Goal 13 : *Climate Action*
- Goal 15 : *Life on Earth*

Analisis tersebut melihat 20 jenis sumber BBN dan secara umum terdapat 11 BBN dengan kontribusi lebih dari 5% terhadap 9 komponen SDGs di atas yaitu, sawit (10%), minyak kelapa (9%), kapuk (9%), lobak (9%), benih sawi (9%), biji wijen (7%), minyak zaitun (7%), kacang tanah (6%), biji rami (6%), kedelai (5%), dan kacang tung (5%).

⁷ <https://kem.lu/Kajian20VOSDGs>

Dashboard Kementerian Luar Negeri juga menunjukkan data sebagai berikut⁸:

- BBN berkontribusi terhadap PDB: Benih sawi (0.22% PDB Kanada), minyak kelapa (0.09% PDB Filipina), sawit (0.04% PDB Indonesia), biji bunga matahari (0.03% PDB Ukraina), dan kedelai (0.02% PDB Brazil).
- BBN juga berkontribusi pada jumlah penciptaan lapangan kerja: Sawit memberikan kontribusi terbesar dengan 7.5 juta pekerja dan 2.6 juta petani di Indonesia, diikuti kedelai sebanyak 395 ribu pekerja di Argentina dan 216 ribu petani di Brazil, serta lobak yang menciptakan pekerjaan untuk 250 ribu pekerja di Kanada.

Selain perspektif SDGs, penelitian lain memiliki kerangka analisis dampak keberlanjutan BBN. Seperti misalnya Kudoh et al., 2015 dengan kerangka sebagai berikut:

- Indikator lingkungan: *Life cycle* emisi GRK, penggunaan air, dan dampak terhadap kualitas tanah.
- Indikator ekonomi: *Total value added*, laba bersih, produktifitas, *net energy balance*.
- Indikator sosial: Penciptaan lapangan kerja, peningkatan kualitas kesehatan, peningkatan edukasi, peningkatan pendapatan

masyarakat, indeks pembangunan manusia.

Dari sisi emisi GRK, menurut Zhao et al, (2016), emisi GRK 100% etanol (E100) mulai dari tahapan produksi bahan baku hingga pembakaran mesin (*wheel to wheel* atau wtW), diperkirakan lebih rendah sekitar 52-55% dibandingkan *gasoline*. Sementara itu, berdasarkan data *Department of Energy AS*, emisi *well to wheel* 100% biodiesel (B100) dari berbagai sumber bahan baku, dapat lebih rendah hingga 74% dari *gasoil*⁹. Jika biodiesel menggunakan HVO yang merupakan BBN jenis 2G karena dapat diproduksi dari limbah seperti minyak jelantah, penurunan emisi yang didapatkan bisa mencapai 90% dari *gasoil*. Lebih lanjut, penelitian dari Hunicz et al. (2021) menunjukkan bahwa FAME memiliki kandungan sulfur dan abu yang lebih rendah dari *gasoil*, dan HVO paling rendah dibandingkan *gasoil* maupun FAME. Hal tersebut menunjukkan potensi FAME dan HVO dalam menghasilkan bahan bakar yang lebih bersih.

Sementara itu, Anbumozhi (2021) mengkaji dampak BBN di beberapa negara Asia Tenggara dari beberapa indikator yaitu:

1. Emisi GRK: analisis dilakukan sepanjang daur hidup BBN mulai dari fase penanaman tumbuhan bahan baku, pemrosesan bahan

⁸ <https://kem.lu/DashboardVO>

⁹ https://afdc.energy.gov/vehicles/diesels_emissions.html

baku menjadi BBN, dan pemanfaatan BBN sebagai bahan bakar kendaraan. Emisi yang dihasilkan dari proses pemindahan antar daur hidup juga diperhitungkan.

2. Konsumsi air: air diperlukan dalam proses penanaman tumbuhan bahan baku dan berbagai proses memproduksi BBN seperti irigasi hingga proses di *biorefinery*. Beberapa jenis tumbuhan bahan baku memiliki kebutuhan air yang lebih tinggi dibandingkan tumbuhan lainnya. Kondisi ini perlu diperhatikan karena pemanfaatan air bersih sama pentingnya dengan menahan peningkatan emisi GRK.
3. *Total Value Added*: keberlanjutan ekonomi dari proyek BBN dihitung dalam bentuk *total value-added* yang didapat dari total jumlah laba bersih yang dihasilkan dari pemrosesan BBN, peningkatan penghasilan perorangan yang dihasilkan dari pekerjaan di sektor BBN, pajak yang didapatkan dari usaha BBN.
4. *Net energy balance*: dihitung dari rasio *output* energi yang dihasilkan dari BBN terhadap total *input* energi di seluruh tahapan produksi BBN. Untuk bisa

disebut sebagai terbarukan, indikator tersebut harus lebih dari 1, yang berarti *output* energi yang dihasilkan dari BBN lebih besar dari *input* energi yang diperlukan.

5. Penciptaan lapangan kerja: proses produksi bahan baku BBN merupakan proses yang membutuhkan banyak tenaga kerja, mulai dari pertanian tumbuhan bahan baku, penjualan, distribusi, pemrosesan, serta faktor pendukungnya termasuk penyediaan pupuk, mesin pertanian, dan lain sebagainya. Proses BBN merupakan proses yang berdampak luas secara ekonomi karena dapat menciptakan lapangan kerja yang besar.
6. Akses ke energi modern: indikator ini dapat menjadi ukuran kontribusi BBN terhadap akses terhadap jasa energi modern.

Kajian dampak pemanfaatan BBN secara kuantitatif berdasarkan berbagai indikator seperti di atas yang cukup lengkap untuk Asia Tenggara saat ini hanya tersedia untuk Thailand dan Malaysia. Diperlukan pendalaman kuantitatif untuk berbagai jenis BBN dari berbagai sumber bahan baku untuk menunjukkan potensi kuantitatif BBN bagi Indonesia.

Saat ini, di Indonesia terdapat indikator dampak BBN yang diformulasikan dalam IBSI (*Indonesian Bioenergy Sustainability Indicators*). Indikator tersebut terdiri dari aspek lingkungan (emisi GRK, pengolahan limbah, kualitas tanah, kualitas air, pemanfaatan dan efisiensi air), aspek sosial (perubahan penghasilan, penciptaan lapangan kerja, akses ke energi modern), dan aspek ekonomi (produktivitas, *net energy balance*, *gross value added*, keanekaragaman energi, infrastruktur dan logistik untuk distribusi BBN). IBSI didukung oleh pemerintah dan harus diterapkan dalam usaha BBN untuk memastikan bahwa BBN memiliki dampak keberlanjutan yang positif dan terutama menghindari deforestasi untuk penanaman tumbuhan bahan baku.

Kesimpulan & Penutup

Bahan bakar nabati memiliki potensi besar untuk mendekarbonisasi sektor transportasi sekaligus menghasilkan berbagai dampak keberlanjutan lainnya. Bahkan tren pemanfaatan BBN secara global terus mengalami peningkatan. Namun demikian, masih diperlukan berbagai solusi untuk menurunkan harga BBN, memastikan ketersediaan bahan

baku untuk menghasilkan BBN, serta memastikan bahwa produksi BBN mengikuti indikator-indikator keberlanjutan terutama dari emisi GRK, kualitas tanah, dan ketersediaan air bersih.

Di Indonesia, biodiesel yang berbasis CPO telah dimanfaatkan dengan baik sesuai dengan keunggulan komparatif Indonesia sebagai produsen sawit, sementara itu *bioetanol* masih dimanfaatkan secara terbatas di beberapa kota. Padahal, *bioetanol* memiliki potensi besar untuk mendekarbonisasi sektor transportasi darat, yang kontribusi konsumsi energi berbasis *gasoline* (sepeda motor dan mobil) di Indonesia mencapai sekitar 55%. Berbeda dengan Indonesia yang lebih banyak mengkonsumsi biodiesel, secara global konsumsi *bioetanol* jauh lebih besar, dengan komposisi pencampuran yang di beberapa negara telah mencapai 10% bahkan lebih. Untuk itu, kebijakan pemerintah untuk mencapai swasembada gula dan sekaligus meningkatkan ketahanan energi melalui *bioetanol* perlu untuk segera diterapkan dan didorong pencapaiannya.

Referensi

- Alalwan, H. A., Alminshid, A. H., & Aljaafari, H. A. (2019). Promising evolution of biofuel generations. Subject review. *Renewable Energy Focus*, 28, 127-139.
- Anbumozhi, V. (2021). Review of Biofuels Sustainability Assessment and Sustainability Indicators in East Asia Summit Countries.
- Banu, J. R., Kavitha, S., Tyagi, V. K., Gunasekaran, M., Karthikeyan, O. P., & Kumar, G. (2021). Lignocellulosic biomass based biorefinery: A successful platform towards circular bioeconomy. *Fuel*, 302, 121086.
- Deora, P. S., Verma, Y., Muhal, R. A., Goswami, C., & Singh, T. (2022). Biofuels: An alternative to conventional fuel and energy source. *Materials Today: Proceedings*, 48, 1178-1184.
- Dimawarnita, F., & Hambali, E. (2021). Surfaktan Untuk Bahan Bakar Solar Dan Biodiesel. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(2), 120-128.
- Fathurrahman, N. A., Ginanjar, K., Devitasari, R. D., Maslahat, M., Anggarani, R., Aisyah, L., ... & Wibowo, C. S. (2024). Long-term storage stability of incorporated hydrotreated vegetable oil (HVO) in biodiesel-diesel blends at highland and coastal areas. *Fuel Communications*, 100107.
- Guo, M., Song, W., & Buhain, J. (2015). Bioenergy and biofuels: History, status, and perspective. *Renewable and sustainable energy reviews*, 42, 712-725.
- Hunicz, J., Krzaczek, P., Gęca, M., Rybak, A., & Mikulski, M. (2021). Comparative study of combustion and emissions of diesel engine fuelled with FAME and HVO. *Combustion Engines*, 60.
- IEA, Biofuel production by country/region and fuel type, 2016-2022, IEA, Paris <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/biofuel-production-by-country-region-and-fuel-type-2016-2022>, IEA. Licence: CC BY 4.0

Referensi

- Jatoi, A. S., Abbasi, S. A., Hashmi, Z., Shah, A. K., Alam, M. S., Bhatti, Z. A., ... & Iqbal, A. (2021). Recent trends and future perspectives of lignocellulose biomass for biofuel production: A comprehensive review. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 1-13.
- Kudoh, Y., Sagisaka, M., Chen, S. S., Elauria, J. C., Gheewala, S. H., Hasanudin, U., ... & Shi, X. (2015). Region-specific indicators for assessing the sustainability of biomass utilisation in East Asia. *Sustainability*, 7(12), 16237-16259.
- Machineni, L. (2020). Lignocellulosic biofuel production: review of alternatives. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 10, 779-791.
- Mujtaba, M., Fraceto, L., Fazeli, M., Mukherjee, S., Savassa, S. M., de Medeiros, G. A., ... & Vilaplana, F. (2023). Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: A review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. *Journal of Cleaner Production*, 136815.
- Novo, A., Jansen, K., Slingerland, M., & Giller, K. (2010). Biofuel, dairy production and beef in Brazil: competing claims on land use in São Paulo state. *The Journal of Peasant Studies*, 37(4), 769-792.
- Rodionova, M. V., Poudyal, R. S., Tiwari, I., Voloshin, R. A., Zharmukhamedov, S. K., Nam, H. G., ... & Allakhverdiev, S. I. (2017). Biofuel production: challenges and opportunities. *International Journal of Hydrogen Energy*, 42(12), 8450-8461.
- Sajid, Z., da Silva, M. A. B., & Danial, S. N. (2021). Historical analysis of the role of governance systems in the sustainable development of biofuels in Brazil and the United States of America (USA). *Sustainability*, 13(12), 6881.
- Viikari, L., Vehmaanperä, J., & Koivula, A. (2012). Lignocellulosic ethanol: from science to industry. *Biomass and bioenergy*, 46, 13-24.

APAPUN MOBILNYA, KEMANAPUN TUJUANNYA

PERTAMINA **Fastron** **GAS ON!**



LCGC



MPV



SUV
DIESEL



SEDAN
SUV



SPORT
CAR

Oli Yang Memahami Semua Mobil di Indonesia

Fuel Your Business Growth

with **gasline**
Your Energy Efficiency Partner



Unleash the Power of Natural Gas
for Your Industrial Business

PETA JALAN PENGEMBANGAN DAN PENGGUNAAN BIOETANOL SEBAGAI BAURAN BAHAN BAKAR TERBARUKAN DI INDONESIA

Prof. Ir. Tirto Prakoso, S.T, M.Eng., Ph. D, Dr. Jenny Rizkiana, ST, MT,

Dr. Tatang Hernas Soerawidjaja, Dr. Astri Nur Istyami, ST, MT

Fakultas Teknologi Industri, ITB

Email: tirto.prakoso@itb.ac.id

Latar Belakang

Energi fosil diproyeksikan masih mendominasi penyediaan energi primer Indonesia hingga tahun 2050. Energi Baru dan Terbarukan (EBT) di Indonesia utamanya dimanfaatkan sebagai Bahan Bakar Nabati/*biofuel* (BBN) dan pembangkit listrik. Pada skenario *Business as Usual* (BaU), kebutuhan total energi primer Indonesia menunjukkan pertumbuhan dari 216 juta TOE (*tonne of oil equivalent*) pada tahun 2019 menjadi 507 juta TOE pada tahun 2050. Dengan laju pertumbuhan 3,2% per tahun, penggunaan BBM diprediksi akan terus meningkat. Adanya pandemi Covid-19 dan peran sektor migas yang memberikan kontribusi negatif, menyebabkan penurunan defisit pada neraca perdagangan pada tahun 2020. Konsumsi energi di Indonesia terbanyak adalah dalam bentuk BBM (bensin, minyak tanah, minyak bakar, avtur, avgas, minyak solar, dan minyak diesel). Sementara itu, proyeksi konsumsi bensin sendiri pada tahun 2020

sebesar ±28,3 juta kL (data dari Pertamina) dan 36-36,5 juta kL (data dari ESDM dan BPPT) dan pada tahun 2050 sebesar ±76 juta kL (data dari Pertamina) dan ±90,6-91,8 juta kL (data dari ESDM dan BPPT). Untuk memenuhi kebutuhan tersebut, di tahun 2020 Indonesia diperkirakan mengimpor bensin sekitar 13,56-21,75 juta kL. Apabila terjadi peningkatan kapasitas kilang bensin pada tahun-tahun berikutnya, maka proyeksi impor bensin dapat ditekan.

Salah satu solusi yang bisa diterapkan adalah implementasi bioetanol sebagai bahan bakar campuran bensin (gasohol). Solusi ini sebetulnya dapat segera diterapkan ke kendaraan karena mesin kendaraan bensin di Indonesia sudah kompatibel dengan bahan bakar campuran bioetanol serta peralatan pada stasiun pengisian bahan bakar pun sudah mampu mengakomodir penyimpanan bahan bakar

campuran bioetanol. Campuran bioetanol-bensin merupakan salah satu upaya untuk mengurangi emisi GRK, polusi perkotaan dan pinggir jalan, serta untuk membatasi penggunaan bahan bakar fosil pada mesin kendaraan. Bensin yang dicampur dengan bioetanol memiliki beberapa kelebihan seperti dapat meningkatkan bilangan oktan, torsi mesin, *brake horsepower* (BHP), dan efisiensi termal serta mengurangi jumlah emisi partikulat. Sifat etanol yang merupakan oksigenat juga dapat meningkatkan efisiensi pembakaran serta menurunkan level emisi polutan lokal. Adapun kelemahan pencampuran ini dapat menurunkan densitas energi bahan bakar, tetapi dengan peningkatan angka oktan masalah ini dapat dikompensasi. Sebetulnya peraturan mengenai kewajiban implementasi bioetanol sudah ada sejak 2006 namun sampai saat ini implementasinya masih sangat tersendat akibat penyediaan anggaran yang tidak tepat. Ditambah lagi dengan tidak adanya regulasi yang mendukung pengembangan industri bioetanol dari hulu hingga ke hilir, serta skema harga BBM yang tidak dikenai pajak menimbulkan industri bioetanol dan implementasinya semakin sulit berkembang di Indonesia. Padahal jika dibandingkan dengan negara tetangga di ASEAN, rata-rata mereka menerapkan skema pajak pada bahan bakar bensin yang pendapatan dari hasil pungutan

pajak tersebut dipergunakan untuk keberlangsungan industri bioetanol.

Penggunaan bioetanol produksi dalam negeri sebagai pencampur bensin dapat menjadi perwujudan pelaksanaan komitmen Indonesia yang telah meratifikasi *Paris Agreement* dalam upaya mengurangi emisi gas rumah kaca dan mencegah terjadinya perubahan iklim serta mengurangi impor bensin (atau minyak bumi bahan mentah pembuatan bensin). Selain itu, penggunaan bioetanol juga mampu mengurangi emisi gas buang berbahaya (CO, *Unburn Hydrocarbon*, dll) dari kendaraan serta sifat bioetanol pun ramah terhadap mesin kendaraan, dibandingkan campuran lainnya seperti metanol. Kenyataan bahwa implementasi komersial bioetanol sebagai pencampur bensin berjalan lancar di banyak negara, termasuk negara-negara ASEAN seperti Thailand, Filipina, dan Vietnam, mestinya melecut bangsa Indonesia untuk serius mencari jalan agar program bensin bercampur bioetanol (alias gasohol) dapat terlaksanakan dengan baik demi kebaikan negeri.

Potensi Manfaat Ekonomi dari Penerapan Program Gasohol di Indonesia

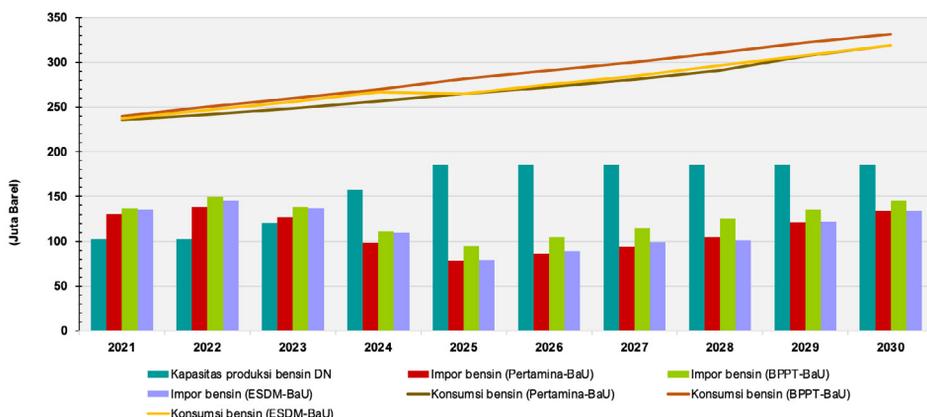
Ketergantungan yang tinggi terhadap bahan bakar minyak (BBM) impor membuat ekonomi Indonesia rentan terpengaruh

gejolak perubahan harga minyak. Saat impor BBM terus meningkat, maka transaksi berjalan tertekan, cadangan devisa tergerus dan nilai tukar rupiah dalam kondisi rawan. Strategi untuk mengatasi hal ini selain mengurangi impor, pengembangan bahan bakar nabati (BBN) juga telah menjadi opsi alternatif. Tujuan besar implementasi program mandatori bahan bakar nabati (BBN) adalah meningkatkan ketahanan dan kemandirian energi, salah satunya dengan memperbaiki defisit neraca perdagangan dan penyerapan tenaga kerja baru dalam proses implementasi program gasohol.

Reduksi Defisit Perdagangan dari BBM

Data proyeksi kapasitas kilang bensin atau produksi bensin di Indonesia diperoleh dari laporan PEO 2020, menggunakan aplikasi *WebPlotDigitizer*

untuk memperoleh perkiraan nilai kapasitasnya. Dengan menggunakan data proyeksi kapasitas kilang bensin tersebut dan konsumsi bahan bakar bensin yang berasal dari ketiga skenario (Pertamina, BPPT, dan ESDM), maka dapat diperkirakan impor bensin untuk memenuhi kebutuhan bensin di Indonesia, seperti yang disajikan pada Gambar 1. Pada tahun 2020, diperkirakan impor bensin berkisar 13,56-21,75 juta kl. Pada tahun 2030, diproyeksikan kapasitas kilang bensin meningkat dari 14,75 juta kL (2020) menjadi 31,7 juta kL yang mengakibatkan proyeksi impor bensin dapat sedikit ditekan menjadi 16,28-18,39 juta kL. Akan tetapi pada tahun 2040 dan 2050, jumlah impor bensin diperkirakan meningkat sebesar 2-3 kali lipat dibandingkan pada tahun 2030, yaitu berkisar 32,54-35,67 juta kL (2040) dan 44,31-60,13 juta kL (2050).



Gambar 1. Proyeksi Kapasitas Kilang Bensin, Konsumsi Bensin, dan Perkiraan Impor Bensin

Kapasitas produksi domestik bensin pada tahun 2021-2022 sebesar 102 juta barel, tahun 2023 sebesar 120,6 juta barel, tahun 2024 sebesar 157,7 juta barel, dan pada tahun 2025 - 2030 sebesar 185,5 juta barel (dengan catatan 1 juta barel = 159 ribu kL). Pasca *Refinery Development Master Plan* (RDMP) sebagian impor bensin akan berubah menjadi impor minyak mentah, dengan selisih harga sekitar 7 USD per barel. Meskipun demikian, impor minyak mentah ini tetap menekan perdagangan migas.

Pemanfaatan bahan bakar bersih substitusi bensin seperti bioetanol menjadi salah satu cara untuk dapat membantu memenuhi kebutuhan energi, mengurangi impor bensin, dan juga mengurangi emisi gas rumah kaca. Selain itu, dengan meninjau target bauran energi terbarukan 23% pada tahun 2025, maka aplikasi bioetanol sangatlah diperlukan dalam waktu dekat guna mendongkrak bauran energi terbarukan saat ini. Pemanfaatan bioetanol juga telah diproyeksikan dalam skenario Pertamina-MD dan Pertamina-GT yang disusun oleh Pertamina, serta pada skenario ESDM-PB dan ESDM-RK yang disusun oleh Kementerian ESDM.

Dengan mempertimbangkan beberapa aspek seperti pengembangan dan persiapan bahan baku lokal potensial, kesiapan kendaraan bermotor, kesiapan

industri, dan dukungan dari Pemerintah dalam penggunaan bioetanol sebagai substitusi bahan bakar bensin pada kendaraan bermotor, maka pemanfaatan bioetanol menjadi salah satu alternatif utama diversifikasi BBM pada kendaraan bermotor, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan meningkatkan pertumbuhan ekonomi lokal.

Usulan Rencana Implementasi Bioetanol di PT

Implementasi program gasohol di PT dapat dimulai dengan pencampuran 5% Bioetanol dengan bensin. Sebagai langkah awal, alternatif yang paling memungkinkan adalah membuat produk gasohol berupa Pertamina-E5 yang merupakan campuran dari 95% Pertalite dan 5% Bioetanol. Pertalite merupakan bensin dengan nilai angka oktan (RON) 90, sedangkan bioetanol memiliki nilai oktan (RON) 128. Pencampuran 95% Pertalite dengan 5% Bioetanol akan menghasilkan produk bensin dengan RON 92 atau setara dengan Pertamina. Untuk memenuhi kebutuhan produk Pertamina-E5, suplai bioetanol diupayakan berasal dari produksi lokal. Saat ini, perusahaan yang memungkinkan menjadi penyuplai bioetanol *fuel grade* untuk kebutuhan implementasi program gasohol dalam jangka waktu terdekat ini adalah PT ENERO dan PT Molindo yang terletak di Jawa Timur.

Strategi Implementasi Gasohol Jangka Pendek

Implementasi gasohol jangka pendek direncanakan berlangsung selama 3 tahun yang dimulai pada tahun 2022. Dalam kurun waktu 3 tahun tersebut, implementasi difokuskan di beberapa wilayah pilihan yaitu Provinsi Jawa Timur dan DKI Jakarta. Hal ini didasarkan pada ketersediaan infrastruktur dari produsen bioetanol yang banyak terletak di daerah Jawa Timur. Provinsi DKI Jakarta juga dipilih untuk pelaksanaan implementasi gasohol jangka pendek karena memiliki tingkat polutan yang tinggi sehingga

dengan adanya pemakaian bahan bakar nabati ini harapannya akan mengurangi efek bahaya terhadap lingkungan dari polusi yang dihasilkan oleh kendaraan. Selain itu, penerapan program gasohol di ibukota juga mempermudah pemasaran dan sangat potensial untuk keperluan kampanye/pengenalan produk gasohol itu sendiri. Berikut merupakan rencana implementasi jangka pendek yang akan diterapkan di Jawa Timur dan DKI Jakarta beserta ketersediaan bioetanol domestik.

Berdasarkan tabel tersebut, diketahui bahwa total kebutuhan bioetanol di Jawa Timur dan DKI

Tabel 1. Rencana Implementasi Implementasi Gasohol Jangka Pendek

Kebutuhan Pertamina E Jatim	7.242.309,85	kL/tahun
Kebutuhan Pertamina E DKI Jakarta	6.682.080,32	kL/tahun
Total kebutuhan Pertamina E	13.924.390,17	kL/tahun
Kebutuhan Bioetanol Jatim	362.115,49	kL/tahun
Kebutuhan Bioetanol DKI Jakarta	334.104,02	kL/tahun
Total kebutuhan Bioetanol	696.219,51	kL/tahun
Suplai bioetanol Molindo	9.999,26	kL/tahun
Suplai bioetanol Enero	29.997,79	kL/tahun
Total suplai bioetanol domestik	39.997,06	kL/tahun
Selisih suplai dan <i>demand</i>	656.222,45	kL/tahun

Jakarta adalah 13,92 juta kL per tahunnya. Sedangkan saat ini, produsen bioetanol yang siap menyuplai bioetanol *fuel grade*-nya untuk keperluan implementasi gasohol jangka pendek adalah PT Molindo dan PT ENERO dengan

total produksi bioetanol 39,99 ribu kL per tahunnya, sehingga masih terdapat selisih sangat besar antara kebutuhan dan juga suplai dari produsen bioetanol domestik, yaitu sekitar 656,2 ribu kL. Untuk memenuhi kebutuhan bioetanol

dalam upaya implementasi program gasohol jangka pendek, opsi impor bioetanol *fuel grade* dapat dipertimbangkan. Impor bioetanol *fuel grade* dapat berlangsung selama implementasi program gasohol jangka pendek pada 2022-2025. Bersamaan dengan impor bioetanol dan program jangka pendek gasohol yang akan berjalan, harapannya dalam kurun waktu 3 tahun tersebut bermunculan produsen-produsen bioetanol baru yang dapat mendukung pemenuhan kebutuhan bioetanol domestik di masa depan.

Berdasarkan tabel 1 tersebut di atas dapat diketahui bahwa jika dilakukan implementasi untuk daerah Jawa Timur dan DKI Jakarta saja membutuhkan bioetanol sebanyak 187,8 ribu juta kL sehingga memenuhi rencana implementasi Pertamina-E5. Sedangkan pasokan yang tersedia dari produsen bioetanol dalam negeri hanya dapat memasok sekitar 21,3% saja dari total kebutuhan bioetanol. Kekurangan pasokan bioetanol untuk implementasi Pertamina-E5 ini dapat dipenuhi dengan cara impor, meskipun sebenarnya impor sebaiknya adalah prioritas terakhir mengingat potensi produksi bioetanol di Indonesia sangat besar. Bercermin dari suksesnya implementasi program biodiesel di Indonesia, selain dukungan dari pemerintah dan pihak swasta, sebagai langkah awal dalam implementasi gasohol ini juga

perlu ditangani serius dengan dibentuknya lembaga khusus yang mendorong penelitian dan pengembangan, mempromosikan usaha, mengatur dana serta meningkatkan sarana prasarana industri bioetanol seperti sudah berjalan dalam implementasi biodiesel pada solar di Indonesia.

Usulan Strategi Implementasi Gasohol Jangka Menengah dan Jangka Panjang

Usulan rencana implementasi program gasohol untuk jangka menengah/moderat bisa dilakukan dalam kurun waktu 5 tahun (2026-2030), sedangkan rencana implementasi jangka panjang akan dimulai pada tahun 2031. Pada proses implementasi ini banyak kemungkinan yang bisa terjadi, seperti memungkinkannya penambahan *blending* bioetanol dari yang semula hanya 5%-v menjadi 10%-v. Selain itu, penyebaran wilayah implementasi juga bisa beragam bergantung pada kebutuhan tertentu. Sebagai contoh, penyebaran produk Pertamina-E5 pada implementasi jangka pendek hanya berfokus di Provinsi Jawa Timur dan DKI Jakarta guna memanfaatkan potensi wilayah yang dekat dengan produsen bioetanol aktif sehingga ongkos transportasi produk cenderung lebih kecil dan pemasaran di daerah ibukota untuk keperluan kampanye produk. Oleh karena itu, dalam implementasi jangka menengah maupun jangka panjang perlu

dibuat beberapa skenario yang memungkinkan untuk diterapkan. Berikut beberapa usulan skenario serta implementasinya.

a. **Skenario I**

Pada skenario ini, implementasi gasohol jangka menengah dilakukan di seluruh Pulau Jawa. Daerah Jawa Timur dan DKI Jakarta yang sebelumnya sudah menerapkan program gasohol dengan Pertamina-E5 akan ditingkatkan persentase *blending*-nya menjadi 10%-v bioetanol ke dalam bensin Peralite dengan produk Pertamina-E10, sedangkan daerah lainnya di Pulau

Jawa akan memulai implementasinya dengan *blending* 5%-v bioetanol ke dalam bensin Peralite dalam bentuk produk Pertamina-E5. Untuk jangka panjang, implementasi akan dilakukan dalam skala nasional dengan penerapan Pertamina-E10. Berikut rencana pencampuran bioetanol pada implementasi gasohol skenario I hingga tahun 2035.

Skenario pertama ini disebut juga skenario pesimis karena melakukan implementasi gasohol dengan bertahap



Gambar 2. Skema Implementasi Gasohol Skenario I

dari segi pencampuran bioetanol juga dari segi wilayah penyebarannya. Sebagai langkah awal, seluruh daerah di Pulau Jawa (selain Jawa Timur dan DKI Indonesia) akan dicoba dengan pemasaran produk Pertamina-E5, dengan harapan industri - industri bioetanol sudah mulai tersebar di beberapa daerah se-Pulau

Jawa sehingga ongkos transportasi bukan menjadi masalah yang berarti. Setelah itu, implementasi gasohol dengan Pertamina-E10 mulai dipasarkan ke seluruh wilayah Indonesia pada tahun 2031. Berikut kebutuhan bioetanol sebagai pencampur bensin berdasarkan RUEN untuk skenario I.

Tabel 2. Kebutuhan Bioetanol Jangka Menengah Skenario I

	Blending (%)		Kebutuhan (Juta kL/tahun)
Pertamax-E10 DKI+Jatim	Pertalite	0,9	10,41
	Bioetanol	0,1	1,16
Pertamax-E5 Jawa	Pertalite	0,95	16,69
	Bioetanol	0,05	0,88
Total kebutuhan bioetanol (juta kL/tahun)			2,03

Tabel 3. Kebutuhan Bioetanol Jangka Panjang Skenario I

	Blending (%)		Kebutuhan (Juta kL/tahun)
Pertamax-E10	Pertalite	0,9	34,85
	Bioetanol	0,1	3,87
Total kebutuhan bioetanol (juta kL/tahun)			3,87

Berdasarkan tabel - tabel tersebut, bioetanol yang diperlukan untuk implementasi jangka menengah adalah 2,03 juta kL/tahun, sedangkan untuk jangka panjang dibutuhkan

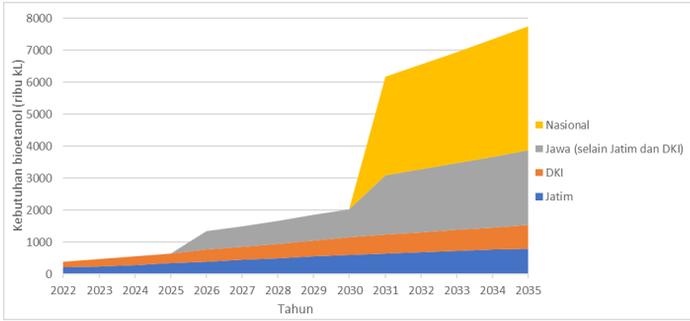
bioetanol 3,85 juta kL/tahun. Untuk memenuhi kebutuhan bioetanol tersebut, terdapat beberapa potensi bahan baku lokal yang dapat dimanfaatkan, seperti yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 4. Kebutuhan Lahan dan Bahan Baku Jangka Menengah Skenario I

Kebutuhan bioetanol jangka menengah skenario I: 2,03 juta kL/tahun						
Bahan baku	Konversi ke Bioetanol (L/ton)	Produktivitas Lahan		Kebutuhan (juta ton/tahun)	Lahan yang dibutuhkan (ha)	Luas lahan yang ada saat ini (ha)
Molase	270	3,6	ton/ha/th	7,54	2.093.382,64	443.501
Sagu	600	6	kL/ha/th	3,39	339.127,99	206.150
Singkong	150	40	ton/ha/th	13,57	339.127,99	792.952
Jagung	410	5	ton/ha/th	4,96	992.569,72	5.734.326

Tabel 5. Kebutuhan Lahan dan Bahan Baku Jangka Panjang Skenario I

Kebutuhan bioetanol jangka panjang skenario I: 3,87 juta kL/tahun						
Bahan baku	Konversi ke Bioetanol (L/ton)	Produktivitas Lahan		Kebutuhan (juta ton/tahun)	Lahan yang dibutuhkan (ha)	Luas lahan yang ada saat ini (ha)
Molase	270	3,6	ton/ha/th	14,34	3.983.560,89	443.501
Sagu	600	6	kL/ha/th	6,45	645.336,86	206.150
Singkong	150	40	ton/ha/th	25,81	645.336,86	792.952
Jagung	410	5	ton/ha/th	9,44	1.888.790,82	5.734.326



Gambar 3. Kebutuhan Bioetanol untuk Implementasi Gasohol Skenario I

b. Skenario II

Pada usulan skenario kedua ini, implementasi gasohol jangka menengah dilakukan di seluruh Pulau Jawa. Daerah Jawa Timur dan DKI Jakarta yang sebelumnya sudah menerapkan program gasohol dengan Pertamina-E5 akan ditingkatkan *blending*-nya menjadi 10%-v bioetanol ke dalam bensin pertalite dengan produk Pertamina-E10, daerah

lainnya di Pulau Jawa juga langsung akan memulai implementasinya dengan *blending* 10%-v bioetanol ke dalam bensin pertalite, sehingga Pertamina-E10 serentak dipasarkan di Pulau Jawa. Untuk jangka panjang, penerapan Pertamina-E10 akan dilakukan dalam skala nasional. Berikut gambaran implementasi gasohol skenario II hingga tahun 2035.



Gambar 4. Skema Implementasi Gasohol Skenario II

Pada skenario ini terdapat perbedaan dengan skenario sebelumnya yaitu pada jangka menengah. Seluruh daerah di Pulau Jawa (termasuk Jawa Timur dan DKI Jakarta)

akan dipasarkan produk Pertamina-E5, dengan harapan dari implementasi jangka pendek sebelumnya, industri-industri bioetanol sudah tersebar di beberapa daerah

se-Pulau Jawa dan pamor produk bensin berbioetanol di masyarakat sudah meningkat. Setelah itu, implementasi gasohol dengan meningkatkan *blending* menjadi Pertamina-E10

mulai dipasarkan ke seluruh wilayah Indonesia pada tahun 2031. Berikut kebutuhan bioetanol sebagai pencampur bensin berdasarkan RUEN untuk skenario II.

Tabel 6. Kebutuhan Bioetanol Jangka Menengah Skenario II

	Blending (%)		Kebutuhan (Juta kL/tahun)
	Pertamax-E10	Pertalite	
	Bioetanol	0,1	2,91
Total kebutuhan bioetanol (juta kL/tahun)			2,91

Tabel 7. Kebutuhan Bioetanol Jangka Panjang Skenario II

	Blending (%)		Kebutuhan (Juta kL/tahun)
	Pertamax-E10	Pertalite	
	Bioetanol	0,1	3,87
Total kebutuhan bioetanol (juta kL/tahun)			2,91

Berdasarkan tabel - tabel tersebut, bioetanol yang diperlukan untuk implementasi jangka menengah adalah 2,91 juta kL/tahun, sedangkan untuk jangka panjang dibutuhkan bioetanol sebesar 3,87 juta

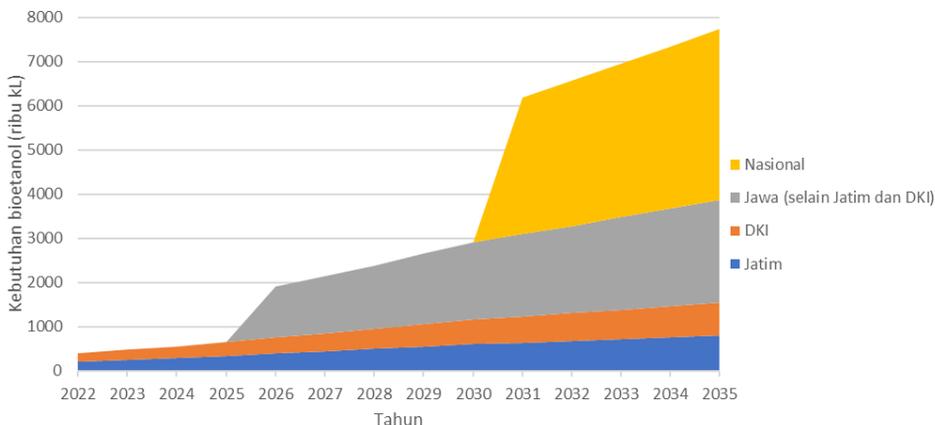
kL/tahun. Untuk memenuhi kebutuhan bioetanol tersebut, terdapat beberapa potensi bahan baku lokal yang dapat dimanfaatkan, seperti yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 8. Kebutuhan Lahan dan Bahan Baku Jangka Menengah Skenario II

Kebutuhan bioetanol jangka menengah skenario II: 2,91 Juta kL/tahun						
Bahan baku	Konversi ke Bioetanol (L/ton)	Produktivitas Lahan		Kebutuhan (juta ton/tahun)	Lahan yang dibutuhkan (ha)	Luas lahan yang ada saat ini (ha)
Molase	270	3,6	ton/ha/th	10,79	2.996.931,17	443.501
Sagu	600	6	kL/ha/th	4,86	485.502,85	206.150
Singkong	150	40	ton/ha/th	19,42	485.502,85	792.952
Jagung	410	5	ton/ha/th	7,10	1.420.983,95	5.734.326

Tabel 9. Kebutuhan Lahan dan Bahan Baku Jangka Panjang Skenario II

Kebutuhan bioetanol jangka panjang skenario II: 3,87 Juta kL/tahun						
Bahan baku	Konversi ke Bioetanol (L/ton)	Produktivitas Lahan		Kebutuhan (juta ton/tahun)	Lahan yang dibutuhkan (ha)	Luas lahan yang ada saat ini (ha)
Molase	270	3,6	ton/ha/th	14,34	3.983.560,89	443.501
Sagu	600	6	kL/ha/th	6,45	645.336,86	206.150
Singkong	150	40	ton/ha/th	25,81	645.336,86	792.952
Jagung	410	5	ton/ha/th	9,44	1.888.790,82	5.734.326



Gambar 5. Kebutuhan Bioetanol untuk Implementasi Gasohol Skenario II

c. Skenario III

Pada skenario ketiga atau juga disebut skenario optimis, implementasi gasohol jangka menengah langsung diterapkan pada skala nasional dengan program *blending* 10%-v bioetanol ke dalam bensin Pertalite yang diberi nama Pertamax-E10. Untuk jangka

panjang, di skenario optimis ini akan dilakukan *blending* 15%-v bioetanol ke dalam bensin Pertalite (Pertamax-E15) yang diterapkan pada skala nasional. Berikut gambaran rencana pencampuran bioetanol pada implementasi gasohol skenario III hingga tahun 2035.



Gambar 6. Skema Implementasi Gasohol Skenario III

Dalam skenario optimis ini, pada jangka menengah Pertamina-E10 sudah dipasarkan dalam skala nasional. Langkah ini diambil dengan asumsi industri bioetanol sudah tersebar di seluruh wilayah Indonesia dan pamor produk bensin berbiodiesel di masyarakat sudah tinggi. Setelah itu, pencampuran

bioetanol ke dalam bensin ditingkatkan menjadi 15%-v sehingga dihasilkan produk Pertamina-E15 yang bisa mulai dipasarkan ke seluruh wilayah Indonesia pada tahun 2031. Berikut kebutuhan bioetanol sebagai pencampur bensin berdasarkan RUEN untuk skenario III.

Tabel 10. Kebutuhan Bioetanol Jangka Menengah Skenario III

	Blending (%)		Kebutuhan (Juta kL/tahun)
	Pertalite	Bioetanol	
Pertamax-E10	0,9	0,1	26,22
			2,91
Total kebutuhan bioetanol (juta kL/tahun)			2,91

Tabel 11. Kebutuhan Bioetanol Jangka Panjang Skenario III

	Blending (%)		Kebutuhan (Juta kL/tahun)
	Pertalite	Bioetanol	
Pertamax-E15	0,85	0,15	32,91
			5,81
Total kebutuhan bioetanol (juta kL/tahun)			5,81

Berdasarkan tabel tersebut, bioetanol yang diperlukan untuk implementasi jangka menengah adalah 2,91 juta

kL/tahun, sedangkan untuk jangka panjang dibutuhkan bioetanol 5,81 juta kL/tahun.

Untuk memenuhi kebutuhan bioetanol tersebut, terdapat beberapa potensi bahan baku

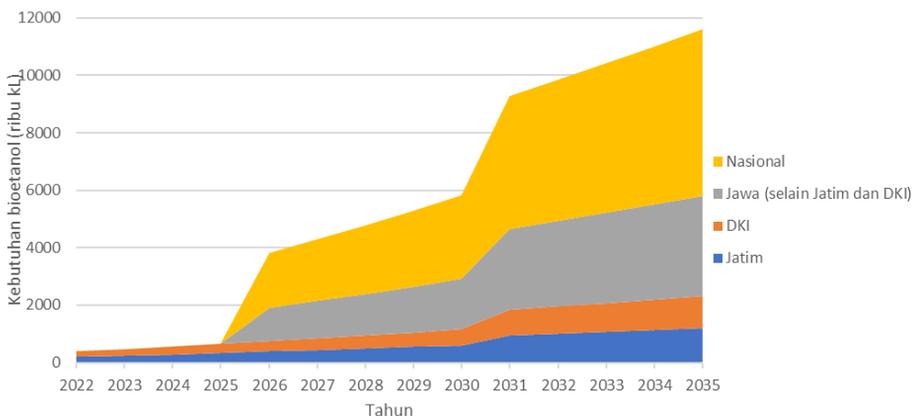
lokal yang dapat dimanfaatkan, seperti yang tertera pada tabel berikut.

Tabel 12. Kebutuhan Lahan dan Bahan Baku Jangka Menengah Skenario III

Kebutuhan bioetanol jangka menengah skenario III : 2,91 juta kL/tahun						
Bahan baku	Konversi ke Bioetanol (L/ton)	Produktivitas Lahan		Kebutuhan (juta ton/tahun)	Luas lahan dibutuhkan (ha)	Luas lahan yang ada saat ini (ha)
Molase	270	3,6	ton/ha/th	10,79	2.996.931,17	443.501
Sagu	600	6	kL/ha/th	4,86	485.502,85	206.150
Singkong	150	40	ton/ha/th	19,42	485.502,85	792.952
Jagung	410	5	ton/ha/th	7,10	1.420.983,95	5.734.326

Tabel 13. Kebutuhan Lahan dan Bahan Baku Jangka Panjang Skenario III

Kebutuhan bioetanol jangka panjang skenario III : 2,91 juta kL/tahun						
Bahan baku	Konversi ke Bioetanol (L/ton)	Produktivitas Lahan		Kebutuhan (juta ton/tahun)	Luas lahan dibutuhkan (ha)	Luas lahan yang ada saat ini (ha)
Molase	270	3,6	ton/ha/th	21,51	5.975.341,34	443.501
Sagu	600	6	kL/ha/th	9,68	968.005,30	206.150
Singkong	150	40	ton/ha/th	38,72	968.005,30	792.952
Jagung	410	5	ton/ha/th	14,17	2.833.186,23	5.734.326



Gambar 7. Kebutuhan Bioetanol untuk Implementasi Gasohol Skenario III

Pada prinsipnya, implementasi bioetanol di Indonesia perlu dilakukan secara bertahap. Hal ini berkaca pada keberhasilan program biodiesel sebelumnya yang juga dimulai dengan langkah kecil tapi terlaksana dan diawasi dengan baik. Saat ini di Indonesia tidak banyak produsen bioetanol *fuel grade*, sehingga kebutuhan akan bioetanol sebagai pencampur bensin masih kurang. Dengan dimulainya program gasohol di beberapa daerah, selain upaya penerapan bahan bakar ramah lingkungan juga dapat membuka pasar bioetanol *fuel*

grade dalam negeri. Apabila pasar sudah terbentuk, maka industri pun akan bermunculan dan berlomba-lomba untuk menyediakan bioetanol *fuel grade* sebagai bahan baku pencampur bensin, ditambah potensi sumber daya alam untuk membuat bioetanol di Indonesia juga sangat melimpah. Sampai saat ini saja baru molase yang banyak dimanfaatkan oleh para produsen dalam negeri untuk membuat bioetanol *fuel grade*, sedangkan masih terdapat tanaman lokal lain yang juga memiliki potensi besar jika digunakan sebagai bahan baku bioetanol.

Acknowledgement: Studi peta jalan penggunaan bioetanol di Indonesia ini dilakukan atas kerjasama Fakultas Teknologi Industri (FTI) Institut Teknologi Bandung (ITB) bersama USGC (United State Grain Council) dan didanai oleh USGC pada tahun 2021.

Disclaimer: Tulisan ini adalah studi awal tim FTI dan USGC tahun 2021 untuk membedah dan menulis kembali situasi penggunaan bioetanol di Indonesia serta memberikan usulan-usulan agar program bioetanol di Indonesia bisa dimulai kembali. Studi ini tidak dapat digunakan untuk menentukan program negara namun harus dilakukan studi yang lebih komprehensif dan mendalam agar dapat dijadikan program negara.

Saatnya Pakai Bright Gas yang DOBEL AMANNYA



Double Spindle Valve System
Lebih aman dengan katup pengaman ganda



Pindai QR Code
Cek keaslian produk dengan aplikasi BG Scanner/ aplikasi scanner lainnya



Hologram & QR Code Seal Cap*
Keaslian Produk Terjaga
Hologram Putih (Untuk Tabung 5,5 Kg)
Hologram Kuning (Untuk Tabung 12 Kg)



Cek keaslian produk & info pengisian di:



atau www.brightgas.co.id/cekproduk

PERAN INDONESIA DALAM POROS PEMBENTUK ASEAN *BIOFUEL ACTION*

Dr. Peggy Hariwan

International Energy Agency

Email: peggyhariwan@gmail.com

Abstrak

Biofuel merupakan sumber daya energi terbarukan. Negara ASEAN seperti Indonesia, Malaysia, Filipina, dan Thailand sudah memiliki target kebijakan untuk pengembangan implementasi biofuel. Integrasi biofuel ke peta jalan energi terbarukan ASEAN dalam jangka panjang diharapkan dapat memenuhi gap pencapaian target energi baru terbarukan (EBT), memenuhi keamanan energi, dan menjaga ketahanan energi. Artikel ini menggunakan pendekatan kualitatif di mana artikel menghasilkan prosedur analisis yang tidak menggunakan prosedur analisis statistik. Pada tahun 2018, India merilis kebijakan nasional mengenai bahan bakar nabati yang menetapkan target pencampuran etanol (20% pencampuran pada tahun 2030) dan biodiesel (5% pada tahun 2030), yang mendorong India membentuk *Global Biofuel Alliances*. Total produksi biodiesel di negara ASEAN pada tahun 2022 sebesar 13.028 juta liter atau setara dengan 4.600.795 ton. Sedangkan total produksi bioetanol di tahun sama menyumbang 1.908 juta liter atau setara dengan 673.804 ton. ASEAN dengan kondisi potensi produksi di atas mampu membentuk ASEAN *Biofuel Action* dalam menahan tekanan luar.

Kata Kunci: *Biofuel*, ASEAN, ASEAN *Biofuel Action*

Pendahuluan

Bahan bakar nabati (*biofuel*) merupakan sumber daya energi terbarukan yang terdiri dari dua jenis yaitu bioetanol dan biodiesel. *Biofuel* adalah bahan bakar padat, cair dan gas yang bersumber dari biomassa, di mana biomassa sendiri dapat berasal dari tumbuhan dan hewan. *Biofuel*

padat contohnya yaitu kayu, arang dan ampastebu. *Biofuel* gas seperti gas metana yang dapat diperoleh dari fermentasi anaerobik kotoran hewan. Etanol, minyak tumbuhan dan biodiesel digolongkan sebagai *biofuel* cair (Debalina and Ralph, 2013).

Negara ASEAN diantaranya Indonesia, Malaysia, Filipina, dan

Thailand sudah memiliki target kebijakan untuk pengembangan implementasi *biofuel*. Pada tahun 2021, Thailand memproduksi 44% minyak dari *biofuel*. Sedangkan Filipina akan menggantikan 15% diesel dan 20% bensin dengan *biofuel*. Pada tahun 2030, Malaysia akan mengganti 5% diesel untuk transportasi. Sedangkan Indonesia, program mandatori biodiesel telah menghasilkan sekitar 16,3 juta kilo liter pada tahun 2021. Program mandatori biodiesel Indonesia yang mulai dilaksanakan pada tahun 2008 dengan kadar campuran biodiesel sebesar 2,5%, pada saat ini persentase campurannya terus bertambah secara bertahap hingga pada Februari 2023 Indonesia menerapkan B35 (35%) secara nasional. Program B40 (campuran 40 persen biodiesel pada bahan bakar solar) yang diluncurkan pada tanggal 27 Juli 2022 oleh Menteri ESDM, terus melakukan berbagai rangkaian uji kelayakan bahan baku penggerak mesin diesel.

Integrasi *biofuel* ke peta jalan energi terbarukan ASEAN dalam jangka panjang, diharapkan dapat memenuhi *gap* pencapaian target energi baru terbarukan (EBT), memenuhi keamanan energi, dan menjaga ketahanan energi. Menurut data dari ASEAN *Plan of Action for Energy Cooperation* (APAEC), ASEAN memiliki target untuk meningkatkan energi baru terbarukan (EBT) sebesar 23% pada tahun 2025, tetapi

realisasi penggunaan energi baru terbarukan (EBT) baru mencapai 14,4% dalam bauran total pasokan energi primer. Berdasarkan BP *Statistical Review of World Energy*, tahun 2022, ASEAN memberikan kontribusi signifikan terhadap pasokan *biofuel* global dengan produksi Indonesia 174 ribu BOEPD sebagai negara penghasil BBN terbesar ketiga setelah Amerika Serikat dan Brazil. Sedangkan Thailand menghasilkan 52 ribu BOEPD.

Pembentukan ASEAN *Biofuel Action* sebagai dukungan ASEAN terhadap kekuatan *biofuel* yang tumbuh sebagai sumber energi alternatif yang penting untuk mencapai tujuan EBT di Indonesia dan ASEAN. Implementasi pengembangan *biofuel* di negara anggota ASEAN merupakan solusi berkelanjutan dalam mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil sehingga dapat meningkatkan ketahanan energi dan mendukung pembangunan ekonomi. Hal tersebut mampu menahan serangan Uni Eropa dan WTO dalam melakukan *downgrade biofuel* sebagai produk bukan EBT, deforestasi lahan, dan dianggap pelanggaran oleh WTO.

Metodologi

Artikel ini menggunakan pendekatan kualitatif, di mana artikel menghasilkan prosedur analisis yang tidak menggunakan

prosedur analisis statistik atau cara kuantitatif lainnya. Penelitian kualitatif bermaksud untuk memahami fenomena tentang apa yang dialami oleh subjek penelitian, dan dideskripsikan dalam bentuk kata-kata dan bahasa, pada suatu konteks khusus yang alamiah dan dengan memanfaatkan berbagai metode alamiah.

Pendekatan kualitatif merupakan salah satu pendekatan yang secara primer menggunakan paradigma pengetahuan berdasarkan konstruktifis (seperti makna jamak) dari pengalaman individual, makna yang secara sosial dan historis, yang dilakukan dengan maksud mengembangkan suatu teori atau pola. Penelitian dengan pendekatan kualitatif pada dasarnya lebih menekankan analisisnya pada proses penyimpulan deduktif dan induktif serta pada analisis terhadap dinamika hubungan antar fenomena yang diamati, dengan menggunakan logika ilmiah.

Hasil dan Pembahasan

Biofuel berbeda dengan jenis energi alternatif lainnya seperti energi baterai yang rumit dan mahal, batu bara yang memiliki miliaran ton karbon berbahaya dan sumber daya tak terbarukan, gas alam yang membutuhkan modal besar, panas bumi yang tidak sederhana dan sangat

mahal, dan energi surya meskipun sumber energinya gratis namun membutuhkan biaya yang mahal untuk merubah energinya menjadi listrik. Biomassa (sumber daya *biofuel*) merupakan satu-satunya sumber energi terbarukan yang mempunyai potensi besar menggantikan bahan bakar fosil dalam berbagai jenis (Harsono dan Subronto, 2013). Di Asia Tenggara, sumber daya biomassa yang melimpah dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku *biofuel*, salah satunya adalah *Elaeis Guineensis* yang biasa dikenal dengan minyak sawit. Minyak hasil ekstraksi dapat diubah menjadi biodiesel melalui reaksi esterifikasi dan transesterifikasi dengan alkohol dan katalis. Data tahun 2020 menunjukkan sekitar 16,4 juta hektar (Mha) dan 5,9 Mha perkebunan kelapa sawit di Indonesia dan Malaysia masing-masing. Akibatnya, areal perkebunan yang begitu luas membuat kedua negara dimaksud menjadi produsen dan konsumen biodiesel terbesar pada tahun 2020.

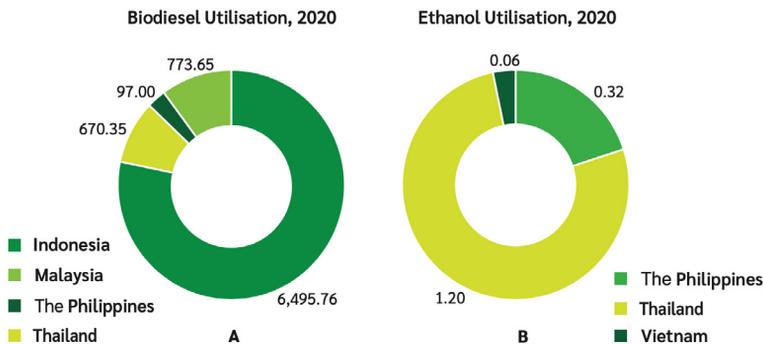
Tabel 1 merangkum kebijakan *biofuel* ASEAN dan rasio pencampuran etanol dan biodiesel. Implementasi mandat ini merupakan keseluruhan dari target fase II APAEC: 2021-2025 untuk meningkatkan pangsa energi terbarukan menjadi 23% dalam TPES pada tahun 2025.

Tabel 1. Kebijakan *Biofuel* dan Mandat Rasio Pencampuran di Negara-Negara AMS (ASEAN Member State)Sumber: ASEAN *Biofuel*, 2023

Negara	Kebijakan <i>Biofuel</i> /Rasio Campuran		
	Etanol	Biodiesel	Kebijakan/Sumber
Brunei Darussalam	N/A	N/A	
Kamboja	N/A	N/A	
Indonesia	E5 di tahun 2023 E20 di tahun 2025	B30 di tahun 2020 B35 di tahun 2023	<ul style="list-style-type: none"> Peraturan Menteri ESDM No. 12/2015 Peningkatan <i>National Determined Contributions</i> (NDC) Indonesia 2022
Lao PDR (People's Democratic Republic)	10% pangsa <i>biofuel</i> di TPES (rasio pencampuran 5%-10%) pada tahun 2025 10% Pangsa <i>biofuel</i> dalam bahan bakar transportasi pada tahun 2030		<ul style="list-style-type: none"> Visi 2030, Rencana Strategis 2025, dan Rencana Pengembangan Ketenagalistrikan 5 Tahun NDC Lao PDR 2021
Malaysia	E10	Saat ini: B20	Program Biodiesel Nasional 2021 - <i>update</i> dari <i>Ministry of Plantation Industries and Commodities</i> (MPIC) Malaysia
Myanmar	N/A	N/A	
Filipina	Saat ini: E10 E20 di tahun 2040	B5 di tahun 2020 B10 di tahun 2040	UU <i>Biofuel</i> berdasarkan RA: 9367 <i>Biofuel Act</i>
Singapura	N/A	N/A	
Thailand	Saat ini: E85, E20, E10	Saat ini: B7, B10, B20	<ul style="list-style-type: none"> Rencana Pengembangan Energi Alternatif 2018 Laporan <i>Department of Alternative Energy Development and Efficiency</i>(DEDE) 2021
	Pangsa <i>biofuel</i> sebesar 20-25% di TFEC pada tahun 2037		
Vietnam	Saat ini: E5, E10	Saat ini: B5, B10	<ul style="list-style-type: none"> Keputusan Nomor 2068/QĐ-TTg Keputusan Nomor 53/2012/QĐ-TTg
	13% dan 25% dari kebutuhan bahan bakar sektor transportasi masing-masing pada tahun 2030 dan 2050		

Pemanfaatan *biodiesel* dan etanol di sektor transportasi negara-negara ASEAN ditunjukkan pada

Gambar 1, yang menunjukkan kemajuan yang dicapai dalam implementasinya.

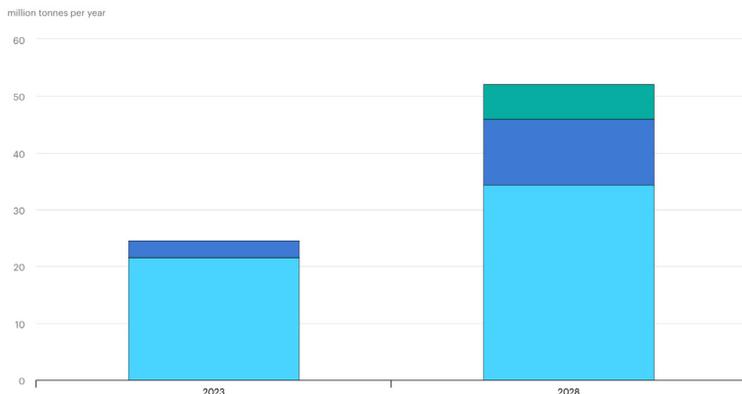


Gambar 1. Pemanfaatan Biofuel ASEAN dalam Ktoe Tahun 2020, (A) Biodiesel, (B) Etanol

Sumber: ASEAN Biofuel, 2023

Negara India, yang merupakan produsen dan konsumen etanol terbesar ketiga di dunia, dapat menjadi contoh berkat produksinya yang meningkat hampir tiga kali lipat selama lima tahun terakhir. Pada tahun 2018, India merilis kebijakan nasional mengenai bahan bakar nabati (*National Policy on Biofuels*) yang menetapkan

target pencampuran etanol (20% pencampuran pada tahun 2030) dan biodiesel (5% pada tahun 2030), mengatur kebutuhan bahan baku untuk berbagai jenis bahan bakar, dan menetapkan tanggung jawab 11 kementerian untuk mengoordinasikan tindakan pemerintah.



Gambar 2. Permintaan Bahan Baku di India Tahun 2015 - 2028

Sumber: IEA, 2024

Selain memadukan target, India menetapkan jaminan harga, kontrak etanol jangka panjang, serta standar dan kode teknis. Dukungan finansial untuk membangun fasilitas baru dan meningkatkan fasilitas yang sudah ada juga diberikan. Didukung oleh keberhasilannya, pemerintah memajukan target pencampuran volume etanol sebesar 20% selama 5 tahun ke tahun 2025 - 2026, yang dituangkan dalam Kebijakan Nasional tentang Bahan Bakar Nabati (*National Policy on Biofuels*) yang diperbarui pada tahun 2022.

India menyadari bahwa perlu dukungan banyak pihak dalam meningkatkan penyebaran *biofuel* global melalui *Global Biofuels Alliance* (GBA), yang diluncurkan

pada tanggal 9 September 2023 bersama para pemimpin dari delapan negara lainnya seperti Singapura, Bangladesh, Italia, Amerika Serikat, Brazil, Argentina, Mauritius, dan UEA di sela-sela KTT G20. Hal tersebut didukung studi IEA pada tahun lalu yang berjudul “Kebijakan *Biofuel* di Brazil, India dan Amerika Serikat: Wawasan untuk Aliansi *Biofuel* Global” untuk pengembangan GBA. Di dalamnya IEA merekomendasikan agar GBA fokus pada pengembangan pasar baru dan pasar yang sudah ada karena lebih dari 80% produksi terkonsentrasi di empat wilayah: Amerika Serikat, Brazil, Eropa dan Indonesia, yang hanya menyumbang setengah dari permintaan bahan bakar transportasi global.

Tabel 2. Produksi Biodiesel Tahun 2013 - 2022 di Negara ASEAN (Juta Liter)

Sumber: ASEAN *Biofuel*, 2023

No	Negara ASEAN	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	Indonesia	2.950	3.500	1.200	3.500	2.800	5.600	7.700	8.500	9.550	10.300
2	Malaysia	510	475	743	595	854	1.100	1.778	1.249	1.197	1.150
3	Philippina	155	172	204	227	220	220	242	188	198	248
4	Thailand	1.080	1.170	1.250	1.250	1.427	1.567	1.845	1.843	1.658	1.330

Total produksi *biodiesel* di negara ASEAN pada tahun 2022 sebesar 13.028 juta liter atau setara dengan 4.600.795 ton yang merupakan kontribusi dari negara Indonesia, Malaysia, Filipina

dan Thailand. Sedangkan total produksi *bioethanol* di tahun sama menyumbang 1.908 juta liter atau setara dengan 673.804 ton yang berasal dari Filipina, Thailand dan Vietnam.

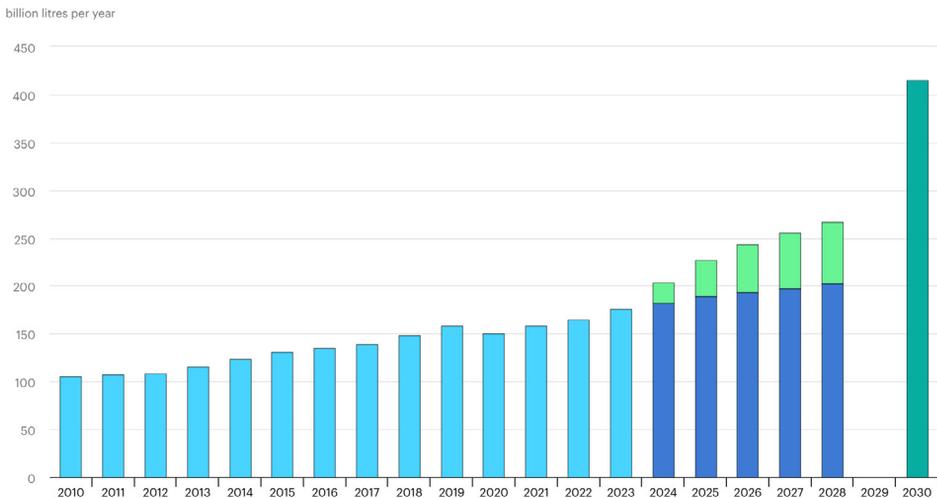
Tabel 3. Produksi Bioetanol Tahun 2013 - 2022 di Negara ASEAN (Juta Liter)

Sumber: ASEAN *Biofuel*, 2023

No	Negara ASEAN	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
1	Philippina	72	115	204	227	220	220	242	188	198	248
2	Thailand	950	1.058	1.174	1.276	1.461	1.485	1.619	1.478	1.326	1.460
3	Vietnam	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200

ASEAN dengan kondisi potensi produksi di atas mampu membentuk ASEAN *Biofuel Action* dalam menahan tekanan UE dan WTO terhadap produk biodiesel yang dapat mengurangi impor BBM ASEAN, meningkatkan bauran energi baru terbarukan, meningkatkan industri dalam negeri, menurunkan struktur biaya industri, mengurangi emisi pada sektor transportasi, menjaga ketahanan energi, dan meningkatkan perekonomian melalui devisa penjualan BBN.

Biofuel adalah salah satu kunci peralihan bahan bakar fosil ke kendaraan listrik dan peningkatan efisiensi kendaraan. Mereka juga kompatibel dengan kendaraan yang ada dan dalam jangka menengah memainkan peran penting dalam mengurangi emisi dari transportasi jalan jarak jauh, udara dan laut. Dalam skenario *net zero* yang ditetapkan IEA, produksi *biofuel* hampir tiga kali lipat dari tingkat saat ini pada tahun 2030, namun dunia belum berada pada jalur yang tepat untuk mencapai hal tersebut dan hal tersebut juga ditegaskan pada pertemuan COP28.



Gambar 3. Permintaan *Biofuel* Global, Kasus Utama, Kasus Percepatan dan dalam Skenario Net Zero, Tahun 2010 - 2030

Sumber: IEA, 2024

Sebagian besar permintaan *biofuel* baru, datang dari negara-negara berkembang, khususnya Brazil, Indonesia dan India. Ketiga negara tersebut memiliki kebijakan *biofuel* yang kuat, permintaan bahan bakar

transportasi yang meningkat, dan potensi bahan baku yang melimpah. Penggunaan etanol dan biodiesel mengalami peningkatan terbesar di wilayah ini. Meskipun negara-negara maju termasuk Uni Eropa,

Amerika Serikat, Kanada dan Jepang juga memperkuat kebijakan transportasi mereka, pertumbuhan *biofuel* dibatasi oleh beberapa faktor seperti meningkatnya penggunaan kendaraan listrik, peningkatan efisiensi kendaraan, keterbatasan teknis dan tingginya biaya pencampuran di beberapa pasar. Bahan bakar diesel dan *biojet* terbarukan merupakan segmen pertumbuhan utama di wilayah ini. Indonesia harus menjadi pelopor pembentukan ASEAN *Biofuel Action* dalam menggerakkan implementasi dan pengembangan *biofuel* ASEAN di mana aliansi tersebut memiliki tujuan:

1. Memperkuat ketahanan energi ASEAN
2. Merangsang pembangunan pertanian
3. Memberdayakan ekonomi pedesaan posisi Indonesia dan negara ASEAN lainnya
4. Mendukung kedaulatan energi ASEAN
5. Pengembangan peluang bisnis *biofuel*
6. Pertukaran pengetahuan dan kolaborasi penelitian
7. Mendorong peningkatan bauran energi baru terbarukan ASEAN

Kesimpulan

Negara ASEAN memiliki kekuatan dari sisi *feedstock*, produksi dan permintaan yang tinggi dalam pengembangan *biofuel* baik biodiesel maupun bioetanol. *Biofuel* berbeda dengan jenis energi alternatif lainnya seperti energi baterai yang rumit

dan mahal, batu bara yang memiliki miliaran ton karbon berbahaya dan sumber daya tak terbarukan, gas alam yang membutuhkan modal besar, panas bumi yang tidak sederhana dan sangat mahal, dan energi surya meskipun sumber energinya gratis namun membutuhkan biaya yang mahal untuk merubah energinya menjadi listrik. Biomassa (sumber daya *biofuel*) merupakan satu-satunya sumber energi terbarukan yang mempunyai potensi besar menggantikan bahan bakar fosil dalam berbagai jenis.

Banyak pertentangan dari pihak eksternal padahal di sisi sebaliknya potensi *multiplier effect* yang timbul dari implementasi *biofuel* terhadap negara ASEAN dan Indonesia pada khususnya jelas terlihat dari industri dan penurunan impor BBM yang tiap tahun mengalami peningkatan. Apabila India mampu menangkis dengan melakukan aksi nyata dalam *Global Biofuel Alliances* dan bahkan anggotanya tidak memiliki *feedstock* dan produksi sama sekali seperti Singapore. Dan bahkan Singapore merupakan negara anggota ASEAN.

Maka inilah saatnya Indonesia sebagai poros pembentuk ASEAN *Biofuel Action* untuk membentuk ekosistem dalam negeri dan ASEAN, juga konsolidasi kekuatan dalam menjaga pertentangan pihak lain mengenai nilai emisi *biofuel*, *biofuel* tidak dikategorisasi sebagai energi baru terbarukan dan lainnya, yang dapat diselesaikan.

Referensi

- A.P. Ghulam Kadir, 2021, Oil Palm Economic Performance in Malaysia and R&D Progress in 2020, *J. Oil Palm Res*, Vol. 33, No. 2, pp 181-214
- BP Statistical Review of World Energy
- Debalina, S.and Ralph, W. P., 2013, *Chemicals from Biomass: Integrating Bioprocessors into Chemical Production Complexes for Sustainable Development*, Francis: CRC Press, Taylor and Francis Group, 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL
- E. Heviati, 2021, *Government Policy to Boost Biofuels Development*, Direktorat Bioenergi, Jakarta, pp 1 - 8
- Harsono dan Subranto, 2013, Land-Use Implications to Energy Balances and Greenhouse Gas Emissions on Biodiesel from Palm Oil Production in Indonesia, *Journal of Central European Agriculture*, 14(2):35-46
- <https://aseanenergy.org/publications/asean-biofuel-research-and-development-roadmap/>
- <https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/06/17/3182/indonesia.dorong.pemanfaatan.biofuel.demi.capai.transisi.energi.yang.adil.dan.merata>
- <https://www.iea.org/commentaries/india-could-triple-its-biofuel-use-and-accelerate-global-deployment>
- J. Baptiste Nduwayezu, T. Ishimwe, A. Niyibizi, and A. Munyentwali, 2015, Biodiesel Production from Unrefined Palm Oil on Pilot Plant Scale, *International Journal of Sustainable and Green Energy*, Vol. 4, No. 1, p.11
- Lexy J. Moleong, *Metode Penelitian Kualitatif Edisi Revisi*, Remaja Rosda Karya, Bandung, 2009
- Nasution, *Metode Naturalistik, Kualitatif*, Tarsito, Bandung, 2002
- S. Margono, *Metodologi Penelitian Pendidikan*, Rineka Cipta, Jakarta, 1997
- Sugiyono, *Metodologi Penelitian: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R &D*, Alfabeta, Bandung, 2006

Simak 4 Keunggulan Gas Bumi **gaskita!**

Poin Terakhir Bikin Kamu Makin Cinta!



Suplai

Ngalir terus tanpa putus
melalui jaringan pipa



Pembelian

Tidak perlu order
tiap bulan, pakai dulu
bayar kemudian



Call Center

Layanan Call
Center 24x7



Keamanan

Aman & mudah
perawatan karena
lebih ringan dari udara
& tidak perlu regulator



PENGEMBANGAN TEKNOLOGI DAN SUMBER BAHAN BAKU *BIOFUEL* BERKELANJUTAN

Agung Nugroho¹ dan Deliana Dahnum²

¹Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pertamina

²Pusat Riset Kimia, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Email: agung.n@universitaspertamina.ac.id

Pendahuluan

Tren energi global telah bertransformasi secara signifikan, dilihat dari cepatnya laju perkembangan sumber energi terbarukan yang telah melampaui produksi tahunan bahan bakar fosil. Pada rentang tahun 2010 dan 2019, laju pertumbuhan produksi energi terbarukan sebesar 6,5% per tahun, melampaui pertumbuhan bahan bakar fosil seperti batu bara dan gas alam. Pergeseran menuju energi terbarukan didorong oleh berbagai faktor, termasuk kebijakan pemerintah, investasi, dan insentif

yang bertujuan untuk mempercepat pengembangan energi terbarukan. Sumber energi terbarukan yang paling banyak digunakan adalah energi surya fotovoltaik (*photovoltaic*, PV), energi angin, energi air, dan *biofuel*, yang semuanya telah mengalami kemajuan dalam aplikasi teknologi secara komersial. *Biofuel* adalah bahan bakar yang digunakan sebagai alternatif bahan bakar yang umumnya digunakan dalam sektor transportasi seperti kendaraan pribadi, kendaraan industri, perkapalan, dan penerbangan (Gambar 1).



Gambar 1. *Biofuel* sebagai Alternatif Bahan Bakar pada Berbagai Sektor Transportasi

Sumber: N. Khan, K. Sudhakar, dan R. Mamat, 2021

Saat ini *biofuel* diproduksi dari berbagai bahan baku dan diklasifikasikan menjadi empat generasi berdasarkan sumber biomassa dan metode sintesis atau produksinya (Gambar 2). Biodiesel dan bioetanol adalah jenis *biofuel* yang dapat diproduksi dengan teknologi yang sudah umum saat ini. Tetapi pada generasi pertama, biomassa yang digunakan adalah biomassa pangan (minyak nabati,

biji-bijian, dan tebu), yang banyak menimbulkan masalah sosial, ekonomi dan lingkungan. Solusi untuk menghindari persaingan antara pangan dan non pangan adalah dengan penggunaan biomassa lignoselulosa, yang merupakan sisa atau turunan dari limbah agro-industri, yang kemudian disebut generasi kedua. *Biofuel* generasi kedua ini tidak bersaing dengan produksi pangan.



Gambar 2. Klasifikasi Generasi *Biofuel*

Sumber: N. Khan, K. Sudhakar, dan R. Mamat., 2021

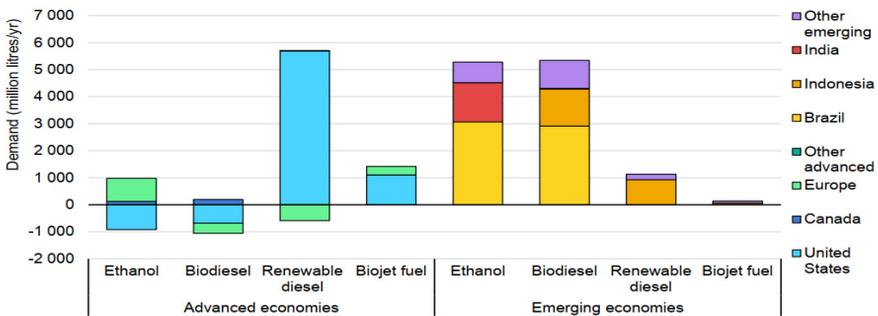
Meskipun produksi *biofuel* global meningkat sebesar 8% pada tahun 2019, didorong oleh permintaan di negara-negara berkembang seperti Brasil, China, Indonesia, dan Argentina, permintaan menurun di Uni Eropa dan Amerika Serikat karena perubahan regulasi. Kebijakan seperti kewajiban bauran energi, insentif perpajakan, dan subsidi memainkan peran penting dalam mempengaruhi permintaan *biofuel* dan tren produksi secara global.

Hasil analisis dari IEA untuk rentang tahun 2022-2024, permintaan untuk *biofuel* diperkirakan akan mengalami pertumbuhan yang signifikan, dengan hampir dua pertiga dari pertumbuhan tersebut diproyeksikan terjadi di negara-negara berkembang, terutama di India, Brasil, dan Indonesia (IEA, 2021). Kebijakan yang diterapkan di India, Brasil, dan Indonesia didasarkan pada pertimbangan *energy security*. Dengan meningkatkan penggunaan

biofuel, negara-negara ini bertujuan untuk mengurangi ketergantungan mereka pada impor minyak, sehingga dapat meningkatkan *energy security* mereka. Indonesia sendiri merupakan negara *net* importir minyak mentah, yaitu sebesar 20% dari konsumsi pada tahun 2021. Oleh karena itu pemerintah Indonesia pada tahun 2022 mengumumkan dua inisiatif untuk mempercepat

penerapan *biofuel*. Pertama, Indonesia memproyeksikan mandat pencampuran biodiesel menjadi 35% pada tahun 2023, naik dari 30% pada tahun 2022 (IEA, 2021). Kedua, Indonesia merilis strategi *Ethanol for Energy Security* untuk meningkatkan penggunaan bioetanol didukung dengan Perpres Nomor 40 Tahun 2023.

Biofuel demand growth by fuel and region, 2022-2024



Gambar 3. Pertumbuhan Permintaan *Biofuel* Berdasarkan Jenis dan Region

Sumber: IEA, 2021

Saat ini, kombinasi adanya sumber daya domestik yang mencukupi, dukungan kebijakan, dan pertimbangan keamanan energi menjadikan Indonesia sebagai salah satu pemain kunci dalam pasar *biofuel* global. Upaya untuk meningkatkan produksi dan konsumsi *biofuel* tidak hanya sejalan dengan tujuan energi nasional tetapi juga berkontribusi pada tujuan-tujuan yang lebih luas terkait keberlanjutan dan pengurangan ketergantungan pada bahan bakar fosil. Meskipun demikian, tantangan seperti pengembangan infrastruktur

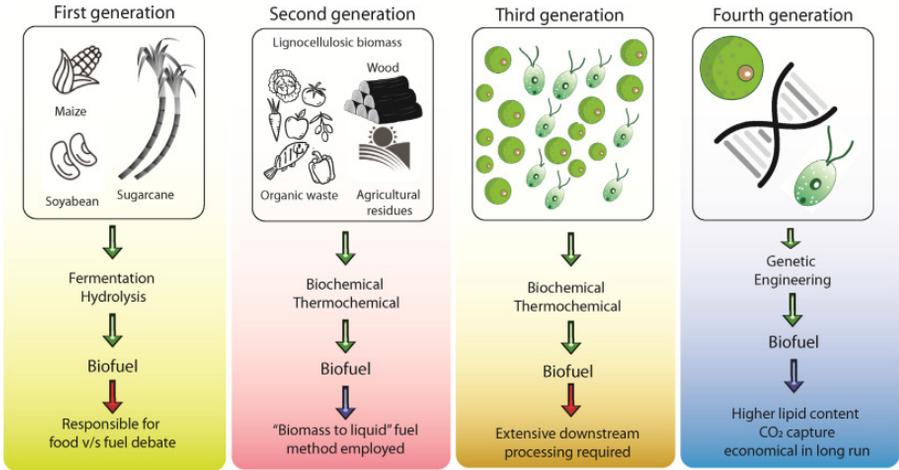
termasuk pemilihan teknologi proses dan dampak lingkungan perlu diatasi untuk memastikan transisi energi yang berkelanjutan yang diharapkan efektif dalam mengurangi perubahan iklim.

Perkembangan Teknologi dan Bahan Baku *Biofuel*

Beberapa negara maju telah memfokuskan diri mengembangkan *biofuel* untuk dapat dimanfaatkan dalam sektor transportasi. Bahan baku yang melimpah serta dukungan iklim menyebabkan Indonesia mempunyai potensi

untuk pengembangan dan produksi *biofuel*. Seperti telah disinggung sebelumnya, bahwa *biofuel* terbagi menjadi 4 generasi berdasarkan sumber biomassa dan teknologi prosesnya seperti dijabarkan dalam Gambar 4. Penggunaan biomassa yang akhirnya berkompetisi dengan

pangan pada generasi satu kemudian mendorong lahirnya generasi berikutnya yang menarik untuk dibahas lebih lanjut. Sementara itu dari sisi proses teknologi, generasi ke-4 lebih sulit dan lebih mahal dibandingkan teknologi generasi ke-3, ke-2 dan ke-1.



Gambar 4. Perkembangan Generasi *Biofuel* dari Sisi Proses dan Bahan Bakunya

Sumber: S. Anto et al., 2020

1. *Biofuel* Generasi Pertama
Biofuel generasi pertama meliputi biodiesel dan bioetanol yang sudah digunakan secara komersial. Biodiesel adalah pengganti diesel yang diproduksi melalui reaksi transesterifikasi minyak nabati dari sumber bahan pangan. Sementara itu, bioetanol adalah pengganti bensin yang diproduksi melalui reaksi fermentasi gula atau pati. Sumber bahan baku dan Reaksi yang terjadi dapat diilustrasikan dalam Gambar 5.

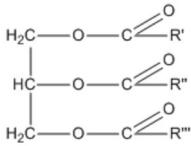
Transesterifikasi adalah reaksi kimia di mana gugus fungsional ester dari senyawa trigliserida dalam minyak nabati diganti dengan gugus fungsi OH- dari senyawa alkohol. Dalam konteks produksi biodiesel, transesterifikasi melibatkan reaksi trigliserida dengan alkohol, biasanya metanol atau etanol dengan katalis, seperti natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH). Reaksi ini mengubah molekul trigliserida dalam minyak nabati menjadi *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME)



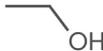
Fermentation Reaction:



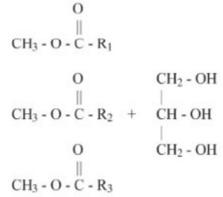
Transesterification Reaction:



Trigliserida



Alkohol



FAME

Gliserol

Gambar 5. Ilustrasi Produksi dan Reaksi Generasi Pertama *Biofuel*

atau *Fatty Acid Ethyl Ester* (FAEE), yang merupakan komponen utama biodiesel, bersama dengan gliserol sebagai produk samping. Reaksi transesterifikasi umum dapat direpresentasikan seperti pada Gambar 5. Sementara itu, pada produksi bioetanol, reaksi fermentasi digunakan untuk mengubah molekul gula menjadi molekul etanol. Fermentasi gula menjadi etanol, juga disebut fermentasi alkohol, adalah proses biologis yang mengubah gula seperti glukosa, fruktosa, dan sukrosa menjadi etanol dengan bantuan ragi (*yeast*). Reaksi ini menghasilkan produk samping berupa karbon dioksida (CO₂). Proses ini berlangsung dalam kondisi tanpa oksigen sehingga fermentasi alkohol tergolong sebagai proses anaerob.

Di Indonesia sendiri bioetanol telah diproduksi dari berbagai macam bahan baku, salah satunya adalah molase. Molase merupakan produk samping dari industri gula yang masih mengandung gula. Potensi molase sebagai bahan baku berkelanjutan sangat besar untuk bioetanol karena industri gula merupakan industri yang memproduksi kebutuhan pangan. Saat ini Pertamina telah mengomersialkan 5% bioetanol sebagai campuran dengan BBM yang menghasilkan produk Pertamina Green 95. Selain itu, biodiesel juga sudah dikomersialisasikan di Indonesia melalui Peraturan Menteri ESDM No. 12 Tahun 2015 telah ditetapkan penggunaan bahan bakar campuran biodiesel sebesar 30% (B30) sebagai



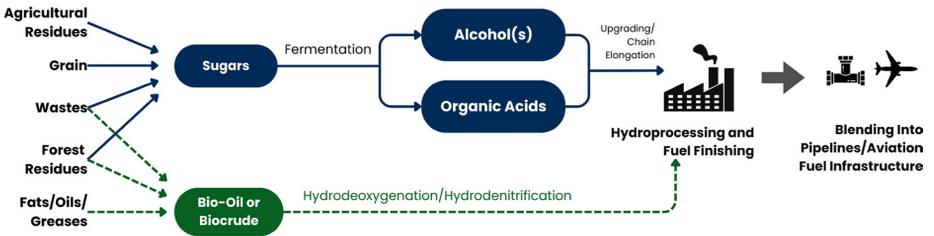
bahan bakar mesin diesel yang telah diimplementasikan mulai tanggal 1 Januari 2020.

Secara umum, ada sekitar 350 jenis tanaman yang mengandung minyak yang teridentifikasi sebagai bahan baku yang memiliki potensi untuk produksi biodiesel generasi satu, dan hal ini menjadi salah satu faktor yang signifikan dalam produksi biodiesel. Bahan baku biodiesel dapat dikelompokkan menjadi 4 grup yang berbeda tergantung dari sumbernya.

a. Tumbuhan mengandung minyak yang dapat dimakan (*edible vegetable oil*), contoh: *rapeseed, soybean, coconut, palm, peanut, sunflower, safflower, corn, cottonseed, false flux (Camelina)*, dan sejenisnya.

- b. *Non-edible vegetable oil crops: castor, jatropha, seashore mallow, algae, halophytes, Chinese tallow tree*, dan sejenisnya.
- c. Minyak jelantah, *recycle oil*, dan sejenisnya.
- d. Lemak hewani: *tallow, yellow grease, chicken fat, fish oil*, dan sejenisnya.

Selain biodiesel dan bioetanol, dalam beberapa penelitian terbaru dengan modifikasi katalis dan proses dapat didapatkan hidrokarbon dengan range *jet fuel* yang kemudian sering dikenal sebagai *sustainable aviation fuel* (SAF). Hal ini mendorong perkembangan *biojet-fuel* (SAF) di mana rantai hidrokarbon yang didapatkan adalah pada rentang C9-C16. Gambar 6 menggambarkan ilustrasi proses produksi SAF.



Gambar 6. Ilustrasi Proses Produksi *Biojet-Fuel (Sustainable Aviation Fuel, SAF)*

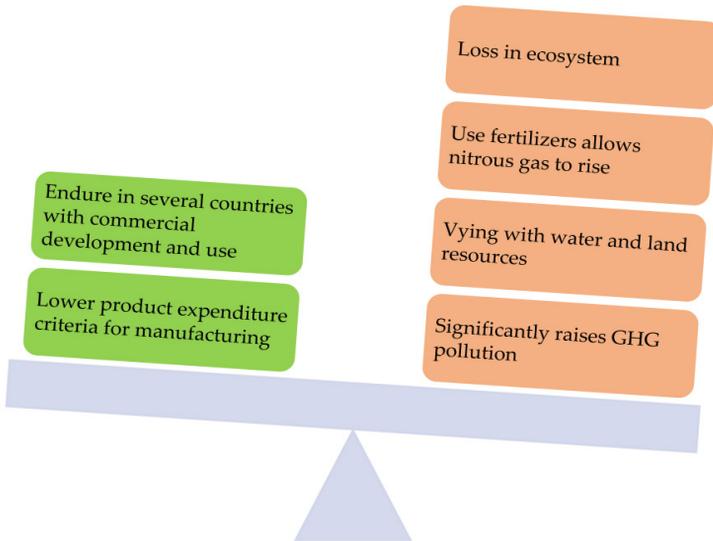
Sumber: B. T. Office, 2022

Dalam perkembangannya, *biofuel* generasi pertama memiliki beberapa tantangan serius yang sangat berpengaruh

pada keberlanjutannya. Pertama adalah persaingan dengan tanaman pangan atau yang berhubungan. Kedua adalah

keseimbangan energi, ekonomi, dan lingkungan. Menurut banyak peneliti, jika harga makanan dipengaruhi oleh produksi *biofuel*, jumlah orang yang tidak memiliki keamanan pangan di negara-negara maju

akan meningkat menjadi hampir 1,2 miliar pada tahun 2025 (IEA, 2021). Gambar 7 menunjukkan gambaran pro dan kontra dari penggunaan *biofuel* generasi pertama.



Gambar 7. Pro dan Kontra dari Penggunaan *Biofuel* Generasi Pertama

Sumber: N. Khan, K. Sudhakar, dan R. Mamat., 2021

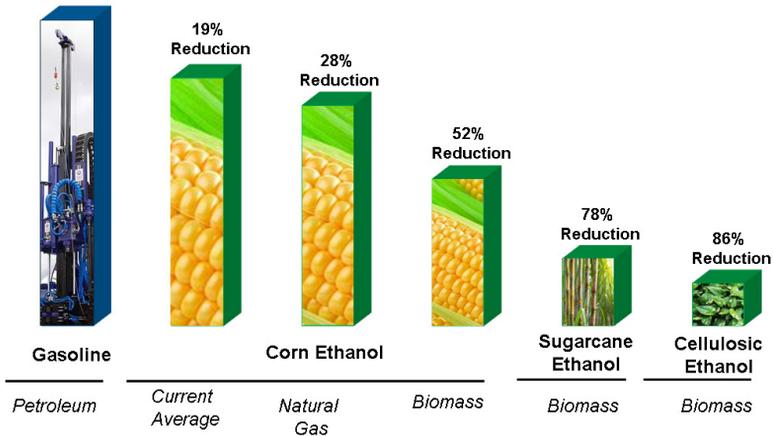
2. *Biofuel* Generasi Kedua
Biofuel generasi kedua mengacu pada bahan bakar yang dihasilkan dari bahan lignoselulosa nonpangan yang termasuk bagian tanaman yang tidak dapat dimakan. Lignoselulosa merupakan senyawa organik terbarukan yang melimpah sehingga memiliki potensi untuk bersaing dengan bahan bakar fosil dan dapat memperluas pilihan bahan baku. Selain itu, *biofuel* generasi kedua

memiliki beberapa keunggulan dibandingkan *biofuel* generasi pertama. *Biofuel* generasi kedua menghasilkan bahan bakar tanpa mengancam pasokan pangan dan keanekaragaman hayati, serta menghasilkan *yield* produksi bahan bakar yang lebih besar per hektar tanaman dan penghematan gas rumah kaca yang lebih besar. Seperti diilustrasikan pada Gambar 8, bioetanol yang berasal dari selulosa dapat menghemat GRK sebanyak

96% dibandingkan dengan yang berasal dari molase (*sugarcane*). Namun dari segi teknologi proses, *biofuel*

generasi kedua saat ini masih relatif mahal karena lebih banyak proses yang diperlukan.

Green House Emissions by Transportation Fuel And Types of Energy Used in Processing

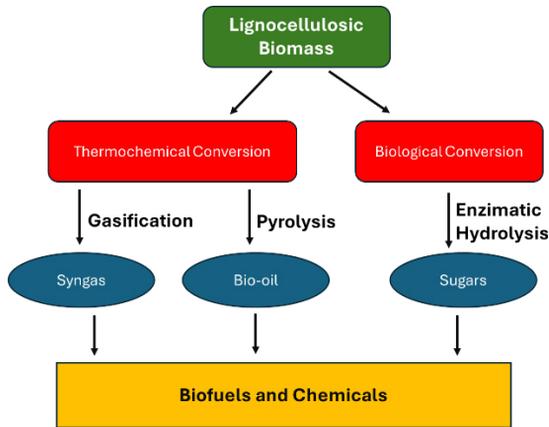


Gambar 8. Emisi Gas Rumah Kaca Berdasarkan Sumber Bahan Bakar untuk Transportasi

Sumber: *Second Generation Biofuel, 2024*

Penelitian dan pengembangan terkait *biofuel* generasi kedua berfokus pada 2 (dua) jalur sintesis yaitu secara termal dan biologis dalam pemecahan rantai lignoselulosa dari biomassa. Pada metode konversi secara termal, dibutuhkan panas pada rentang 300 – 1000 °C baik secara pirolisis maupun gasifikasi untuk pemecahan rantai lignin. Tantangan dengan metode ini adalah pada rentang suhu rendah akan lebih banyak menghasilkan padatan yang dikenal dengan

biochar. Metode biologis memerlukan jalur yang lebih kompleks yaitu *pretreatment* bahan lignoselulosa, hidrolisis enzimatis, dan fermentasi gula oleh *strain* mikroorganisme tertentu. Secara singkat dapat diilustrasikan melalui Gambar 9. Karena banyaknya komponen yang terkandung dalam lignoselulosa, setelah pemecahan rantai masih ada beberapa senyawa yang bisa dikonversikan menjadi bahan kimia lain yang memiliki nilai jual.



Gambar 9. Skema Umum Sintesis *Biofuel* Generasi Kedua

Di Indonesia sendiri telah dilakukan beberapa penelitian dan pengembangan *biofuel* generasi kedua ini. BRIN telah memiliki *pilot plant* produksi bioetanol yang menggunakan bahan baku tandan kosong

kelapa sawit. *Pilot plant* ini terdiri atas beberapa proses karena kompleksnya senyawa yang terkandung dalam tandan kosong kelapa sawit. Ilustrasi proses bisa dilihat pada Gambar 10.

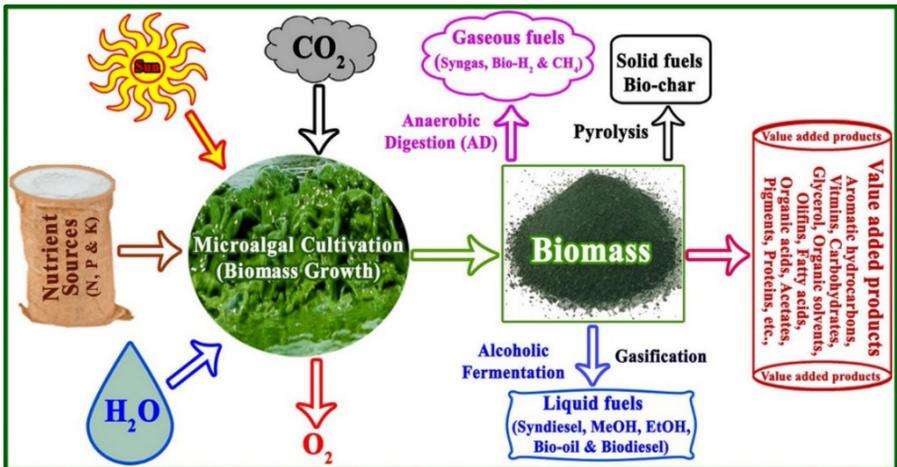


Gambar 10. Foto Dokumentasi *Pilot Plant* Bioetanol dari Tandan Kosong Kelapa Sawit di Pusat Riset Kimia-BRIN, Serpong

3. *Biofuel* Generasi Ketiga

Biofuel generasi ketiga adalah yang berasal alga. Teknologi ini cukup menarik perhatian karena merupakan bahan baku yang relatif mudah diproduksi. Secara umum, mikroalga termasuk dalam organisme fotosintesis yang dapat tumbuh sangat cepat dan menghasilkan hasil biomassa yang tinggi jika dibandingkan dengan tanaman konvensional lainnya. Sel alga terdiri dari karbohidrat, lipid, protein, asam lemak, vitamin, pigmen, dan lain-lain. Produksi biomassa dengan mikroalga melalui proses fotosintesis yang memerlukan sinar matahari

langsung, CO₂ atmosfer, suhu, pH dan nutrisi yang sesuai (N, P dan logam) untuk proses budidayanya (R. Ganesh Saratale, et al., 2022). Dalam proses fotosintesis ini, mikroalga menggunakan sinar matahari untuk proses pertumbuhan dan reproduksinya sementara CO₂ yang terserap akan menjadi sumber karbon yang dibutuhkan untuk produksi biomasnya. Dari Gambar 11 terlihat bahwa proses penumbuhan alga juga secara langsung akan berperan dalam pengurangan CO₂ yang saat ini adalah sumber gas rumah kaca (GRK) terbesar.



Gambar 11. Ilustrasi Proses Produksi *Biofuel* dari Mikroalga

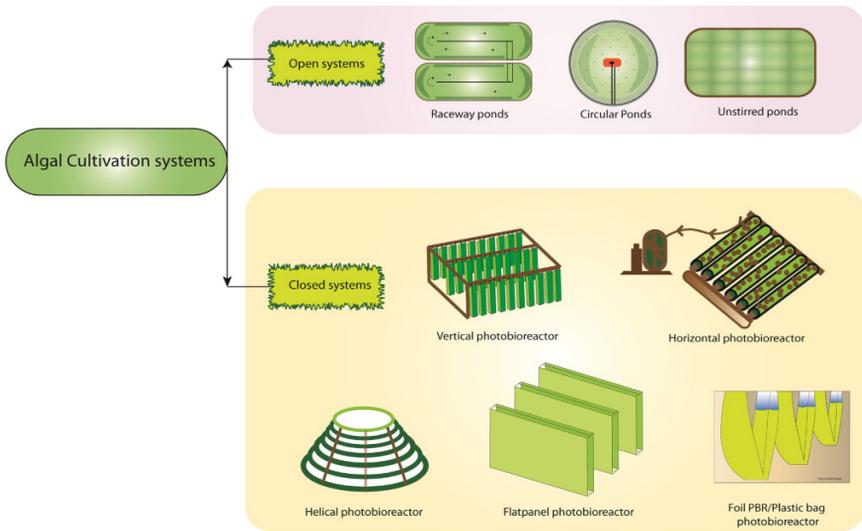
Sumber: R. Ganesh Saratale et al., 2022

Bahan baku *biofuel* dari mikroalga ini memiliki keunggulan jika dibandingkan dengan generasi pertama dan kedua, yaitu (i) memerlukan lahan yang kecil untuk produksi biomassa, (ii) tidak bersaing dengan lahan pertanian (iii) tingkat efisiensi fotosintesis pertumbuhan yang tinggi, (iv) pemanfaatan gas CO₂ sebagai sumber pertumbuhannya dan (v) reproduksi yang sangat cepat dibandingkan dengan tanaman atau biomassa penghasil minyak lainnya.

Jika dibandingkan dengan sumber bahan bakar fosil yang dalam proses produksinya melepaskan CO₂ ke lingkungan, pada proses produksi *biofuel* dari alga biomassa akan terjadi pengurangan emisi CO₂ sehingga berpotensi mengurangi *global warming*. Berdasarkan penelitian oleh Chisti, produksi 1 kg mikroalga melibatkan penyerapan 1,8 kg CO₂ untuk pertumbuhan alga (Y. Chisti, 2007). Alga memiliki penyusun utama yaitu karbohidrat (5–23%), protein (6–52%), dan lipid (7–23%). Produksi *biofuel* dari alga sangat bergantung pada kandungan lipid dalam alga. Semakin tinggi kandungan lipid maka potensi produksi *biofuel* akan semakin tinggi. Alga yang tumbuh cepat diyakini memiliki kandungan lipid rendah, sementara alga yang tumbuh lambat memiliki

kandungan lipid yang tinggi (N. Khan, K. Sudhakar, dan R. Mamat., 2021). Oleh karena itu, pemilihan *strain* mikroalga yang menghasilkan efisiensi tinggi dan laju pertumbuhan metabolit yang cepat menjadi sangat penting. Mikroalga hijau (*Chlorophyta*) dapat menghasilkan *yield biofuel* yang lebih tinggi dibandingkan dengan jenis alga lainnya seperti *cyanobacteria*, alga coklat, dan alga merah (N. Khan, K. Sudhakar, dan R. Mamat., 2021). Sebagai contoh *Chlorella Protothecoides* dengan kandungan lipid sekitar 60–70% menghasilkan *biofuel* dengan efisiensi sebesar 7,4 g/L/hari (Y. Liang, N. Sarkany, and Y. Cui., 2009). Hal ini menjadikan spesies seperti *Chlorella* sangat menarik untuk diaplikasikan secara komersial.

Produksi komersial *biofuel* dari biomassa alga dapat tercapai ketika *yield* produk minyaknya tinggi serta limbah alga yang dihasilkan dapat digunakan untuk produksi hasil samping seperti diilustrasikan di Gambar 11 di atas. Saat ini sudah dikembangkan berbagai metode proses untuk pertumbuhan alga menjadi biomassa (Gambar 12 dan Gambar 13). Terdapat sistem terbuka dan tertutup untuk penumbuhan alga ini. Kedua proses ini memiliki berbagai keuntungan dan kerugian tergantung dari lokasi dan ketersediaan sinar matahari.

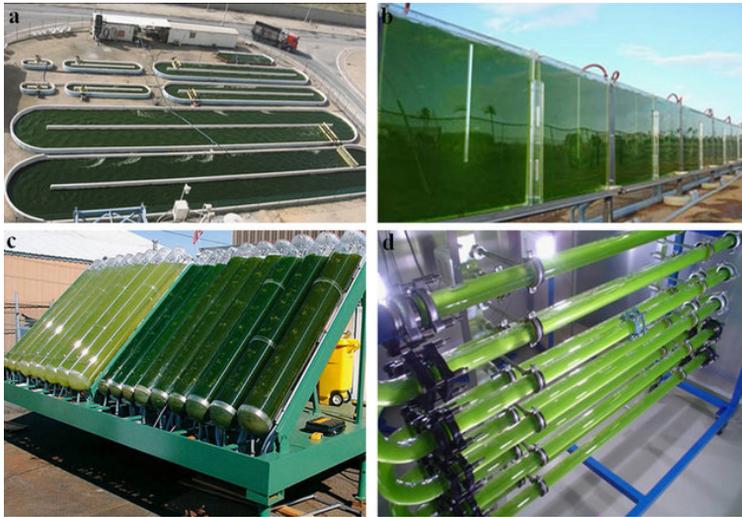


Gambar 12. Klasifikasi Teknologi Proses Penumbuhan Mikroalga

Sumber: S. Anto et al., 2019

Efisiensi produksi *biofuel* dari alga bergantung pada berbagai faktor fisikokimia dan biologis termasuk sinar matahari, suhu, pencampuran, pH, gas terlarut, dan karakteristik kualitatif dan kuantitatif biomassa. Tantangan terbesar dalam sistem pertumbuhan alga adalah ketersediaan sinar matahari. Pada beberapa lokasi di mana sinar matahari tidak bersinar secara terus menerus, digunakan bahan transparan seperti akrilik, plastik, atau kaca serta sinar tambahan dari daya listrik namun hal ini tentunya akan menjadikan proses lebih mahal. Pertimbangan lain seperti penumpukan alga didinding reaktor juga akan menghambat transmisi sinar matahari.

Selain itu, kelarutan nutrisi adalah faktor lain yang harus dipertimbangkan dalam sistem pertumbuhan alga. Ketika CO_2 dilewatkan melalui sistem, ion HCO_3^- mulai terbentuk. Meskipun sel alga dapat mengambil ion ini, namun pengendalian pH dalam budidaya alga menjadi tantangan tersendiri karena banyak mikroorganisme yang tidak tahan hidup dalam kondisi asam. Hingga saat ini lebih dari 20 genom alga telah diteliti sehingga memberikan wawasan penting dalam mekanisme produksi *biofuels* dari berbagai spesies alga. Secara umum, biomassa alga dapat dipertimbangkan sebagai sumber *biofuel* yang layak dan potensial.



Gambar 13. Jenis-Jenis Photobioreactor yang Digunakan untuk Pertumbuhan Alga: (A) Raceway Pond, (B) Flat-Plate Type, (C) Inclined Tubular dan (D) Tipe Horizontal/Kontinyu

Sumber: J. P. Bitog et al., 2011

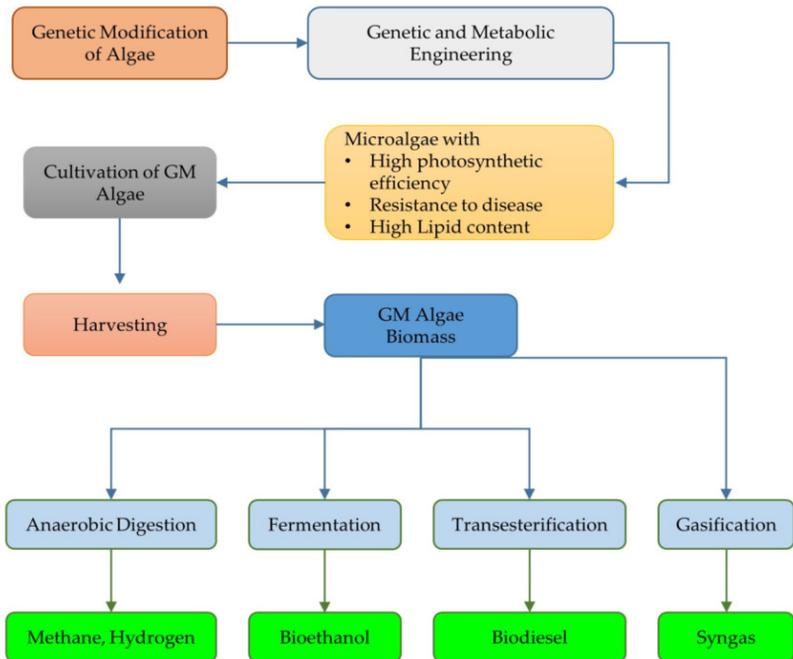
4. *Biofuel* Generasi Keempat

Biofuel generasi keempat adalah pengembangan terkini yang dianggap paling menjanjikan. Bahan baku dari *biofuel* generasi keempat adalah mikroalga, mikrob, ragi, dan *cyanobacteria* yang telah dimodifikasi secara genetik (*Genetically Modified*, GM). Salah satu cara terbaik untuk meminimalisir harga produksi, konsumsi nutrisi, dan jejak ekologis adalah dengan meningkatkan produktivitas dan jumlah lipid. Ketzer et al. menemukan bahwa dari aspek biologi, peningkatan *energy return on investment* (EROI) dapat dicapai dengan

cara meningkatkan efisiensi proses foto-konversi, sehingga menghasilkan *yield* biomassa yang lebih tinggi. Strategi rekayasa genom dilakukan untuk meningkatkan komposisi lipid alga dan produktivitas biomassa. Saat ini, ada tiga jenis rekayasa genetik umum digunakan untuk modifikasi genom *strain* mikroalga yaitu: *zinc-finger nuclease* (ZFN), *transcription activator-like effector nucleases* (TALEN), dan *clustered frequently interspaced palindromic sequences* (CRISPR/Cas9) (N. Khan, K. Sudhakar, dan R. Mamat., 2021).

Dari segi desain dan proses, metode ZFN dan TALEN diyakini lebih kompleks dalam penumbuhan mikroalga sehingga mendorong pengembangan lebih ke arah metode CRISPR-Cas9 (N. Khan, K. Sudhakar, dan R. Mamat., 2021). Wang et al. melakukan rekayasa genom berbasis CRISPR/Cas9 dari *strain* alga *Nannochloropsis* mengungkapkan bahwa kandungan lipid dalam mikroalga dapat ditingkatkan walaupun dalam kondisi kekurangan nitrogen

(Q. Wang, et al., 2016). Penelitian-penelitian yang lain juga menunjukkan bahwa dengan menggunakan rekayasa genetik, dapat dihasilkan mikroalga dengan sifat-sifat yang lebih baik seperti: efisiensi fotosintesis yang tinggi, ketahanan terhadap penyakit dan kandungan lipid yang tinggi. Hal ini memungkinkan produksi *biofuel* yang lebih efisien dibandingkan dengan *biofuel* generasi ketiga. Gambar 14 menunjukkan proses produksi *biofuel* dari alga yang dimodifikasi secara genetik.

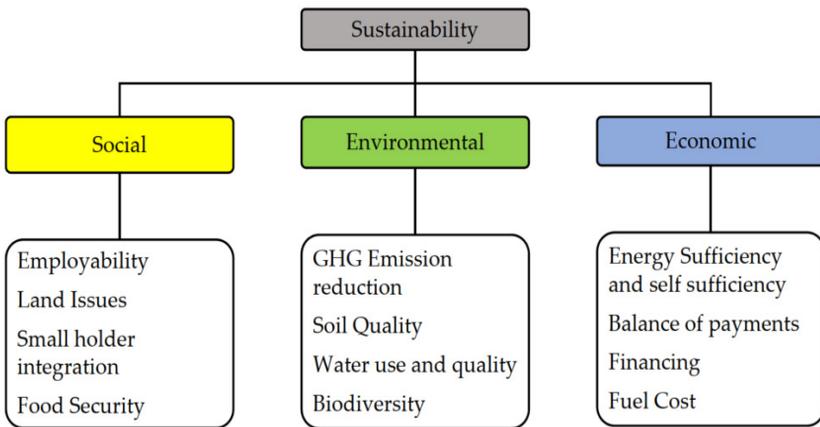


Gambar 14. Skema Jalur Produksi Biodiesel Generasi Keempat

Sumber: N. Khan, K. Sudhakar, dan R. Mamat., 2021

Salah satu kekurangan utama mikroalga yang dimodifikasi secara genetik adalah tantangan dari segi lingkungan seperti perubahan ekologis, toksisitas, transfer gen lateral, dan persaingan dengan organisme asli. Pembuangan sisa-sisa GM mikroalga dapat berdampak serius pada mikroorganisme lain yang ada lingkungan. Hal ini dikarenakan, pelepasan DNA kromosom atau plasmid pada konsentrasi tertentu dapat mengakibatkan transfer gen horizontal serta transformasi sehingga menyebabkan perubahan pada lingkungan asli. Oleh karena itu harus ada

mekanisme dan aturan yang jelas untuk pembuangannya. Untuk mengurangi bahaya pelepasan alga GM dalam skala besar ke lingkungan, dua strategi utama sedang dikembangkan yaitu: pertama, mengurangi umur alga agar tidak lepas bebas ke atmosfer saat selesai produksi, dan kedua, pencegahan secara genetik agar alga tidak bereplikasi dan bersaing di lingkungan. Akhirnya, kebutuhan akan teknologi yang lebih baik dan aturan yang jelas harus dipenuhi sebelum GM alga dapat diproduksi secara komersial untuk produksi *biofuel*.



Gambar 15. Aspek Keberlanjutan dari Produksi *Biofuel*

Sumber: N. Khan, K. Sudhakar, and R. Mamat, 2021

Keberlanjutan dan Tantangan

Konsep keberlanjutan adalah konsep multidimensi di mana banyak aspek saling berhubungan seperti kesejahteraan ekonomi, sosial, dan lingkungan seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 15. Jika salah satu dimensi saja berubah, maka akan berdampak pada dua dimensi lainnya. Produksi *biofuel* yang berkelanjutan harus mencakup pelestarian keanekaragaman hayati, pemanfaatan air yang berkelanjutan, kualitas udara yang sehat, konservasi tanah, isu-isu sosial (seperti penyimpanan, transportasi, efek kesehatan, dll.). Di satu sisi, *biofuel* berkontribusi pada prospek pengurangan CO₂, peningkatan kualitas udara, dan memberikan keuntungan dalam penggunaan energi bersih. Di sisi lain, saat ini produksi *biofuel* masih banyak merugikan keanekaragaman hayati, menyebabkan degradasi tanah, dan mempengaruhi keamanan pangan. Sejak peningkatan produksi biodiesel secara global, harga bahan pangan untuk minyak nabati telah naik secara signifikan. Solusi potensial untuk masalah energi dan lingkungan adalah budidaya alga yang secara komersial layak. Solusi ini dipandang lebih efektif secara biaya, tidak memerlukan lahan

tambahan, menggunakan lebih sedikit air, dan mengurangi emisi CO₂ atmosfer.

Efisiensi produksi global, produktivitas bersih per hektar, pengurangan emisi CO₂, nilai *net present value* (NPV), dan *levelized cost of energy* (LCOE) adalah matriks kunci yang digunakan untuk evaluasi keberlanjutan *biofuel*. Secara global, *biofuel* generasi ketiga, dengan fitur pengurangan karbon secara simultan pada proses produksinya tentunya sangat menguntungkan untuk berkelanjutan *biofuel*. Alga menunjukkan potensi besar sebagai sumber energi hijau masa depan yang mungkin karena ramah lingkungan dan produktivitas *biofuel* yang tinggi per luas lahan yang dibutuhkan. Untuk di Indonesia sendiri, teknologi penerapan *biofuel* generasi ketiga masih mendapatkan banyak tantangan. Dari segi penerapan teknologi, penggunaan *biofuel* generasi kedua lebih cocok karena tidak berkompetisi dengan harga bahan pangan. Penggunaan campuran *edible* dan *non-edible oil* juga harus lebih didorong untuk mengurangi efek kompetisi harga dengan bahan pangan dan kompetisi lahan.

MyPERTAMINA

Satu aplikasi untuk beragam produk dan layanan terbaik Pertamina

Nikmati Keuntungan Luar Biasa Point Reward

Merchandise Eksklusif



Voucher Partner



e-Voucher BBM



Harga Spesial MyPertamina Non-tunai



Layanan Pertamina Delivery Service



Beli Produk & Layanan Secara Non-tunai

Dapat Point Reward Untuk Setiap Transaksi



Lokasi SPBU Terdekat



Info Produk BBM, LPG & Pelumas Pertamina



Layanan 24 Jam Call Center 135



Layanan EV Charging dan Swapping Battery



Download aplikasi **MyPertamina** untuk nikmati hidup lebih mudah!



TRANSISI ENERGI: MERACIK FORMULA INOVATIF ETANOL UNTUK MASA DEPAN TERANG

Yanni Sudyani, Eka Triwahyuni, Sri Sugiwati,
Roni Maryana, Muryanto, Teuku Beuna Bardant,
dan Muhammad Arifuddin Fitriady

Pusat Riset Kimia, Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Email: yann001@brin.go.id

Abstrak

Transisi energi menuju penggunaan sumber energi terbarukan sangat penting dalam rangka mengatasi tantangan perubahan iklim, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Produksi bioetanol sebagai bahan bakar adalah untuk mencapai berbagai tujuan termasuk meningkatkan keamanan energi, mengurangi ketergantungan pada minyak, dan mitigasi emisi gas rumah kaca (GRK) dari sektor transportasi. Pada saat yang sama, kekhawatiran mengenai persaingan lahan yang disebabkan oleh bioetanol berbasis tanaman pangan dan implikasinya terhadap harga pangan memberikan peluang pada produksi bioetanol generasi berikutnya dari biomassa limbah lignoselulosa. Makalah ini membahas tentang evolusi bioetanol, inovasi teknologi proses produksi bioetanol, peran bioetanol dalam penurunan GRK, dampak pada sosial ekonomi dan lingkungan serta tantangan penerapan penggunaan bioetanol secara nasional.

Kata Kunci: Transisi Energi, GRK, *Biofuel*, Bioetanol Generasi Dua, Energi Terbarukan

Pendahuluan

Saat ini Indonesia mempunyai tantangan besar untuk meningkatkan kemandirian di bidang energi dalam rangka mendukung pembangunan yang berkelanjutan. Selama ini sistem penyediaan energi nasional berorientasi pada penggunaan energi fosil, sedangkan pemanfaatan

energi nonfosil atau Energi Baru Terbarukan (EBT) masih sangat rendah. Penggunaan energi fosil memberikan kontribusi terhadap peningkatan emisi Gas Rumah Kaca (GRK) yang tidak saja menyebabkan gangguan lingkungan terutama bertambahnya polusi udara tetapi yang utama adalah meningkatkan

pemanasan global (*global warming*). Selain itu proses pembakaran bahan bakar fosil juga menghasilkan gas-gas sebagai polutan lainnya seperti nitrogen oksida, sulfur oksida dan juga logam berat. Masalah ini mengindikasikan bahaya besar bagi kehidupan manusia, jika umat manusia terus bergantung kepada energi fosil. Selain itu, sumber energi yang berasal dari fosil semakin menipis dan diramalkan akan habis dalam beberapa dekade ke depan.

Transisi energi menuju penggunaan sumber energi terbarukan sangat penting dalam rangka mengatasi tantangan perubahan iklim, mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil, dan menjaga keberlanjutan lingkungan. Transisi energi dibutuhkan karena berdasarkan temuan Panel Antar Pemerintah tentang Perubahan Iklim (IPCC) tahun 2022 menunjukkan bahwa sumber GRK terbesar berasal dari sektor energi (34%), kemudian diikuti oleh sektor industri (24%), kegiatan di sektor pangan, kehutanan, dan alih fungsi lahan (22%), dan transportasi (15%) serta bangunan (6%) (eds, Shukla, Priyadarshi R., 2022). Oleh karena itu, upaya transisi energi merupakan usaha dalam mengendalikan 49% sumber GRK dari sektor energi dan transportasi.

Dalam perjalanan menuju transisi energi yang berpusat pada masyarakat, *biofuel* adalah salah satu kunci integral untuk mencapai visi tersebut. *Biofuel* merupakan

bahan bakar yang berasal dari hasil pengolahan biomassa, oleh karena itu *biofuel* sering disebut sebagai energi hijau karena asal usul dan emisinya yang bersifat ramah lingkungan dan tidak menyebabkan pemanasan global secara signifikan. *Biofuel* tidak hanya berkontribusi pada pencapaian *Sustainable Development Goals 2030*, namun juga memiliki dampak positif terhadap upaya karbon netral. Salah satu jenis *biofuel* adalah bioetanol yang memiliki peran strategis dalam mempercepat transisi menuju energi terbarukan, membawa berbagai manfaat yang signifikan untuk keberlanjutan lingkungan dan diversifikasi sumber energi (Ditjen EBTKE, 2022).

Bioetanol sebagai Bahan Bakar Nabati (BBN) telah menjadi komoditas energi strategis karena dapat mensubstitusi Bahan Bakar Minyak (BBM) dalam semua pasar dewasa ini. Penggunaan bioetanol dalam mesin pembakaran internal merupakan salah satu usaha dalam menurunkan ketergantungan terhadap BBM. Saat ini, bahan bakar untuk mesin bakar internal masih didominasi oleh BBM. Hal ini sangat berisiko pada stabilitas ekonomi Indonesia karena BBM merupakan bahan bakar tidak berkelanjutan dan ketersediaannya semakin berkurang. Oleh karena itu, diperlukan diversifikasi sumber energi, dalam hal ini BBN, agar ketergantungan terhadap BBM dapat dikurangi dan stabilitas ekonomi dapat terjaga

Bioetanol dari tanaman pangan seperti jagung atau tebu dapat mensubstitusi bahan bakar fosil dalam transportasi dan industri. Walaupun pembakaran bioetanol tetap menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) dalam jumlah kecil, tetapi tanaman yang digunakan untuk produksi bioetanol menyerap CO₂ selama pertumbuhannya, sehingga bioetanol dapat memberikan pengurangan dalam emisi gas rumah kaca.

Tulisan ini membahas tentang evolusi bioetanol, inovasi teknologi proses produksi bioetanol, peran bioetanol dalam penurunan GRK, dampak pada sosial ekonomi dan lingkungan serta tantangan penerapan penggunaan bioetanol secara nasional.

Evolusi Bioetanol Berdasarkan Bahan Baku

Berdasarkan bahan bakunya bioetanol dibedakan menjadi empat generasi yaitu yang menggunakan bahan baku berbasis gula atau pati disebut bioetanol generasi pertama (G1); bioetanol generasi kedua (G2) yang bahan bakunya berasal dari lignoselulosa misalnya limbah pertanian, kehutanan atau perkebunan, bioetanol generasi ketiga (G3) menggunakan bahan baku berasal dari laut yaitu algae. Sedangkan bioetanol generasi 4 (G4), atau bioetanol lanjut, dihasilkan dari biomassa atau oleh mikrob yang telah mengalami proses modifikasi genetika (Y. Sudiyani, et al., 2019).

1. Bioetanol Generasi Satu (G1)
Bioetanol G1 menggunakan bahan baku yang mengandung gula (tebu, molase/tetes tebu, bit gula dan sorgum manis) dan pati (gandum, jagung dan singkong). Molase (tetes tebu) merupakan bahan baku paling populer untuk bioetanol G1. Komponen gula fermentasi dalam molase terdiri dari sukrosa (31%) dan gula *invert* (15%). Kadar keduanya terlalu tinggi sebagai media tumbuh mikroba sehingga konsentrasi sukrosa dalam molase harus diencerkan (hingga 14% - 18%) sebelum fermentasi agar pertumbuhan mikroorganisme yang optimal. Jus yang diekstrak dari gula bit mengandung 16,5% sukrosa dan *sugar juice* yang diperoleh dari pemerasan mekanis batang sorgum manis (*sweet sorghum*) mengandung gula fermentasi (sukrosa, glukosa, fruktosa) 12 – 22%, sehingga dapat langsung digunakan untuk fermentasi oleh ragi *Saccharomyces cerevisiae*.
Negara penghasil bioetanol G1 umumnya menggunakan bahan baku berbasis gula sukrosa dan pati yang berasal dari tanaman pangan, seperti jagung (AS), tebu (Brasil), gandum (Prancis, Inggris, Jerman, dan Spanyol), singkong (Thailand, Nigeria) dan sorgum (India). Saat ini, Amerika Serikat merupakan negara penghasil bioetanol G1 terbesar, dengan produksi 40 miliar liter bioetanol

dari jagung atau gandum. Sementara Brasil menghasilkan 25 miliar liter bioetanol dari tebu. Saat ini, diperkirakan 60% bioetanol dihasilkan dari jagung, 25% dari tebu, 3% dari gandum, 2% dari molase, dan sisanya dari biji-bijian lainnya, singkong, dan gula bit (Hoang dan Nghiem 2021). Berdasarkan data dari *Renewable Fuels Association* (RFA) tahun 2022, Amerika Serikat merupakan negara produsen bioetanol terbesar dengan produksi 15.361 juta galon. Sementara Brasil menempati urutan kedua dengan produksi 7.400 juta galon. Selain kedua negara tersebut, beberapa negara lainnya juga memproduksi bioetanol dalam jumlah besar, seperti Uni Eropa (1.460 juta galon), India (1.230 juta galon), Cina (920 juta galon), Kanada (447 juta galon) dan Thailand (370 juta galon) (*Renewable Fuels Association*, 2022). Pemanfaatan tanaman pangan untuk produksi bioetanol dikhawatirkan mengganggu upaya penyediaan bahan pangan dan pakan.

2. Bioetanol Generasi Dua (G2)

Pengembangan teknologi produksi bioetanol G2 merupakan usaha untuk menghilangkan kekhawatiran yang disebutkan di atas. Bioetanol G2 dibuat dari biomassa lignoselulosa yang

merupakan bahan non pangan. Biomassa ini tersusun dari komponen selulosa, hemiselulosa dan lignin. Sumber lignoselulosa dapat berasal dari limbah pertanian (jerami padi, tongkol jagung), limbah perkebunan (tandan kosong kelapa sawit, batang sawit), limbah kehutanan, limbah rumah tangga dan tanaman energi (rumput gajah, bambu). Penggunaan biomassa ini dapat menghindari kompetisi bahan baku bioetanol dengan bahan pangan. Menjadikan proses produksi bioetanol G2 lebih berkelanjutan (*sustainable*). Hanya saja teknologi ini membuka peluang konversi lahan terestrial menjadi perkebunan tanaman energi. Potensi terestrial ini sebenarnya bisa dikembangkan untuk budidaya tanaman pangan dan pakan atau peternakan.

3. Bioetanol Generasi Tiga (G3)

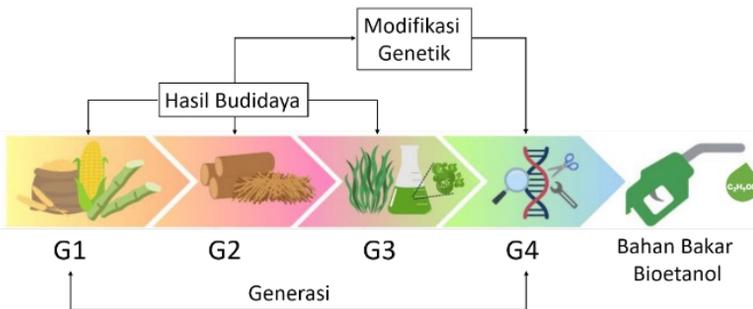
Bioetanol G3 menggunakan bahan baku yang berasal dari sumber daya laut yaitu rumput laut. Rumput laut memiliki kemampuan tumbuh lebih tinggi dibanding tanaman darat dan dapat mengubah energi matahari menjadi energi kimia 3-4 kali lebih tinggi dari biomassa terestrial. Dengan demikian produksi bioetanol tidak mengganggu potensi tanaman terestrial untuk produksi pangan. Jenis komoditas rumput laut

yang dikembangkan adalah mikroalga dan makroalga. Pada umumnya makroalga yang digunakan adalah makroalga merah (*Rhodophyta*), makroalga cokelat (*Phaeophyta*), dan makroalga hijau (*Chlorophyta*). Sedangkan mikroalga yang digunakan antara lain alga biru-hijau (*Cyanobacteria*) dan alga hijau.

4. Bioetanol Generasi Empat (G4)
Pendekatan yang digunakan para ahli untuk menghasilkan bioetanol G4 dapat diklasifikasikan dalam tiga kelompok. Pertama, melakukan modifikasi genetik untuk mengubah jumlah lignin dalam tanaman. Kedua, melakukan modifikasi genetik untuk meningkatkan jumlah penyerapan karbon dioksida oleh tanaman. Ketiga, menggunakan modifikasi genetik bakteri untuk menghasilkan bioetanol. Beberapa contoh modifikasi genetik tanaman untuk menghasilkan bioetanol G4 yang telah dilakukan dapat dilihat

pada Tabel 1 di bawah.

Penelitian yang mendasar dan jangka panjang telah dimulai di negara-negara maju dalam menyediakan bahan baku biomassa yang cepat tumbuh, kadar ligninnya rendah dan selulosanya mudah dihidrolisis (derajat polimerisasi kecil dan kristalinitasnya kecil). Contoh penelitian dasar dalam ranah ini misalnya yang dilakukan *South Dakota State University*. Peneliti di sana mencoba tidak hanya menentukan usia maksimum untuk memanen *perennialgrass* sehingga menghasilkan bioetanol yang optimal, namun juga jumlah maksimum *perennialgrass* yang dapat dipanen agar tidak mengganggu perkembangbiakan burung-burung di sekitarnya yang menggunakan rumput yang sama untuk membuat sarang (PR Newswire, 2019). Dengan demikian klaim bioetanol sebagai bahan bakar ramah lingkungan tidak semata-mata karena emisi karbon yang rendah, tetapi juga dalam pengembangan bahan bakunya memperhatikan kelestarian margasatwa di sekitarnya.



Gambar 1. Generasi Bioetanol Berdasarkan Sumber Bahan Baku

Teknologi Proses Produksi Bioetanol

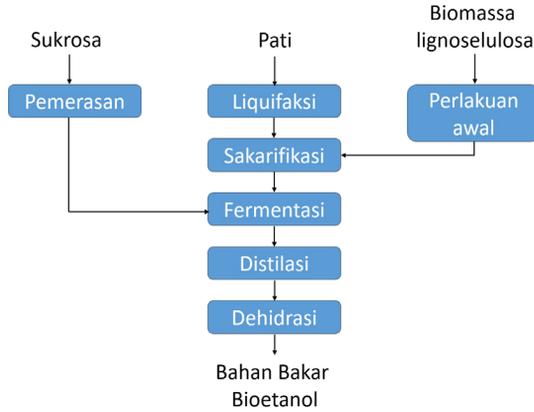
Teknologi konversi biomassa menjadi bioenergi etanol merupakan teknologi yang mempunyai nilai ekonomi tinggi, karena dapat memanfaatkan bahan limbah sebagai bahan bakunya. Bioetanol dapat diproduksi melalui proses biologi dengan cara fermentasi menggunakan bahan baku gula (bioetanol G1) atau dengan menggunakan bahan baku limbah lignoselulosa (bioetanol G2, bioetanol G3, dan bioetanol G4).

Tahapan konversi bahan baku pati menjadi bioetanol G1 terdiri dari empat tahap. Tahap pertama adalah penggilingan. Secara komersial, biji yang mengandung pati diubah menjadi etanol melalui dua metode penggilingan, penggilingan basah (*wet milling*) dan penggilingan kering (*dry milling*). Dalam penggilingan basah, biji direndam dalam air untuk memecah biji menjadi komponen pati, serat dan *germ*. Sedangkan penggilingan kering mengolah biji-bijian secara utuh.

Tahapan selanjutnya adalah *liquefaction* diikuti dengan proses hidrolisis atau sakarifikasi yang bertujuan melepaskan monomer gula (glukosa) ke dalam larutan. Tahap selanjutnya, fermentasi dengan ragi *Saccharomyces cerevisiae* untuk mengubah monomer gula (glukosa) menjadi etanol dan karbon dioksida. Konsentrasi etanol yang layak secara teknis (*technically feasible*) pada akhir fermentasi yaitu kurang lebih 10% (b/v).

Proses pemurnian etanol dilakukan secara dua tahap yaitu distilasi untuk mencapai titik azeotrop etanol 96-97% dan proses dehidrasi untuk mencapai etanol *fuel grade* 99,9%. Pemurnian hingga konsentrasi di atas 99,7% untuk memenuhi spesifikasi bioetanol untuk aplikasi pada bahan bakar sesuai standard Eropa EN 15376 (SIS, 2011).

Teknologi proses produksi bioetanol G2 - G4 pada prinsipnya sama dengan teknologi produksi bioetanol G1 (Gambar 2). Namun pada proses G2 dan G3 perlu dilakukan proses perlakuan awal (*pretreatment*) sebelum proses sakarifikasi. Biomassa lignoselulosa memiliki struktur kristal selulosa yang kuat, selulosa terbungkus oleh lignin bersama hemiselulosa membentuk suatu kompleks dengan ikatan yang kuat sehingga sulit untuk dihidrolisis (Menon, V dan Rao M., 2012). Proses *pretreatment* bertujuan untuk mengurangi atau menghilangkan lignin, mengurangi kristalinitas selulosa, dan meningkatkan porositas bahan (Mosier, N., et al, 2005; Zhu, S., et al, 2008). Setelah *pretreatment*, dihasilkan selulosa dan hemiselulosa yang selanjutnya dilakukan proses sakarifikasi dan fermentasi. Pada proses sakarifikasi-fermentasi bioetanol G2 diperlukan enzim selulase kompleks pada tahap konversi selulosa menjadi gula dalam jumlah besar. Sedangkan pada proses produksi bioetanol G4, dilakukan modifikasi pada bahan baku sehingga efisiensi proses produksi etanol meningkat. Contoh modifikasi tanaman untuk bahan baku pembuatan etanol G4 dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 2. Teknologi Proses dari Produksi Bioetanol

Tahap pemurnian dan dehidrasi pada produksi bioetanol G2 juga memiliki peran sangat penting. Selain sebagai unit operasi untuk memproduksi bioetanol *fuel grade*, proses tersebut juga mengontrol efisiensi penggunaan energi pada saat proses. Tingkat penggunaan energi paling tinggi dari rangkaian proses teknologi produksi bioetanol

adalah pada segmen unit pemurnian dan dehidrasi. Oleh karena itu para peneliti, praktisi, *engineer* diharapkan selalu memberikan inovasi demi efisiensi penggunaan energi pada unit ini. Sebagai contoh, melakukan proses *hybrid* untuk sistem pemurnian dan dehidrasi dengan menggunakan teknologi *hybrid adsorptive*-distilasi.

Tabel 1. Contoh Perkembangan Modifikasi Genetika Tanaman untuk Bahan Baku Pembuatan Etanol

Sumber: Y. Sudiyani, et al, 2019

Tanaman	Tujuan Modifikasi Genetika	Hasil Modifikasi
Tebu (<i>Saccharum sp.</i>)	Peningkatan kandungan gula dalam tebu	Peningkatan total gula 2 kali lebih tinggi.
Rumput Gajah (<i>Panicum virgatum</i>)	Peningkatan etanol yang bisa dihasilkan	Peningkatan etanol hasil 38 % lebih tinggi dari pada rumput perbandingan yang tidak dilakukan modifikasi
Tebu (<i>Saccharum sp.</i>)	Menurunkan kandungan lignin	Penurunan kandungan lignin sampai dengan 8,4% dan peningkatan glukosa sampai dengan 29%
Rumput Gajah (<i>Panicum virgatum</i>)	Menurunkan lignin, dan peningkatan etanol yang bisa dihasilkan	Peningkatan etanol hasil 2,6 kali lebih tinggi
<i>Arabidopsis thaliana</i>	Modifikasi lignin, penurunan derajat polimerisasi lignin	Peningkatan efisiensi proses sakarifikasi (sampai dengan 77 %) tergantung jenis proses pengolahan yang diaplikasikan

Potensi Bioetanol dari Limbah Biomassa Lignoselulosa di Indonesia

Indonesia memiliki potensi limbah lignoselulosa dalam jumlah yang melimpah. Besaran limbah lignoselulosa di Indonesia yang dapat dijadikan sebagai bahan baku untuk produksi bioetanol sangat memadai. Pemanfaatan bahan baku ini mengurangi kekhawatiran akan persaingan penggunaan bahan baku pangan untuk produk energi. Limbah lignoselulosa berasal dari sektor pertanian atau perkebunan yang banyak terdapat di Indonesia, yang dimaksud adalah: 1) jerami padi, 2) sekam, 3) bagas tebu, 4) tongkol jagung, 5) tandan kosong kelapa sawit, dan 6) pelepah kelapa sawit.

Bioetanol yang dihasilkan dari biomassa lignoselulosa bergantung pada kandungan selulosa dan hemiselulosa pada bahan tersebut. Untuk memperoleh rendemen yang tinggi diperlukan kandungan selulosa dan hemiselulosa yang tinggi serta

kandungan lignin rendah (Yanni Sudyani, 2010).

Berdasarkan formula Badger, (Badger, P.C., 2002), satu ton bahan yang mengandung 45% selulosa mampu menghasilkan 151 liter bioetanol sehingga potensi perolehan bioetanol dari limbah lignoselulosa di Indonesia sangat menjanjikan seperti dapat dilihat pada Tabel 2.

Indonesia berpotensi untuk memproduksi etanol G2 sebesar 15,81 juta ton dari limbah biomassa lignoselulosa (Tabel 2). Apabila direalisasikan, jumlah tersebut mampu memenuhi kebutuhan etanol Indonesia berdasarkan kebutuhan energi Nasional 2006-2025, seperti yang tercantum pada *blueprint* dan *roadmap* pengembangan BBN Indonesia, yaitu sebesar 4,99 juta ton pada tahun 2025 (Yanni Sudyani, et al, 2014).

Tabel 2. Komposisi dan Potensi Etanol dari Limbah Lignoselulosa Indonesia

Jenis	Jumlah (juta ton)	Selulosa (%)	Potensi Etanol Selulosa (juta ton)	Hemi-selulosa (%)	Potensi Etanol Hemi-selulosa (juta ton)	Jumlah Etanol Selulosa dan Hemi-selulosa (juta ton)
Jerami padi	15,20	40	2,30	23	1,06	5,37
Sekam	20,01	30	1,33	20	0,68	
Bagas tebu	0,34	50	0,04	23	0,02	0,06
Tongkol jagung	9,34	42	0,24	33	0,15	0,39
TKKS	23,52	42	2,86	30	1,60	9,99
Pelepah sawit	49	25	3,54	14	1,99	
Total Jumlah Perolehan Etanol						15,81

Peran

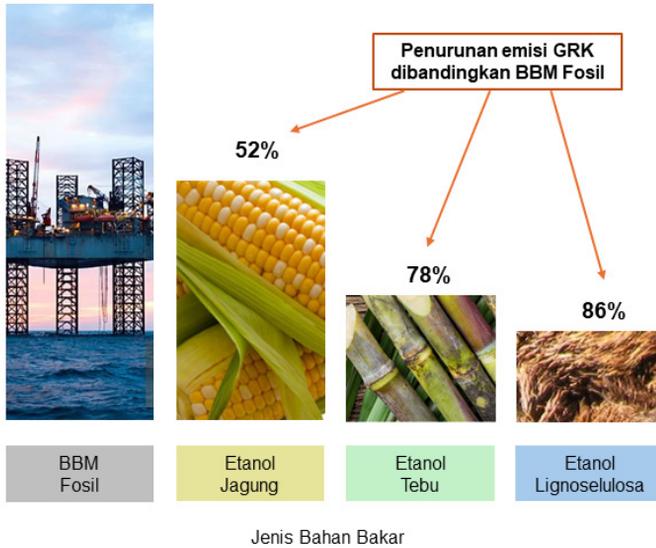
Banyak manfaat yang bisa didapat ketika menggunakan bioetanol sebagai bahan bakar. Utamanya adalah mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi udara sebab pembakaran bioetanol menghasilkan emisi karbon yang lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar fosil. Bioetanol yang berasal dari bahan baku G1 dan G2 menjadi komoditas energi yang strategis dalam transisi energi di tingkat lokal, regional dan global karena beberapa hal antara lain:

1. Mitigasi Gas Rumah Kaca (GRK)

Tingginya biaya impor dan keamanan energi merupakan kekhawatiran utama dalam sektor ketenagalistrikan berbasis bahan bakar fosil. Tren ini direvisi dengan penggunaan bahan bakar nabati (BBN) sebagai pengganti bahan bakar fosil sesuai dengan komitmen berlakunya peraturan reduksi emisi gas rumah kaca yaitu *Clean air act* 1990 di Amerika Serikat, Kyoto Protokol, dan COP21, Paris, serta penghapusan metil tersier butil eter (MTBE) untuk mereformulasi bensin di AS dan beberapa negara lain.

Berdasarkan hasil penelitian Wang dkk (M. Wang, et al, 2007) bioetanol tidak hanya sebagai energi alternatif akan

tetapi sebagai pionir revolusi hijau di dunia bahan bakar. Bioetanol G1 dari jagung hingga tebu dapat menurunkan emisi GRK sebesar 52% hingga 78%, sementara itu penurunan emisi tertinggi terletak pada etanol dari biomassa lignoselulosa (G2), yaitu mencapai 86%. Ini adalah langkah besar menuju masa depan bahan bakar yang bersih dan berkelanjutan. Data dari *Renewable Fuels Association* (RFA) menunjukkan bahwa ketika bensin melepaskan 98,5 g/MJ emisi, etanol dari jagung memberikan solusi yang jauh lebih bersih dengan hanya 53,3 g/MJ emisi (Geoff Cooper, RFA President dan CEO, 2022). Berdasarkan hasil penelitian dari Jhang dkk, emisi yang dihasilkan dari kendaraan yang menggunakan campuran bahan bakar bensin dengan etanol lebih rendah bila dibandingkan dengan pemakaian *gasoline* saja. Emisi CO₂ pada campuran bahan bakar E3, E6, dan E10 adalah 234,8; 237,9; 217,1 g/km, sedangkan untuk *gasoline* sebesar 238,0 g/km (Syu-Ruei Jhang, et al, 2020). Semua ini menjadi bukti konkret bahwa bioetanol bukan sekadar alternatif energi, melainkan jawaban yang solid untuk tantangan lingkungan saat ini.



Gambar 3. Pengurangan Emisi Bahan Bakar Etanol

Sumber: M. Wang, et al, 2007

2. Pajak Karbon

Pajak atas jejak karbon merupakan salah satu pendorong potensial bagi pengembangan *biofuel* secara ekonomis (Lave L.B., 2011; Economics of *Biofuels*, 2018; Huang, H., et al., 2013). Pajak karbon merupakan pendekatan atau alat sederhana untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil dan meningkatkan efisiensi energi (Huang, H., et al., 2013). Konsep pajak karbon memaksa negara-negara untuk menerapkan sistem berbasis *biofuel* atau sistem berbasis emisi rendah karbon atau sistem netral karbon. Hal ini akan mengarah pada lingkungan yang lebih

berkelanjutan dan bersih di masa depan. Pemerintah, perusahaan pembangkit listrik, dan organisasi non pemerintah perlu menerapkan kebijakan penetapan harga karbon secara ketat di seluruh dunia. Banyak negara, seperti Swedia, telah menerapkan pajak karbon, sehingga memberikan manfaat ekonomi dan sosial.

3. Menipisnya Cadangan Bahan Bakar Fosil

Bahan bakar fosil dapat habis, sedangkan *biofuel* dihasilkan dari sumber daya biomassa yang melimpah, bahan limbah berbasis karbon, dan bahan baku terbarukan. Oleh karena itu, produksi dan pemanfaatannya tidak

akan menimbulkan masalah keberlanjutan. Semua jenis biomassa kaya karbon, termasuk limbah pertanian dan kehutanan, dapat digunakan sebagai sumber daya utama energi ini.

4. Dampak pada Sosial Ekonomi Bioetanol sebagai bahan bakar nabati (BBN) telah menjadi komoditas energi strategis karena dapat mensubstitusi bahan bakar minyak (BBM) dalam semua pasar dewasa ini. Penggunaan bioetanol yang berasal dari bahan baku G1 dan G2 untuk menggantikan ketergantungan bahan bakar fosil, selain membantu mengurangi risiko fluktuasi harga minyak bumi di pasar global, dengan adanya bioetanol perekonomian lokal juga meningkat. Produksi bioetanol yang menggunakan bahan baku lokal seperti tebu, singkong, dan jagung, memberikan manfaat ekonomi bagi petani dan industri. Hal ini dapat mendorong pertumbuhan ekonomi di daerah pedesaan dan mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar. Peningkatan kapasitas produksi ini akan berdampak pada pendapatan petani yang meningkat sehingga kesejahteraan petani pun akan meningkat.

Tantangan Penerapan Penggunaan Bioetanol Secara Nasional

Tantangan terbesar yang dihadapi dalam teknologi produksi bioetanol G1 adalah terjadinya kompetisi penggunaan bahan baku antara bahan untuk pangan dan energi. Sedangkan untuk G2, tantangan terbesarnya adalah pada proses *pretreatment* dibutuhkan bahan kimia dan energi yang besar untuk mengurangi lignin sebagai inhibitor. Pada proses sakarifikasi diperlukan enzim selulase kompleks untuk konversi selulosa menjadi gula dalam jumlah besar, sedangkan harga enzim cukup mahal.

Komponen biaya enzim dapat mencapai 53 – 65% dari biaya bahan kimia, dan biaya bahan kimia sekitar 30% dari biaya total. Tersedianya enzim selulase yang lebih murah dan lebih aktif dari *Trichoderma* merupakan tantangan saat ini. Untuk itu penelitian masih berlangsung untuk memperoleh galur mikroba baru (bakteri, khamir atau kapang) yang diubah sifat genetiknya untuk memproduksi enzim-enzim pemecah selulosa menjadi glukosa dengan efektivitas tinggi (Anindyawati, T., 2009). Pada proses fermentasi diperlukan mikroba yang dapat mengkonversi glukosa dan silosa menjadi etanol. Untuk meningkatkan efisiensi

proses secara keseluruhan dan mengurangi biaya produksi, perlu dilakukan integrasi proses misalnya proses kofermentasi (gabungan sakarifikasi dan fermentasi) dan konsolidasi bioproses (*CBP, Consolidated Bioprocessing*)

Tantangan lainnya, limbah dari proses pemisahan lignin dan bahan kimia dalam pengolahan awal jumlahnya besar, tergantung jenis biomassa yang digunakan. Tantangan G3 adalah energi yang diperlukan untuk proses pemanenan atau pemisahan alga dari air masih sangat besar.

Selain tantangan teknologi, implementasi regulasi bioetanol secara nasional juga masih mengalami hambatan yaitu:

- a. Penerapan peraturan Menteri ESDM No.12 tahun 2015 yang menyebutkan bahwa penggunaan bioetanol E5 diwajibkan pada tahun 2020 dan meningkat ke E20 pada tahun 2025. Sedangkan sampai dengan tahun 2023 penerapan E5 belum terealisasi secara nasional (Market insight, 2019).
- b. Peraturan cukai yang memberatkan produsen etanol bahan bakar yaitu peraturan PerMen Keu RI No. 89/PMK.04/2006. Sehingga harga etanol

terlalu mahal jika dikomersialisasikan sebagai bahan bakar (Menteri Keuangan, 2018).

Untuk mewujudkan industri yang memanfaatkan bahan baku biomassa serta menetapkan kebijakan agar harga etanol dapat bersaing dengan harga bahan bakar minyak, perlu dilakukan kerja sama yang terpadu antara institusi penelitian, industri, petani dan kementerian terkait yang selama ini berjalan sendiri-sendiri.

Masih banyak kekurangan dari semua upaya penyempurnaan teknologi yang sudah dilakukan dan masih ada tantangan yang masih belum berhasil diatasi. Penelitian bioetanol bahan bakar masih stagnan karena kebijakan. Perkembangan kondisi global seperti musibah pandemi dengan serta merta mengubah prioritas negara negara di dunia dalam penggunaan anggaran terutama untuk penelitian. Namun menilik peran bioetanol dalam memperbaiki keadaan ekonomi, sosial dan lingkungan Indonesia, semua usaha untuk mengatasi tantangan teknis maupun non teknis dalam pengembangan bioetanol masih pantas untuk diperjuangkan.

Referensi

1. https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf
2. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2022/06/17/3182/indonesia.dorong.pemanfaatan.biofuel.demi.capai.transisi.energi.yang.adil.dan.merata>
3. Y. Sudiyani, E. Triwahyuni, D. Burhani, M. Muryanto, S. Aiman, F. Amriani, S.P. Simanungkalit, H. Abimanyu, D. Dahnum, J.A. Laksmono, J. Waluyo, Y. Irawan, A.A. Sari, and A.M.H. Puteri. *Perkembangan Bioetanol G2: Teknologi Dan Perspektif* (2019).
4. Renewable Fuels Association: Annual Ethanol Production. <https://ethanolrfa.org/markets-and-statistics/annual-ethanol-production> (accessed on February 22, 2024).
5. PR Newswire 29 April 2014, "Ceres Introduces the First Seed Brand for Bioenergy Crops" (untuk perennial grass south Dakota univ)
6. SIS. 2011. Automotive fuels - Ethanol as a blending component for petrol - Requirements and test methods. Swedish Standards Institute, Stockholm.
7. Menon, V and Rao M. 2012 Review: "Trends in bioconversion of lignocellulose; *biofuels*, platform chemicals & biorefinery concept". *Progress in Energy and Combustion Science*; 38 : 522-550.
8. Mosier, N., Wyman, C., Dale, B., Elander, R., Lee, Y.Y., Holtzaple, M., Ladisch, M. 2005 "Features of promising technologies for *pretreatment* of lignocellulosic biomass". *Bioresource Technology*; 96 : 673-686.
9. 54. Zhu, S., Wu, Y., Yu, Z., Chen, Q., Wu, G., Yu, F., Wang, C. and Jin, S. 2008. "Microwave-assisted alkali *pretreatment* of wheat straw and its enzymatic hydrolysis". *Process Biochemistry*, 94(3) : 437-442.
10. Yanni Sudiyani, Syarifah Alawiyah, Kiky C. Sembiring., H. Alamsyah. 2010. "Alkali *Pretreatment* and Enzymatic Saccharification of Oil Palm Empty Fruit Bunch Fiber for Production of Ethanol". *J.Menara Perkebunan* 78 (1) : 45-51

Referensi

11. 6 Badger, P.C. 2002. 'Etanol from Cellulose". A general review. P. 17-21. In J. Janick and Whipkey (eds), Trends in new crops and new uses. ASHS Press.
12. Yanni Sudiyani, Kiky C. Sembiring Vera Barlianti, Indri Badria and Muryanto. 2014. "The Opportunity of Bioetanol Production from Lignocellulosic Agricultural Waste in Indonesia". A book chapter in A Renewable Source of Energy. Bioenergy of the Series "Energy Science & Technology" Vol. 7 (12 Vol).
13. M. Wang, M. Wu and HongHuo. 2007. Life-cycle energy and greenhouse gas emission impacts of different corn ethanol plant types. Environ. Res. Lett. 2 (2007) 024001 (13pp). DOI 10.1088/1748-9326/2/2/024001
14. <https://ethanolrfa.org/media-and-news/category/blog/article/2022/10/the-truth-about-ethanol-and-carbon-emissions>
15. Syu-Ruei Jhang, Yuan-Chung Lin, Kang-Shin Chen, Sheng-Lun Lin, Stuart Batterman. 2020. Evaluation of fuel consumption, pollutant emissions and well-to wheel GHGs assessment from a vehicle operation fueled with bioetanol, gasoline and hydrogen. Energy 209 (2020) 118436
16. Lave L.B., 2011. Renewable fuel standar : Potential economic and Environmental Effets of US. *Biofuel* Policy National Academic Press. Available from <https://www.nap.edu/resource/13105/Renewable-Fuel-standar>
17. Economics of *Biofuels*, 2018. United State foe Socio -Economic Enviromental Protection Agency (<https://www.epa.gov/environmental-economic/economic-biofuels>)
18. Huang, H.,et al.,2013. Stacking low carbon policies on the renewable fuel standard: economic and greenhouse gas implementation. Energy policy 56, 5-15
19. Anindyawati, T. 2009. "Prospek Enzim dan Limbah Lignose-lulosa untuk Produksi Bioetanol". J. B.Selulosa; 44 (1) : 49-56.
20. <https://www.pertamina.com/id/news-room/market-insight/ethanol-dilemma>
21. <https://jdih.kemenkeu.go.id/fullText/2018/158~PM-K.010~2018Per.pdf>

Linen Tetap Awet dan Higienis, Pelanggan Puas, Laundry Laris Manis



TEKNOLOGI DAN BAHAN BAKU *BIOFUEL* BERKELANJUTAN

Mochamad Yusuf Efendi, Aulia Rahmi, Haqqyana, Klanita Sabira,
Tiara Febriani, Vifki Leondo, Yuswan Muharram, Misri Gozan

Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia

Email: mgozan@ui.ac.id

Abstrak

Sebagai salah satu negara yang kaya akan keanekaragaman hayati, Indonesia menyimpan potensi besar untuk produksi bioetanol generasi kedua dari berbagai biomassa, termasuk sumber pati dan lignoselulosa. Ampas tebu merupakan limbah serat tebu yang tersisa setelah ekstraksi nira. Bioetanol yang dihasilkan dari ampas tebu mempunyai potensi pasar yang menjanjikan sebagai bahan bakar otomotif. Sebaliknya, residu dari produksi bioetanol generasi ke-2 dapat digunakan untuk produksi biogas menggunakan proses *anaerobic digestion*. Kombinasi antara bioetanol dan biogas dianggap sebagai strategi yang tepat dalam meningkatkan daya saing pabrik fermentasi. Oleh karena itu, studi ini bertujuan untuk meninjau integrasi proses produksi bioetanol dan biogas, serta mengusulkan *biorefinery* terbaik yang terintegrasi. Produksi etanol dari tebu melibatkan proses *pretreatment* dengan basa, hidrolisis enzimatis, fermentasi, pemisahan dan pemurnian. Pabrik yang diusulkan akan memproduksi biometana sebagai produk sampingan dengan menggunakan lignin dan limbah lainnya dari proses *pretreatment*. Produksi metana akan menggunakan reaktor anaerobik dan produknya akan digunakan untuk penggunaan energi di dalam pabrik dan kelebihanannya akan dijual. Ketersediaan tanaman tebu cukup melimpah di Indonesia, sehingga konsep pabrik tebu terintegrasi dengan pabrik bioetanol dan metana memiliki prospek yang bagus secara ekonomi. Oleh karena itu, pabrik ini cukup layak untuk dikembangkan.

Pendahuluan

Pada tahun 2006, Indonesia mulai mengembangkan industri *biofuel*. Sejak saat itu, berbagai inisiatif dan upaya untuk mendorong pengembangan industri *biofuel*

semakin meningkat. Pemerintah melalui Keputusan Presiden Nomor 5 tahun 2006 tentang Kebijakan Energi dan Instruksi Presiden Nomor 1 Tahun 2006

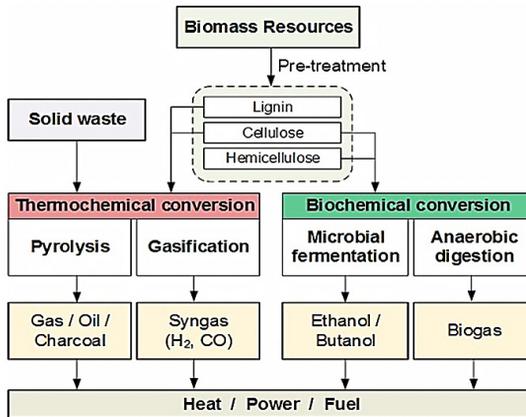
tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati, menargetkan bahan bakar nabati (*biofuel*) mengambil porsi lebih dari 5% dari total konsumsi energi nasional pada tahun 2025.

Setelah delapan belas tahun inisiasi tersebut diterbitkan, perkembangan penerapan *biofuel* telah mencapai campuran 30% biodiesel pada bahan bakar minyak minyak (BBM) jenis solar (B30). Sementara itu, pengembangan *biofuel* jenis bioetanol masih terbilang lambat dan menemui sejumlah tantangan. Menurut data Kementerian ESDM, produksi bioetanol hanya mencapai 40.000 KL pertahun. Kemampuan tersebut masih jauh dari kebutuhan nasional sebesar 696.000 KL. Implementasi bioetanol dengan BBM jenis bensin sebenarnya telah diuji coba dengan kandungan 2% (E2) pada tahun 2023. Namun, penerapan E2 pun juga masih jauh dari harapan karena beberapa permasalahan seperti keterbatasan bahan baku dengan daya hasil tinggi, tingginya harga bioetanol, serta kurangnya kemampuan teknologi nasional dalam pengolahan bioetanol. Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan percepatan dalam pengembangan pabrik produksi bioetanol.

Sebagai salah satu negara yang kaya akan keanekaragaman hayati, Indonesia menyimpan potensi

besar untuk produksi bioetanol generasi kedua dari berbagai biomassa, termasuk sumber pati dan lignoselulosa. Pemilihan bahan baku biomassa yang tepat sangat penting dilakukan untuk produksi bioetanol, dengan memastikan bahwa bahan baku tersebut mengandung polisakarida dan tidak bersaing dengan sumber pangan. Dalam konteks ini, penggunaan limbah pertanian sebagai bahan baku produksi bioetanol bisa menjadi pilihan yang menjanjikan. Indonesia sebagai salah satu produsen tebu terbesar ke-9 di dunia, memiliki luas lahan tebu nasional mencapai sekitar 449.008 hektar dan diperkirakan bahwa sebanyak 9 juta ton ampas tebu dapat diproduksi setiap tahunnya (Badan Pusat Statistik, 2021).

Ampas tebu merupakan limbah serat tebu yang tersisa setelah ekstraksi nira. Ampas tebu tidak banyak digunakan, saat ini digunakan sebagai bahan baku produksi kertas dan sebagai pakan ternak. Biasanya ampas tebu juga dibakar untuk menghasilkan uap untuk pembangkit listrik pabrik gula. Ampas tebu utamanya mengandung selulosa dan hemiselulosa, menjadikannya sebagai bahan baku yang menarik untuk produksi bioetanol generasi ke-2. Skema proses konversi limbah biomassa menjadi bioetanol disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Konversi Limbah Biomassa Menjadi Bioetanol

Bioetanol yang dihasilkan dari ampas tebu mempunyai potensi pasar yang menjanjikan sebagai bahan bakar otomotif. Sebaliknya, residu dari produksi bioetanol generasi ke-2 dapat digunakan untuk produksi biogas menggunakan proses *anaerobic digestion*. Meskipun biogas tidak dapat digunakan langsung sebagai bahan bakar untuk kendaraan, namun potensinya dalam menghasilkan panas dan listrik sangatlah besar. Proses purifikasi yang sederhana setelah produksi memungkinkan biogas untuk dengan mudah dimanfaatkan (Devi et al., 2023).

Kombinasi antara bioetanol dan biogas dianggap sebagai strategi yang tepat dalam meningkatkan daya saing pabrik fermentasi. Dengan menerapkan konsep kilang bio, dimana etanol dan biogas diproduksi secara bersamaan, pabrik dapat memanfaatkan

perbedaan komponen dan bahan antara berbagai jenis biomassa. Hal ini memungkinkan pabrik untuk memaksimalkan nilai yang dihasilkan dari bahan baku biomassa atau residu industri bio.

Studi ini bertujuan untuk meninjau integrasi proses produksi bioetanol dan biogas, serta mengusulkan *biorefinery* terbaik yang terintegrasi. Kedua teknik tersebut sepenuhnya akan dibahas secara menyeluruh untuk mengungkap pengaruhnya terhadap proses produksi. Melalui studi ini, akan ditentukan kekuatan dan kelemahan dari strategi terpadu ini untuk aplikasi industri.

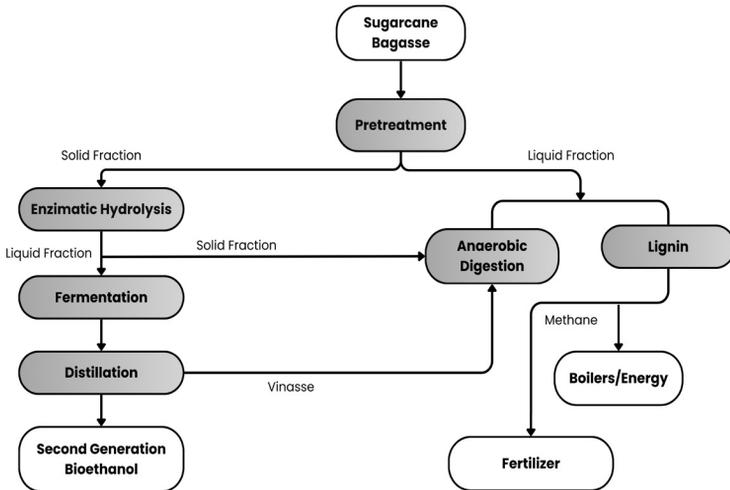
Hasil dan Pembahasan

a. Proses sintesis

Gambar 2 akan menjadi dasar dari proses pabrik ini. Langkah-langkah dalam memproduksi etanol adalah *pretreatment* ampas tebu, hidrolisis enzim, fermentasi, dan distilasi

(Harahap et al., 2020). Untuk produksi metana, cairan dari Pra perlakuan difermentasi dengan *vinasse* dari distilasi etanol. Pra perlakuan yang

dipilih pada penelitian ini adalah penggilingan yang dikombinasikan dengan *pretreatment* basa dengan kalsium hidroksida.



Gambar 2. Produksi Biogas dan Bioetanol Terintegrasi

Selanjutnya, metode hidrolisis enzimatis dipilih karena mempunyai keuntungan dalam menghasilkan *yield* dibandingkan hidrolisis asam (Padil et al., 2023). Bahan yang dimasukkan pada proses hidrolisis enzimatis adalah ampas tebu dari pra perlakuan, air, dan enzim selulosa. Kondisi operasional yang digunakan untuk enzim selulosa adalah sama dengan hidrolisis enzimatis pada penelitian (Arlofa et al., 2019). Mikroorganisme yang paling umum digunakan dalam proses fermentasi adalah ragi (Darmawan et al., 2019). Pada

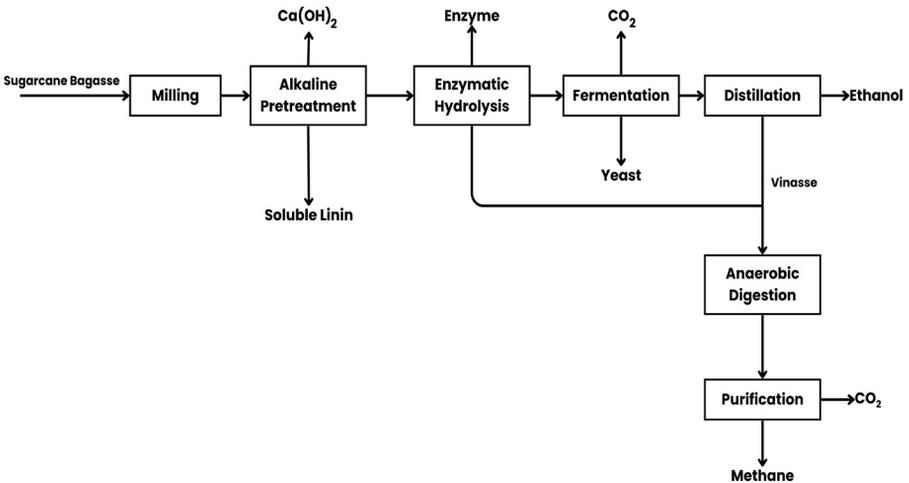
penelitian ini, *Saccharomyces cerevisiae* dipilih untuk fermentasi etanol. Ragi ini dapat tumbuh dengan baik pada gula sederhana seperti glukosa, maupun pada sukrosa disakarida (Arlofa et al., 2019). *S. cerevisiae* memiliki ketahanan yang tinggi terhadap etanol, mampu mengonsumsi sejumlah besar substrat dalam kondisi yang tidak ideal, serta menunjukkan resistensi yang tinggi terhadap inhibitor yang ada dalam medium. Namun, *S. cerevisiae* masih tidak mampu memfermentasi gula pentosa seperti xilosa dan arabinosa yang berasal dari bahan baku

lignoselulosa generasi kedua. Oleh karena itu bakteri ini harus dimodifikasi. Adapun proses fermentasi yang dipilih kali ini adalah *Separate Hydrolysis Fermentation* (SHF) dengan ragi *S. cerevisiae* yang dimodifikasi genetik. Komposisi asli biogas mentah mengandung sejumlah tertentu kotoran (Wuri, 2019). Pengotor gas, seperti air, debu, H_2S , CO_2 , siloksan, Hidrokarbon, NH_3 , oksigen dan beberapa unsur lainnya, harus dihilangkan secara berurutan untuk mencapai standar kualitas tertentu. Oleh karena itu,

penyerapan kimia dan *amine scrubbing* dipilih sebagai metode pemurnian metana, karena lebih banyak keunggulannya dibanding *pressure swing adsorpsi* (PSA) (Kusrini et al., 2019).

b. **Deskripsi proses**

Tahapan proses produksi metana meliputi proses penggilingan, Pra perlakuan alkalin, hidrolisis enzim, fermentasi, distilasi, *anaerobic digestion*, dan *adsorption* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Block Flow Diagram Produksi Methane

- Detail dari masing-masing proses tersebut akan diuraikan sebagai berikut:
- Penggilingan: Proses penggilingan bertujuan untuk memecah struktur bahan lignoselulosa dan menurunkan kristalinitas selulosa dengan cara

mengecilkkan ukuran partikel hingga ukuran 0.2-2.0 mm.

- Pra perlakuan Alkali: Pra perlakuan alkali bertujuan untuk meningkatkan daya cerna selulosa, sehingga menjadi lebih mudah diakses oleh enzim

selulolitik. Pada penelitian ini kalsium hidroksida ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) digunakan sebagai bahan Pra perlakuan.

- Hidrolisis enzimatik: Proses hidrolisis enzimatik bertujuan untuk mengubah selulosa menjadi gula fermentasi. Enzim selulase berperan sebagai katalis dalam proses ini. Kondisi operasi yang digunakan pada proses hidrolisis enzimatik adalah pH 5, dengan suhu proses 30-37 °C, dan diaduk pada kecepatan 100 rpm. Proses hidrolisis enzim dilakukan di sebuah *Continous Stirred Tank Reactor* (CSTR) selama 10 jam.
- Fermentasi: Fermentasi adalah proses biologis di mana gula diubah oleh mikroorganisme menjadi etanol dan CO_2 . *Saccharomyces cerevisiae* adalah ragi yang digunakan dalam fermentasi etanol. Untuk setiap kilogram glukosa yang difermentasi, dapat menghasilkan sekitar 470 g etanol, atau mewakili hasil 92% dari maksimum teoretis. Pada penelitian ini proses fermentasi dilakukan pada kondisi suhu optimum ragi yaitu 37 °C pada pH 4.5 (Arlofa et al., 2019). Adapun input bahan yang digunakan meliputi glukosa, ragi, dan air. Sedangkan, aliran keluarannya adalah etanol dan air.
- Distilasi: Distilasi digunakan untuk memisahkan etanol dari campuran fermentasi. Proses ini memisahkan etanol dari air dengan memanfaatkan perbedaan titik didih keduanya. Dua kolom distilasi digunakan pada proses distilasi. Pada kolom pertama, kondisi operasi diatur pada tekanan 170 kPa. Untuk meningkatkan efisiensi kinerja, kondensor kolom pertama diintegrasikan dengan kolom kedua *reboiler*. Aliran output dari kolom distilasi pertama diharapkan sebesar $\pm 60\%$ etanol. Selanjutnya, etanol akan masuk ke kolom distilasi kedua hingga kolom rekrifikasi mencapai suhu 78 °C hingga menghasilkan keluaran etanol dengan kemurnian $\pm 94\%$.
- *Anaerobic digestion*: Setelah melalui proses distilasi, keluaran produk selanjutnya dialirkan menuju dua aliran berbeda, satu aliran untuk proses fermentasi bioetanol, sementara satu lainnya akan diproses

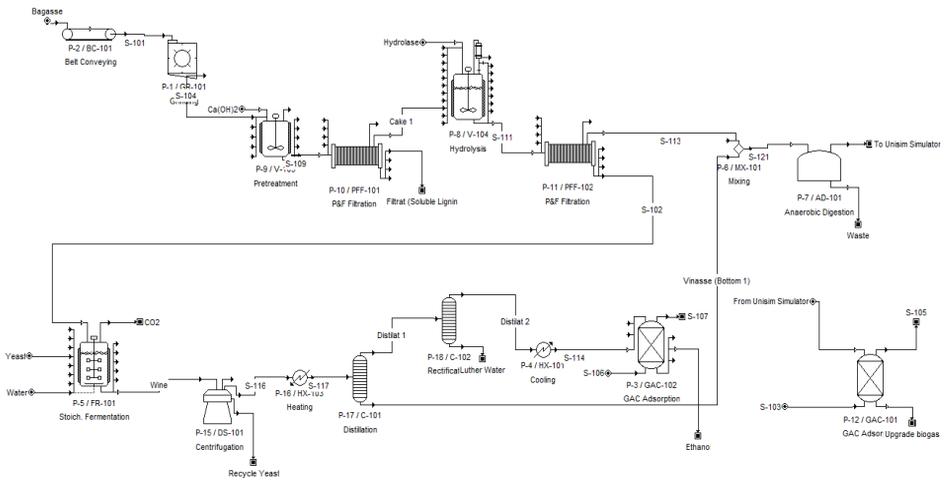
untuk produksi metana. Produksi metana dilakukan secara *anaerob digestion*, dengan melibatkan mikroorganisme untuk mengubah bahan organik menjadi metana dan CO_2 . Tahapannya meliputi *hidrolisis*, *asidogenesis*, *acetogenesis*, dan *metanogenesis*. Suhu yang digunakan pada proses ini adalah kondisi mesofilik yaitu 20-45°C selama 15-20 hari. Selama asidogenesis pH adalah di bawah 6,4, dan selama metanogenesis, kisaran pH optimal adalah antara 6,6 dan 7.

- **Adsorption:** Proses adsorpsi digunakan untuk memurnikan gas metana dengan menghilangkan CO_2 dan H_2S . Metode yang digunakan adalah *scrubbing* kimia dengan amina. Awalnya, biogas mentah masuk ke dalam *absorption* kolom melalui larutan amina untuk menghilangkan H_2S dan CO_2 . Kemudian biogas dialirkan melewati *water wash scrubber*, dimana bekas amina dihilangkan dan untuk amina jenuh akan dialirkan melalui kolom *desorption* untuk diregenerasi.

c. Simulasi Proses

Setelah kondisi ditentukan, berikutnya dilakukan proses simulasi keseluruhan proses pabrik menggunakan *software* Super Pro Designer v9.0 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Dengan menggunakan *software* ini, kondisi pengoperasian yang telah ditentukan dapat diterapkan ke peralatan melalui pengaturan sistem. Simulasi pabrik etanol dan metana diatur secara kontinyu, yang berarti bahwa pabrik dianggap beroperasi selama 24 jam sehari dan 7 hari seminggu. Untuk memenuhi kondisi operasi tersebut, sebanyak 26.000 kg ampas tebu diproses setiap hari.

Produksi metana dilakukan dengan menggunakan fraksi cair dari Pra perlakuan, fraksi padat dari hidrolisis, dan *vinasse* dari distilasi. Semua bahan tersebut diproses secara anaerobik *digestion* dan diubah menjadi metana. Namun, produk dari proses ini masih mengandung H_2S dan CO_2 . Oleh karena itu, perlu dilakukan purifikasi agar mendapatkan konsentrasi metana yang lebih tinggi. Pada simulasi ini, dapat diketahui bahwa dengan masukan sebanyak 26.000 kg ampas tebu per jam, pabrik mampu memproduksi etanol yang sebesar 6745,6 kg/jam dan metana sebesar 2073,5 kg/jam.



Gambar 4. Simulasi Proses

Aspek ekonomi

Dalam penelitian ini, pertimbangan ekonomi dan teknis menjadi sangat penting karena akan diandalkan pada saat pelaksanaan kegiatan usaha. Pendapatan proyek ini diperoleh dari penjualan etanol, lignin, dan biometana. Total investasi pabrik ini adalah sebesar USD 12.200.000 dengan perkiraan total pendapatan per tahun adalah sekitar USD 41.459.000. Berdasarkan perhitungan, pabrik bioetanol dan metana ini dapat memperoleh IRR sebesar 27,8 %. Jika dibandingkan MARR, diperoleh IRR (27,8 %) lebih besar dari MARR (16%), selisihnya cukup tinggi yaitu sebesar 11,8%. Apabila IRR lebih besar dari MARR, ini berarti bahwa pilihan untuk berinvestasi di pabrik lebih menguntungkan daripada investasi di bank. *Net Present Value* (NPV) menunjukkan manfaat

bersih yang diterima suatu proyek dengan tingkat bunga tertentu. Untuk mendapatkan NPV, seluruh nilai ATCF (*After Tax Cashflow*) dihitung menjadi nilai sekarang, dengan MARR 16%. sehingga, diperoleh *Net Present Value* (NPV) adalah sebesar USD 42.572.000. Kita dapat menyimpulkan bahwa NPV pabrik kita positif dan dapat dilaksanakan.

Payback period adalah jangka waktu yang diperlukan untuk pengembalian suatu investasi, sementara itu *return of investment* (ROI) adalah laba dihasilkan oleh satu unit modal yang diinvestasikan. Dari hasil perhitungan, *payback period* dan ROI untuk pabrik ini berturut-turut adalah 5,62 tahun dan 22,5%. Biaya operasi dan evaluasi ekonomi pabrik ini masing-masing ditampilkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Total Biaya Operasi

Cost Item	Value (USD)
Bahan Baku	6.893.600
Biaya langsung dan tak langsung	72.850
Utilitas	1.017.218
Pemeliharaan	2.273.000
Asuransi	746.900
Pemasaran	8.200
LitBang	545.233
Biaya <i>Overhead</i>	504.600
Total	12.061.601

Tabel 2. Evaluasi Ekonomi

Parameter	Unit	Value
Investasi Modal Total	USD	12.200.000
Biaya Operasi	USD	7.910.800
Pendapatan	USD/year	24.896.460
<i>Return of Investment</i>	%	22,5
<i>Payback Time</i>	years	5,62
IRR (<i>After Taxes</i>)	%	28,0
<i>Net Present Value (NPV)</i>	USD	42.572.000

Penutup

Proses produksi etanol dari tebu melibatkan tahapan *pretreatment* dengan bahan alkali, hidrolisis enzimatis, fermentasi, pemisahan, dan penyucian. Pabrik yang diusulkan dapat menghasilkan *biomethane* sebagai produk sampingan dari limbah proses *pretreatment*. Produksi metana akan menggunakan *anaerobik digester*, dengan produknya digunakan untuk energi di dalam pabrik dan kelebihanannya dijual. Target kemurnian etanol dan metana dari pabrik masing-masing adalah 99% dan gas 96%. Pabrik ini dapat mengolah limbah biomassa sebanyak 26 ton/jam, dengan kapasitas produksi 65 ribu kilo liter

dan 0,007 MMSCFD gas metana per tahun. Berdasarkan analisis ekonomi, pabrik etanol dan biogas terintegrasi cukup layak. Investasi modal awal pabrik ini adalah USD 12.200.000. Berdasarkan perhitungan pabrik ini memiliki IRR 35,58% dan dengan ROI sebesar 22,5%. Nilai IRR ini lebih besar dari MARR yaitu 16%. NPV pabrik ini adalah USD 42.572.000 dan periode pengembalian modal pabrik ini adalah 5,6 tahun. Pabrik tebu yang terintegrasi dengan pabrik etanol, dan metana, akan memberikan keuntungan secara ekonomi. Hal ini karena potensi biomassa khususnya tanaman tebu sangat banyak di Indonesia dan kebutuhan etanol juga tinggi.

Referensi

- Arlofa, N., Gozan, M., Pradita, T., & Jufri, M. (2019). Optimization of bioetanol production from durian skin by encapsulation of *saccharomyces cerevisiae*. *Asian Journal of Chemistry*, 31(5), 1027–1033.
- Badan Pusat Statistik. (2021). statistik tebu indonesia 2021.
- Darmawan, M. A., Hermawan, Y. A., Samsuri, M., & Gozan, M. (2019). Conversion of paper waste to bioetanol using selected enzyme combination (cellulase and cellobiase) through simultaneous saccharification and fermentation. *AIP Conference Proceedings*, 2085.
- Devi, M. K., Manikandan, S., Kumar, P. S., Yaashikaa, P. R., Oviyapriya, M., & Rangasamy, G. (2023). A comprehensive review on current trends and development of biomethane production from food waste: Circular economy and techno economic analysis. *Fuel*, 351.
- Harahap, A. F. P., Panjaitan, J. R. H., Curie, C. A., Ramadhan, M. Y. A., Srinophakun, P., & Gozan, M. (2020). Techno-economic evaluation of hand sanitiser production using oil palm empty fruit bunch-based bioetanol by simultaneous saccharification and fermentation (SSF) process. *Applied Sciences (Switzerland)*, 10(17).
- Instruksi Presiden Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2006 Tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Bahan Bakar Nabati (Biofuel) sebagai Bahan Bakar Lain
- Kusrini, E., Wu, S., Susanto, B. H., Lukita, M., Gozan, M., Hans, M. D., Rahman, A., Degirmenci, V., & Usman, A. (2019). Simultaneous absorption and adsorption processes for biogas purification using $\text{Ca}(\text{OH})_2$ solution and activated clinoptilolite zeolite/chitosan composites. *International Journal of Technology*, 10(6), 1243–1250.
- Padil, N., Putra, M. D., Hidayat, M., Kasiamdari, R. S., Mutamima, A., Iwamoto, K., Darmawan, M. A., & Gozan, M. (2023). Mechanism and kinetic model of microalgal enzymatic hydrolysis for prospective bioetanol conversion. *RSC Advances*, 13(31), 21403–21413.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia No 5 Tahun 2006 Tentang Kebijakan Energi Nasional

Semua Jadi Istimewa Pakai MyPERTAMINA



DOWNLOAD MyPertamina SEKARANG



TRANSFORMATIVE SHIFTS IN BIOFUELS: DRIVING NET-ZERO GOALS AND SUSTAINABLE GROWTH

Sushant Gupta
Wood Mackenzie

Email: sushant.gupta@woodmac.com

Abstract

Biofuels take a centre place in any industry discussion to tackle climate change. Biofuels can play a key role in helping countries to meet their net-zero targets, helping large energy consuming countries to reduce their reliance on fossil fuels, and at the same time helping to provide local employment opportunities. For biofuels to realise this ambition without competing with food crops, we must see a transformational shift in the way the current biofuels industry operates. The way consumers, businesses, and industries practice waste management, will be a key area of transformation because waste feedstocks will drive the future growth in biofuels. Policy and regulatory support from governments is needed to provide the initial impetus to develop the industry. But eventually, technology advancement to produce biofuels from waste feedstocks at competitive cost will take the industry forward without policy support.

Keywords: Biofuels, Energy Security, Carbon Emission, Circular Economy, Climate Change

Introduction

The biofuels industry has grown significantly over the past decade. Global biofuels supply stood at about 3 million b/d in 2023. However, it is still a small fraction, about 3% of global oil demand. Biofuels have lower life-cycle emissions compared to fossil fuels, provide energy security for large energy consuming countries, and provide a means to promote regional agriculture development. The biggest challenge, for biofuel growth

so far has been that almost all biofuels supply today comes from feedstocks such as sugar crops, starch crops and oilseed crops which compete with the food sector. These feedstocks are also seen in negative light for causing accelerated deforestation and for emissions related to direct and indirect land use change. Recent developments in biofuels legislation and investment are hence focussed on more

sustainable biofuels which are produced from feedstocks such as waste oils and fats, as well as other residues and by-products. Biofuels produced from waste feedstocks typically have very low life-cycle emissions compared to fossil fuels. These feedstocks also avoid additional demand for land, remove the concerns of food security and establish a circular economy.

However, limited supply of certain waste and residue feedstocks is a major growth challenge. The other challenge is the need for the development and cost-reduction in advanced fuel conversion technologies to utilise more challenging residual biomass feedstocks in a commercially viable business model.

Biofuels also remain more expensive than fossil fuels – vegetable oils are more costly than crude oil. Limitations in supply of appropriate waste feedstocks and supply chain costs keep feedstock prices high. Therefore, favourable government policies and subsidies are necessary to grow biofuels market share, particularly in Asia.

Global Biofuels Development: Western Economies Lead, But Asia Lags Behind

Supported by strong policies, biofuels will continue to see high growth in the US, Europe and Brazil. There is a significant support for

advanced biofuels which will drive the next phase of growth in these markets.

Europe

Biofuel's growth in Europe over the next decade will mainly be driven by the latest version of the Renewable Energy Directive (RED). RED III requires a 29% renewable energy share in transport or 14.5% greenhouse gas (GHG) intensity reduction by 2030. The combined energy share in transport of advanced biofuels and renewable fuels of non-biological origin (RFNBO) should be at least 1% in 2025 and 5.5% in 2030, of which at least 1% is RFNBO in 2030.

ReFuelEU Aviation and FuelEU Maritime were also recently adopted, requiring aviation fuel suppliers to blend a minimum share of SAF (2% in 2025 to 70% in 2050) and reduce the GHG intensity of shipping fuels (2% in 2025 and up to 80% by 2050).

Due to concerns around land-use change risks, crop-based biofuels will be capped at 1% above 2020 shares in road and rail transport in each EU member state and a maximum of 7% of total energy consumption for road and rail transport. Palm oil use in biofuel is capped at current levels and must be phased out by 2030.

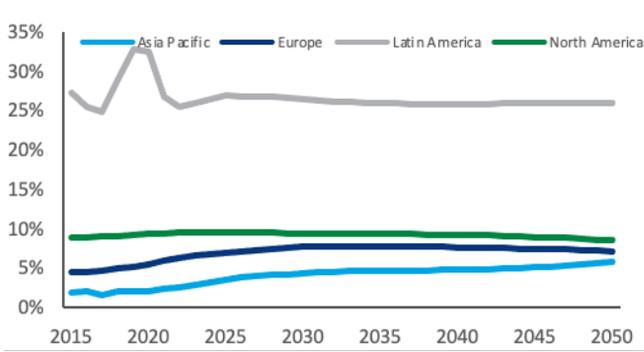


Figure 1. Ethanol Demand Share of Regional Gasoline Demand, %vol

Source: Wood Mackenzie’s Liquid Renewable Fuels Service

US

Demand for biofuels in the US is driven by a portfolio of policies supporting biofuels both at the federal and state levels. At federal level the US Renewable Fuel Standard (RFS) requires transportation fuels to contain an increasing volume and percentage share of renewable fuels. Oil refiners and importers are required to blend or supply their share of a renewable volume obligation (RVO), the compliance cost of which is measured through Renewable Identification Number (RIN) credit requirements.

Individual US states have their own incentives and regulations related to biofuels. The most ambitious legislation is California’s Low Carbon Fuel Standard (LCFS) programme. Unlike the RFS, the LCFS doesn’t have a specific target for biofuels volumes but has reducing carbon intensity targets for road transport fuels. It mandates a 20% reduction in the carbon intensity of road

transport fuels in the state by 2030. Recent proposals have been made to accelerate the 2030 carbon intensity reduction target to 30% by 2030.

To compliment LCFS, the Cap-and-Trade Program is a key element of California’s strategy to reduce greenhouse gas emissions. Each year total amount of permissible emissions (called the “cap”) is reduced. Industry players are then required to acquire allowances by trading with other entities (called the “trade”). As a result of the reducing allowable emissions, the program creates a rising carbon price signal to encourage action to reduce GHG emissions. Biofuels with lower carbon emissions compared to fossil fuels will get an increasing cost advantage under the rising carbon price environment.

In addition to the above regulations, the US biodiesel tax credit (BTC) gives producers and blenders a US\$1 income tax credit per gallon of biomass-based diesel (both renewable diesel and conventional

biodiesel) blended into the diesel pool. From 2024 the new Clean Fuel Production Credit (CFPC) will be provided to fuels with greater than 50% emissions savings.

Road fuels are subject to the above regulations therefore biofuels prices are calculated as the sum of the value of fossil fuels plus RINs, LCFS cost, cap-and-trade, BTC and CFPC.

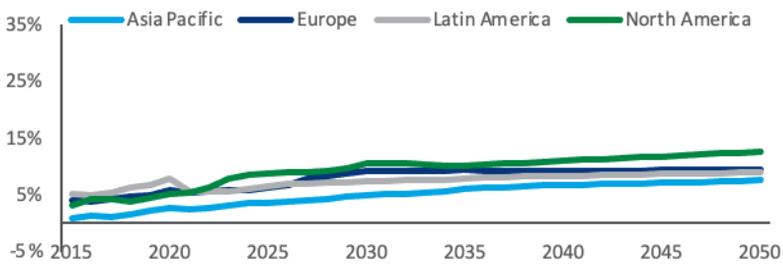


Figure 2. FAME and HVO Demand Share of Regional Road Diesel Demand, %vol

Source: Wood Mackenzie's Liquid Renewable Fuels Service

Brazil

In addition to its successful ethanol blending program, Brazil has proposed a 'Fuel of the Future' programme aimed at boosting the use of sustainable fuels and decarbonising the transport sector. The program, which needs approval from Congress to become law includes – a national SAF program (ProBioQAV) with an emission reduction target for airlines of 1% in 2027 and 10% in 2037, a national green diesel program (PNDV) including a minimum blend mandate, up to a maximum of 3% and maximum anhydrous ethanol content going up to 30%.

Brazil has also implemented a RenovaBio program within its National Biofuel Policy. Its goal is to reduce the carbon intensity of

the biofuels production by offering tradeable carbon credits to biofuels producers. The program includes ethanol, biodiesel, biomethane, biokerosene and cellulosic ethanol. To join the program, biofuels producers must have their production process audited and certified, including the origin of their biomass. Based on the audit and product lifecycle, an energy environmental efficiency score (NEEA) is given to the producer. The more efficient and sustainable the production, the higher the NEEA. Based on this score, the producing units are allowed to generate carbon credits, which are exchange-tradable securities.

Asia

Many countries in Asia Pacific have set ambitious blending targets for

biofuels. But in some cases, these targets will not be met because of a shortage of feedstock supply, lack of enforcement of targets, and lack of government support for biofuels blending. Almost all the biofuels supply comes from conventional feedstocks, mainly vegetable oils and sugarcane.

Indonesia and Malaysia are the key markets for biodiesel demand growth in the region on the back of a relatively stronger mandate, subsidies for biodiesel producers and availability of palm oil feedstock. India will soon overtake China as the largest ethanol demand centre in the region as it has been pushing ethanol uptake with financial support and mandates.

The supply gap between target and actual biofuels volumes provides a big market opportunity for alternative sources, such as hydrotreated vegetable oil (HVO). The economics of a standalone HVO plant look attractive if the finished product is sold at market prices achievable in Europe and the US. But as the HVO price is much higher than fossil-fuel based diesel, the economics look challenging if we consider the cost of downgrading HVO to diesel. As such, an incentive system or supportive policies are needed.

Lack of domestic financial incentives and policies limit the development of HVO projects in Asia Pacific. As a

result, feedstocks and HVO produced in Asia Pacific are mostly being exported to the US and Europe.

Indonesia: Asian Leader in Biofuels Blending

Indonesia is the world's largest FAME biodiesel producer stemming from its rich palm oil resources. The locally produced FAME diesel is both consumed domestically and exported.

Historically, Indonesia's biofuel blending mandates have not been strictly enforced, and the mandated levels have not been achieved. But with strong government mandate and aims to reduce the fuel import bills and boost domestic palm oil consumption, biodiesel blending has reached 27% in 2023, slightly short of the nationwide mandate of B35 implemented in 2023. The use of biodiesel was promoted with subsidy payments to biodiesel producers to compensate for the price difference between biodiesel and fossil diesel.

However, the availability of feedstock might be a challenge as the country targets B40 and B50 in the longer term, which will require more palm oil use and would require a much larger subsidy fund. Additional biodiesel production capacity is also required. There is limited new capacity development for alternative feedstocks. Pertamina has plans to co-produce HVO in two of their refineries.

We forecast Indonesia’s biodiesel demand to increase from 11 million tonnes in 2023 to 21 million tonnes in 2050, driven by the biofuels policy paired with increasing diesel demand from the road sector. Ethanol mandates are not well developed, with limited feedstock availability. E2 policy was implemented in 2018. There is a proposal to gradually increase ethanol blending to E20 in 2025.

Trends in Biofuels Capacity Development

Global investments to build new biofuels capacity has been increasing in the past few years. Most of the new capacity in the next few years is to produce HVO and SAF by hydroprocessing technology using waste feedstocks. Favourable policies in the US and Europe are driving this trend. FAME producers using vegetable oil as feedstock continue to face difficult market

conditions. The share of more advanced technologies grows over the long term.

Ethanol: India is the centre for ethanol investments over the next few years as the government targets a nationwide E20 blend by 2025. Brazil, already an established player in ethanol production from sugarcane, is shifting its focus to using cellulosic feedstock to produce ethanol. Raizen accounts for 50% of all announced cellulosic ethanol projects. The company aims to have 20 cellulosic ethanol plants by 2030, 9 of which have already been announced.

The focus for the US ethanol industry is carbon intensity reduction – as much as 16% of capacity will be linked into one CCUS project. We do not expect any major ethanol capacity investments in Europe. Incremental demand as more countries move towards E10 from E5 will be met by

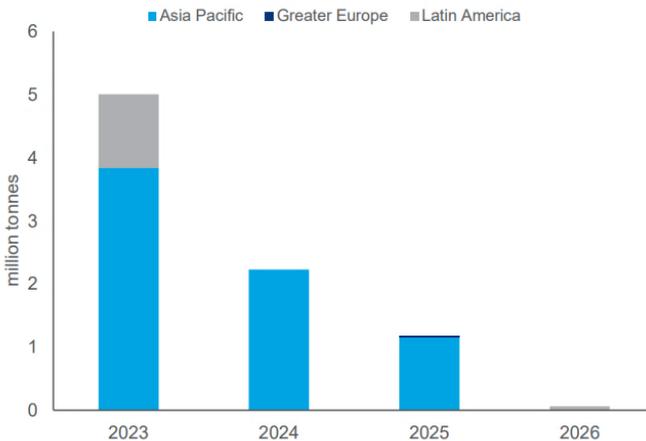


Figure 3. Ethanol Firm Investments by Region

Source: Wood Mackenzie’s Liquid Renewable Fuels Service

imports from Asia and Americas. FAME: Only a small amount of new FAME capacity is expected in the next few years, most of which is in Asia. Global capacity and utilisation for FAME peaks in the mid-2030s.

HEFA (HVO/SAF): Over 40 million tonnes of new HEFA capacity have been announced to be built. But we expect that only 17 million tonnes

of HEFA capacity is firm and will come online by 2026. Currently, most of this capacity is dominated by HVO, but SAF share of HEFA capacity continues to rise, reaching 20% in 2026. Based on policies, US investments are taking a lead on HVO supply, but European polices are more supportive of SAF and hence we expect a larger shift in HEFA capacity to SAF.



Figure 4. HEFA Firm Investment by Region and SAF Capacity
 Source: Wood Mackenzie's Liquid Renewable Fuels Service

Waste-to-Biofuels is a Great Opportunity but not Without Its Own Challenges and Risks

Feedstock supply

The share of virgin vegetable oils in the biofuel feedstock mix slowly falls from the late 2030s as per our forecast, but the share of waste oils and fats continues to grow because of growing demand for HVO and SAF production in the US and Europe. However, the availability of low carbon waste feedstocks is

constrained and is the major long-term hurdle to growth. Waste recovery remains low and inefficient in most markets. The main challenges with the waste collection supply chain are that the aggregation industry has many small-scale players and is extremely fragmented and scattered which makes access to supply challenging. The supply chain is opaque with high leakage into illegal uses such as blending used cooking oil (UCO) with virgin vegetable oil.

Waste feedstock supply is concentrated in few countries for example China which is a leading exporter of used cooking oil. It is a major risk for importers such as US and Europe if current exporters decide to stop exports and develop their own domestic industries to use waste feedstocks. As an example, UCO exports are now not allowed from India.

Feedstock quality

Biofuel feedstock selection is critical and challenging because the life cycle carbon emissions of waste feedstock vary widely not just during conversion to biofuels but also from direct or indirect land use change emissions. Second, classification of waste streams is not clear and consistent across countries. For example, there may be an existing market for some feedstocks which are being classified as waste for biofuels market. Diverting feedstocks from an existing market towards biofuels will have indirect implications for the existing end-use markets.

Movement of waste feedstock through the supply chain needs to be physically tracked and have proper quality control and mass balancing. Traceability and mass balance are necessary requirements for feedstocks to clear the sustainability criteria for use in biofuels production. Feedstock quality is also important

as inconsistent or contaminated feedstock will impact the plant operating costs and product yields.

Feedstock prices

Feedstock supply and prices for biofuels have a high dependence upon the agricultural sector, which could be very volatile linked to changes in weather conditions or in the state of local and global economy. Trade in agricultural products is tightly regulated and typically far more difficult than the trade in crude and refined products. For example, high agricultural commodity prices from the supply shock caused by Russia's invasion of Ukraine led to high biofuels feedstock prices. Similarly, feedstock supply reduced dramatically during Covid-19.

Biofuels prices

Biofuel prices are also highly dependent upon current regulations. Uncertainty around future regulations a key risk to project economics and new capacity development. There can also be a lack of transparency on how biofuels and feedstock prices are set in some markets because, unlike fossil fuels, there is not a large open market trading.

For markets where producers and suppliers get credits and incentives, high biofuels prices are not fully passed on to consumers. But for markets such as in Asia it will be

uneconomical to blend a high-priced biofuel with lower priced fossil-fuels based products without passing the cost to consumers. For such markets, subsidies or incentives will be required to absorb the cost to achieve a wider adoption of biofuels.

Technology advancement

Current biofuels production use more established technologies such as fermentation for the production of ethanol typically using corn and sugarcane as feedstock, transesterification for the production of biodiesel (FAME) typically using vegetable oil as feedstock. Second phase of growth is expected to be driven by hydroprocessing technology using waste oils and fats as feedstock. However, future growth in biofuels will need a development of more efficient and low-cost technologies using advanced feedstocks such as cellulosic biomass and municipal wastes. High technology cost, uncertainties around technology development and selection (which technologies will develop faster and be more economical) and feedstock availability for new technologies are key risks to future investments.

Proposals for a Sustainable Development

Our outlook for margins for waste-based biofuel production

remain healthy. In fact, biofuel margins for some combinations of feedstock and technology are many-fold better than fossil fuel refinery margins in the longer term. So, refiners can improve their competitiveness by co-producing biofuels or developing dedicated biofuel production facilities. Besides improving margins, refiners must lower emissions to remain in business as carbon taxes in many jurisdictions rise significantly. Biofuels will also help improve carbon competitiveness together with improving margins. Refiners with weak competitive position and which are located in declining demand centres such as Europe and the US are already converting some refinery sites into bio-refineries or are co-producing biofuels. A small bio-site is often a more attractive business than a larger, competitively weak crude oil refinery.

Having access to a secured feedstock supply will be a key competitive advantage. Feedstock supply can be secured by several strategies including partnerships, acquisitions, equity investments and developing own supply chain and storage infrastructure for collection. The ability to process a wide range of waste feedstocks will allow diversification of supply by quality and source minimising supply side risk.

Investments are not just needed in building processing capacity but also in the development of feedstock supply chain infrastructure. The whole aggregation industry must transform by improving collection methods and developing capabilities to make the supply chain efficient. One of the ways to improve is to aim to get certified by international accrediting bodies which will help to increase trust from investors and pull in necessary capital.

Given the challenges around waste feedstock supply, we expect that current vegetable oil producers should also aim to develop sustainable production so they can be certified as sustainable feedstock by certifying bodies such as roundtable on sustainable palm oil (RSPO). Growth in crops and feedstock on marginal agricultural land will also add to alternative supply with low impact from land use change.

To meet long-term policies for biofuels, new production technologies, such as alcohol-to-jet, biomass pyrolysis or gasification and fischer-tropsch process will need to ramp-up to commercial scale which would allow the use of a wider range of feedstocks. Many

of these technologies are either at nascent stages of development or are capital intensive. In addition to the reduction in technological cost, we should see higher supply of low-carbon feedstock such biomass. We also expect e-fuels to develop once the green hydrogen costs are competitive. However, relative cost of synthetic fuels will be more expensive than biofuels.

Biofuels will play an important role in helping to decarbonise hard to decarbonise sectors such as heavy-duty vehicles, aviation, and shipping where use of batteries will not be possible.

All this is possible with a collaboration and partnering between multiple stakeholders – consumers, aggregators, governments, industry players and technology companies. Policy support from Asian countries is an essential missing piece from a region where transportation fuels demand growth is the strongest. Finally, development of carbon markets will make many biofuels compete with fossil fuels and increase adoption, particularly in Asia.

Lelah Menunggu Saat Mau Mandi Air Panas?

Pakai Gas Bumi GasKita, Langsung Gasss!



SUSTAINABLE BIOFUEL DEVELOPMENT AND TREND IN THE GLOBAL ENERGY TRANSITION

Artem Abramov, Nikoline Bromander, Lars Klesse,
Thiago Sinzato, and Angel Jain

Rystad Energy

Email: artem.abramov@rystadenergy.com

Abstract

Bioenergy is a multifaceted and promising solution to the world's clean energy needs, using diverse biomass feedstocks from different biomass generations. From 1G crops to advanced 3G microorganisms, bioenergy sources have evolved to address challenges such as food competition and land-use change. The variety of outputs – including biodiesel, ethanol, renewable diesel, sustainable aviation fuels (SAF), biogas and biomethane – cater to various sectors, offering cleaner alternatives to fossil fuels. The intricate processes involved – such as fermentation, transesterification, and microbial conversion – highlight the importance of technological advancements in optimizing efficiency and reducing environmental impacts. In the realm of liquid biofuels, SAF and renewable diesel have gained particularly significant traction in recent year amid their full chemical equivalents to comparable fossil-based end products, maturation of policy support and production technologies. In this paper we provide comprehensive assessment of the latest trends and developments for these emerging biofuel sectors.

Keywords: Biofuels, Ethanol, Biodiesel, Renewable Diesel, SAF

Bioenergy is set to play an important role in delivering global long-term energy security for the energy mix and climate change mitigation. With biomass as a feedstock, different production processes can offer a diverse range

of end products. New governmental initiatives, such as the US Inflation Reduction Act, have been put in place in recent years to support the bioenergy industry, increasing opportunities for investors. Depending on the type of biological

feedstock and production pathway, bioenergy products are renewable in nature, ranging from traditional wood burning to different types of biofuels or biogases. The potential benefits of bioenergy use include emissions reduction, contributing to a circular economy, flexibility to balance intermittent renewable energy generation, and dealing with the increasing amount of organic waste produced by modern societies. Solid waste landfills, for instance, generate 14% of global emissions, with global waste generation set to increase. With rising demand for biomass for bioenergy production, however, sustainable waste management will be a challenge, with feedstock potential and price important over the long term.

End users of bioenergy products can directly use biofuels to produce heat and electricity, or as a transport fuel for the aviation, maritime and heavy transport sectors. The capture and utilization of organic molecules that would otherwise be emitted into the atmosphere from manure and landfill sites plays to the idea of a circular economy impacting greenhouse (GHG) emissions in the use of bioenergy. Additionally, residues and byproducts from the production process can leave high-nutrient components such as digestate, biochar and bagasse, which can be used as a biogenic fertilizer, a supplement to the food industry, or biogenic carbon dioxide (CO₂) that can further be stored or

used.

In the context of bioenergy production, the use of biomass as a feedstock encompasses a diverse range of sources. Biomass serves as a feedstock for various bioenergy outputs, necessitating careful classification due to the distinct requirements for different bioenergy production outputs. An initial step in this classification involves distinguishing between different generations of biomass sources, a categorization that has evolved over time. There are currently three primary generations of biomass feedstocks (1G, 2G and 3G) capturing the dynamic progression and maturation of perspectives on utilizing biomass as a feedstock.

First-generation feedstocks pertain to biomass feedstocks explicitly dedicated to bioenergy production. Within this category, sugar crops, starch crops, lignocellulosic crops and oil crops play a pivotal role. Examples of 1G feedstocks include sugarcane (sugar crops), corn (starch crops), grass and herbaceous crops (lignocellulosic crops), and vegetable oil (oil crops). Sugarcane and corn have, however, been the preferred choices due to their easy production and low cost. 1G feedstocks have dual utility since they are used for both food and dedicated bioenergy production. Consequently, the use of 1G feedstocks raises sustainability concerns because they compete with food resources. Due to concerns around using edible food crops for biofuel production

and, therefore, concerns around food prices and quantity, this has led to the search for alternative non-edible feedstocks. Second-generation feedstocks encompass a diverse array of biomass-based residues derived from agriculture, forestry, various production processes and municipal waste. These different waste sources provide abundant biomass feedstocks at a relatively low price. The use of 2G biomass aligns with the principles of the circular economy, as it involves repurposing waste products to serve as feedstocks. 2G feedstocks include lignocellulosic crop residues, oil-based residues, organic residues and others. Some notable examples include agricultural residues (lignocellulosic crop residues) along with used cooking or waste fats and oils (classified as oil-based residues), as well as animal manure (categorized as organic waste and others).

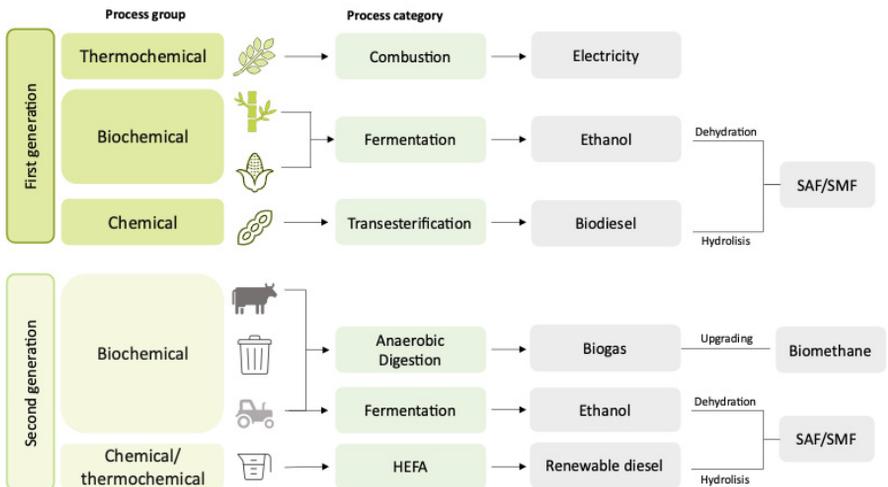
The diversity of 2G feedstocks highlights the versatility of residues and waste products that can be used to produce and meet the requirements of sustainable bioenergy production, helping reduce dependency on 1G biomass feedstocks. Third-generation feedstocks (3G), an advanced feedstock source, represent a pioneering exploration into the use of marine biomass for bioenergy. The superior lipid yield of marine biomass, coupled with its ability to thrive on non-arable land, has given rise to a distinct and novel feedstock classification. In pilot stages, 3G has been focused primarily on algae and

aquatic biomass materials. The use of marine biomass represents a forward-looking approach in the pursuit of sustainable bioenergy solutions. Currently, the cost of conversion of algal feedstock is comparatively high, with efforts concentrated on improving existing technologies and creating newer ones that can compete with the current price of petroleum or other bio-based fuels in the market. Ongoing research and development in this area signals a promising avenue for diversifying bioenergy feedstocks and reducing reliance on traditional 1G feedstock sources. The progression from 1G to 3G feedstocks reflects the maturation and evolution of the perspective on utilizing biomass for bioenergy. As the industry advances, it will become imperative to balance energy needs with considerations around food security and environmental sustainability. The deliberate classification of biomass feedstocks requires a nuanced approach to bioenergy production, aligning with evolving societal and environmental priorities.

Various processes are used to generate different bioenergy outputs, encompassing fuels, electricity or heat, depending on the feedstock type, its generation and the desired output. These processes can be broadly classified into three main categories: chemical; thermochemical; and biochemical. Thermochemical processes are primarily used for electricity generation through

biomass combustion. Biochemical processes, such as fermentation and anaerobic digestion, are pivotal in converting biomass into ethanol or biogas, respectively. Both fermentation and anaerobic digestion yield valuable by-products, serving purposes such as animal feed, fertilizer creation or the recycling of biogenic CO₂ waste streams, establishing an interconnected supply chain. Biochemical fermentation is also widely used in many second-generation fuels. The production goes through quite similar manufacturing processes, known as dehydration, which is a process of evaporating water in the alcohol mixture. The largest example of this is 2G ethanol, in which sugarcane bagasse is fermented in the same machinery used to process

sugarcane, offering the potential to increase production of fuel from the plant by approximately 50%. By contrast, the chemical process of transesterification is extensively used for biodiesel production, transforming vegetable oils or animal fats into biodiesel and glycerin. Each of these processes offers distinct pathways based on feedstock characteristics and intended bioenergy output. A combination of processes can be used to generate customized bioenergy outputs, such as renewable diesel or SAF. The hydro-processed esters and fatty acids (HEFA) process, involving thermochemical and chemical steps, uses 2G biomass feedstock derived from waste oils and fats, with the shared process and subsequent stages ultimately refining the product into SAF.



*SAF: Sustainable Aviation Fuels; SMF: Sustainable Maritime Fuels

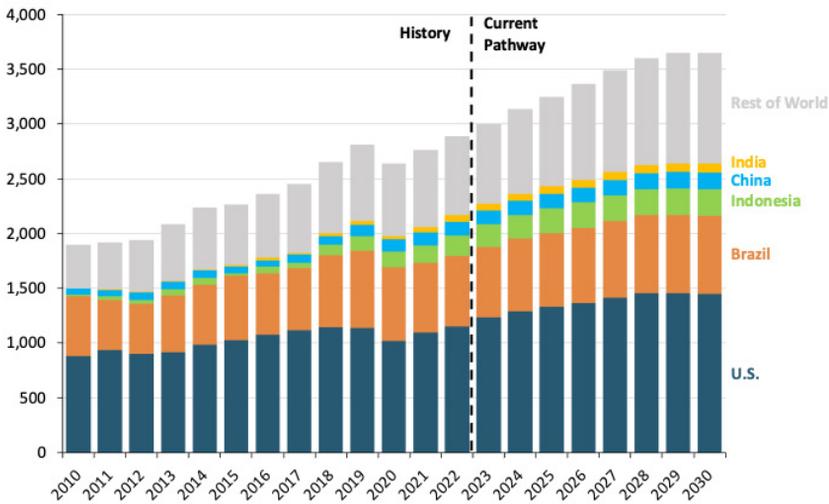
Figure 1. Overview of Different Biomass Production Pathways

Source: Rystad Energy Research and Analysis

Historically, global supply of liquid biofuels was dominated by ethanol and biodiesel. Ethanol is produced mostly through the fermentation of sugars in agricultural crops, mainly sugar cane and corn. Production has grown significantly in recent years, especially in Southeast Asia and the Americas. As a fuel, ethanol can partly or completely replace fossil fuels. These levels of substitution are called blending mandates and vary from country to country according to the ease with which ethanol can be acquired or produced, and the different vehicle engine types. In countries such as Brazil, which uses flex-fuel engines, hydrated ethanol (E100) has proven popular. In other countries such as the US, ethanol is blended with gasoline at between 12% (E12) and

85% (E85). In the 2022/2023 crop year, world ethanol production hit a high of 105 billion liters. This increase, of approximately 3.5% compared to the 2021/2022 harvest year, reflects growing global demand for sustainable biofuels. The main consumer markets for ethanol are the US, Brazil and the European Union, which account for a combined 86% of world consumption. Brazil stands out not only as a major consumer but also as the second-largest producer of biofuels, with the center-south region leading national production, second only to the US. The growing presence of flex-fuel vehicles, capable of running on both gasoline and ethanol, has boosted the consumption of this biofuel, with increased blending in countries

Thousand barrels per day



*Includes ethanol, biodiesel, and renewable diesel

Figure 2. Global Production of Biofuels* by Country, Medium-term Outlook

Source: Rystad Energy Bioenergy Solution

such as India and Argentina also driving uptake. In addition to its use in the transport sector, some ethanol production is also used in pharmaceutical production, mainly in the production of sanitizers, and in the production of green plastics. The second-largest product from bioenergy is biodiesel, which is a biofuel produced from lipids such as vegetable oils, animal fats and used cooking oils. It is produced through a process known as transesterification, which converts fats and oils into biodiesel and glycerin. Due to its unique chemical structure, biodiesel may require modifications to engines if used in high concentrations. However, it is commonly found in blends with fossil diesel, such as B5 (5% biodiesel and 95% petroleum diesel) and B20 (20% biodiesel and 80% petroleum diesel).

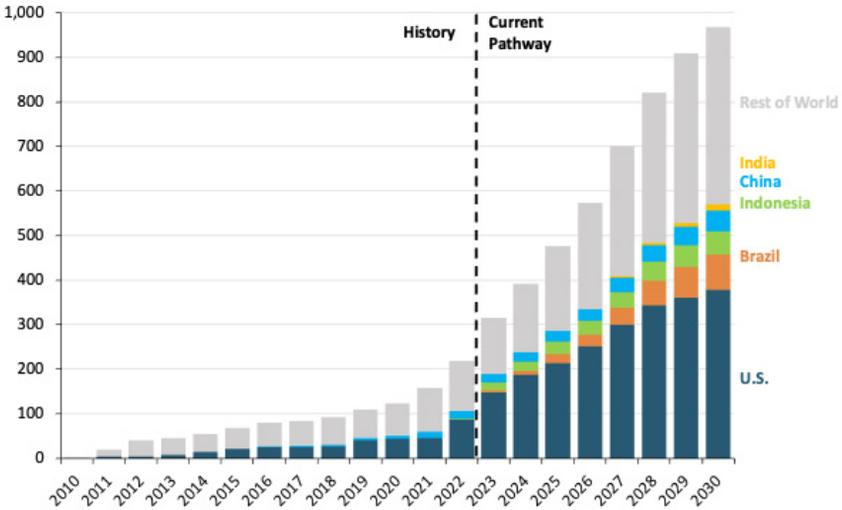
Going beyond traditional ethanol and biodiesel, the renewable diesel market is growing at pace and looks set to attract increased investment in the coming years, with the US leading the charge. Renewable diesel is a hydrocarbon that is chemically equivalent to petroleum diesel and hence can be blended seamlessly with petroleum diesel and/or biodiesel or can also be used as 100% replaceable fuel. It can also be transported in petroleum pipelines and sold at retail stations with or without blending. Therefore, so long as favorable government policies and the economic viability

of renewable diesel exist, demand will continue. Renewable diesel can be produced from nearly any biomass feedstock, including those used for biodiesel production. Despite a slowdown in 2020, global biofuels market recovered with the supply reaching new record-high of around 2.9 million barrels per day (bpd) in 2022 (ethanol, biodiesel and renewable diesel combined). We estimate that the global supply of biofuels will grow further to around 3.7 million bpd by 2030, with the growth driven almost exclusively by renewable diesel. Renewable diesel and SAF are both gaining momentum at the cost of ethanol and biodiesel due to their drop-in property and faster peaking of gasoline and diesel demand as EVs make inroads at pace. With momentum building in the renewable fuels space, the petroleum industry is looking to convert existing refineries to produce renewable diesel and SAF by modifying their existing refineries to include hydrotreating and separation facilities. Such conversions are often faster and more cost effective than constructing greenfield renewable fuel production facilities. The US has already taken the lead in building renewable diesel production capacity through greenfield plants and the conversion of eight idled and economically unviable refineries. The domestic supply of renewable diesel has been touching the 170,000-bpd level

since May 2023, effectively implying nearly 100% utilization of available renewable diesel capacity in the country. We estimate that the US accounted for a staggering 46% of global renewable diesel production in 2023. The country is expected to maintain a high market share until 2030 with the current pathway

suggesting US renewable diesel supply trending towards 400,000 bpd, while global production will grow to between around 950,000 and 1 million bpd over the same period of time. With this, the renewable diesel market is poised for substantial growth and presents good investment opportunities.

Thousand barrels per day



*Includes ethanol, biodiesel, and renewable diesel

Figure 3. Estimated Production of Renewable Diesel by Country, Medium-term Outlook

Source: Rystad Energy Bioenergy Solution

Finally, SAF is a drop-in fuel with properties almost identical to conventional jet fuel, and it can be produced from various feedstocks, including waste fats and oils, agricultural, forestry and municipal solid waste. The production of SAF can significantly reduce the aviation industry’s carbon footprint while requiring minimal aircraft

and airport logistics modifications. It is crucial to highlight that these alternatives may be only suited for short or medium-haul flights due to constraints in weight and energy density (up to four times higher larger fuel tanks) for hydroelectric and hydrogen fuel airplanes, respectively. Long-haul flights (over 4,000 kilometers) contribute to

more than 50% of aviation's carbon dioxide emissions despite accounting for only about 6% of departing flights. Therefore, the decarbonization of long-haul aviation should be a top priority for the industry. Moreover, electric and hydrogen-powered aircrafts entail extensive changes in supply chains, airport infrastructure, as well as aircraft and engine configurations, thereby extending timelines for development and scaling up. Given the urgency, the swift adoption of drop-in fuels is essential for accelerating the scaling-up process. Additionally, maintaining the existing airline fleets currently on the market is preferable, considering their average lifespan that extends from two to three decades. This ensures that valuable assets with considerable operational longevity are not prematurely phased out.

Currently, the landscape of SAF involves the approval of 11 conversion processes by the American Society for Testing and Materials (ASTM), with an additional five processes under evaluation. These diverse SAF types come with approved maximum blending ratios when mixed with traditional kerosene. Blending ratios of 5%, 10%, and 50% are specified for different SAF types. Among these options, four pathways have garnered market attention, all possessing an approved 50% blending ratio, warranting a closer examination of their characteristics.

Within these four prominent processing pathways, three feature

biomass as a feedstock for SAF production. The HEFA pathway stands out among the four, which relies on lipids such as waste fats and oils as a second-generation biomass feedstock. While initial projects explore the use of aquatic biomass (3G), particularly algae, for SAF production, this application is still in its nascent stages. In contrast, the hydro processing of esters and fatty acids represents a mature SAF technology that is well-recognized and established within the industry. The alcohol-to-jet (ATJ) pathway, the second biomass-based SAF output, utilizes second-generation feedstocks such as agricultural and forestry waste. This pathway initiates the process with fermentation, followed by biojet upgrading. Although not as mature as the HEFA pathways, the ATJ pathway is advancing with the commencement of the first commercial pilots. Similar technological maturity characterizes the Gasification/Fischer-Tropsch (Gas/FT) process, sharing its feedstock with ATJ and including municipal waste for gasification. This process results in syngas production, followed by the Fischer-Tropsch process to generate the final Synthetic Paraffinic Kerosene (SPK) output. The fourth SAF type, known as e-SAF or 'power-to-liquid SAF', diverges by not relying on biomass for production. Instead, it requires CO₂ sourced from methods like direct air capture (DAC) or point source capture, combined with green hydrogen, to produce power-to-liquid SAF. However, since

the large-scale capture of CO₂ is very energy intensive, and the costs of green hydrogen are still high, this SAF pathway is not very mature yet. Still, it has significant potential and a pivotal role in future supply since CO₂ sourcing from DAC is not limited.

The SAF production landscape evolves dynamically, marked by more than 140 operational and planned assets dedicated to fostering a greener aviation industry. The processing methods across these projects differ, with 52% utilizing HEFA, 15% GAS/FT, 14 % ATJ, and 19% employing PTL technologies. Over 50% of projects in the SAF landscape primarily utilize the HEFA-SPK method, contributing to a substantial 80% of the projected production capacity by 2030. The HEFA-SPK pathway is notably prominent in the US, reflecting the nation's commitment to sustainable aviation solutions. Germany leads announced projects utilizing the PTL pathway, highlighting global diversity in SAF production approaches. By 2030, operational and announced SAF projects are estimated to have a combined production capacity of approximately 21 million metric tons per annum (Mtpa).

Currently, less than 20% of announced projects are operational. The US leads in planned initiatives, with one in four SAF plants in the country. North America, particularly the US, plays a key role and has taken the lead in both current and future assets, shaping the industry's direction.

In a market comprising 34 SAF projects, eight of which are already operational, the US demonstrates a tangible commitment to redefining aviation's environmental impact. As these projects unfold, they offer a glimpse into the ambitious future envisaged for the country's SAF sector, positioning it as a global frontrunner. By 2030, the US aims to produce 8 million Mtpa of SAF fuel per year, representing approximately 38% of the global market. Embarking on a successful venture into large-scale production, Neste's refinery in Singapore is already operational, producing 1 million metric tons of HEFA-SAF per year. This accomplishment stands as a testament to their prowess in the domain. The largest operational refinery in the US, the Paramount facility operated by World Energy, holds a production capacity of approximately 110,000 tonnes. On the horizon, the Gron Fuels project by Fidelis New Energy aims even higher, targeting more than 1.7 million tonnes annually. This ambitious endeavor has the potential to surpass Neste's operational plant in Singapore and emerge as the world's largest SAF facility, showcasing the innovative and large-scale approach that defines the US SAF market. When it comes to total production capacity by 2030 from announced projects, Neste takes the lead with an impressive 2.3 million tonnes by 2030, coming from its operations in Singapore, Rotterdam, and Porvoo. Within the HEFA facilities, a notable aspect is

the integration of various facilities, enabling concurrent production of renewable diesel and SAF due to substantial synergies in the process, with a predominant focus on renewable diesel production. This

focus fulfills the aviation sector's demand for SAF and addresses the broader need for renewable alternatives in the transportation sector.

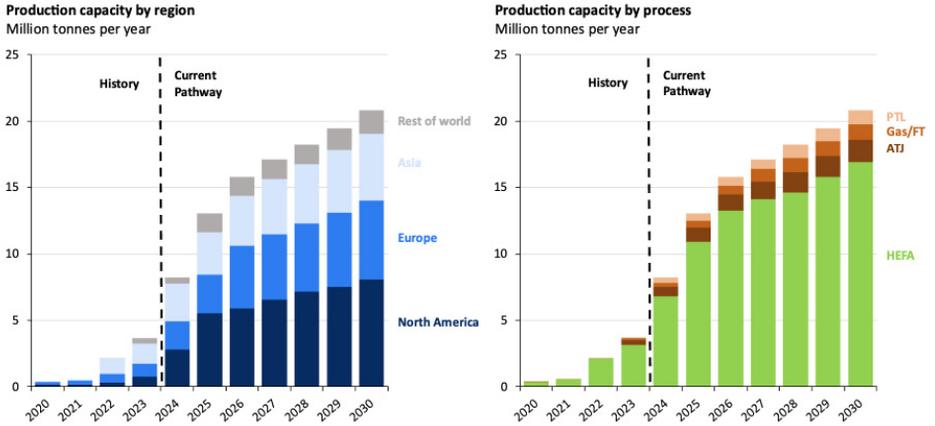


Figure 4. Expected SAF Production Capacity by Region, Medium-term Outlook

Source: Rystad Energy Bioenergy Solution

The least mature SAF production pathways higher production costs compared to HEFA-SAF, particularly with PTL-SAF being considerably more expensive. Even the most economical SAF type, HEFA-SAF, tends to be two to three times more costly than traditional jet fuel. Gas/FT and ATJ SAFs will typically have production costs well in excess of \$2,000 per tonne (sometimes up to \$3,000 per tonne). Finally, producing SAFs with PTL pathway today at the cost of less than \$3,500 per tonne would certainly be a rare and impressive achievement amid the high expenses associated with green hydrogen and CO₂ capture technologies. We project

a considerable reduction in SAF production costs by 2050 if these technologies reach higher technology readiness levels (TRL) and scale. Cost improvement potential by 2050 is assessed at 65%, 30%, 25% and 20% for PTL, ATJ, GAS/FT and HEFA, respectively. Gas/FT is presumed to have lower production costs than ATJ SAF over time, given that the production costs of ATJ SAF are elevated when ethanol, serving as an interim product, is derived from second-generation biomass. While production costs for ATJ SAF could be reduced through feedstock sourcing in an already mature first-generation ethanol market, the emphasis should be

on utilizing second-generation feedstock for ATJ SAF production. Despite variations in gas/FT production costs linked to the choice of feedstock, the adoption

of more plentiful and cost-effective feedstock, particularly municipal solid waste, would lead to relatively lower production costs in the future.

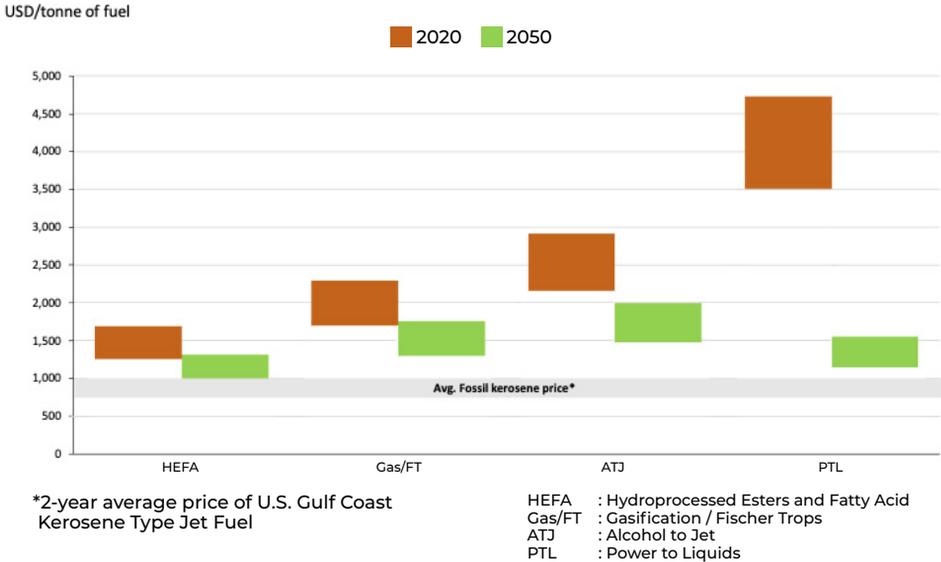


Figure 5. Current SAF Production Cost and Learning Curve Potential

Source: Rystad Energy Bioenergy Solution

In the near to mid-term future, the production capacity in the pipeline appears capable of meeting SAF demand until the 2030s. However, a substantial scale-up is imperative beyond this period, with ATJ and gas/FT supporting HEFA SAF production and a massive increase in PTL production required to achieve the final target by 2050. Despite ongoing efforts, the costs of SAF remain distant from conventional kerosene prices, and reaching parity by 2050 appears unlikely. Policy scaling is necessary to meet and support the growing demand for SAF. Despite the initial announcement of policies and incentives, particularly in the US

and European markets, it is crucial to emphasize that the Asia-Pacific region is noticeably lagging, requiring a substantial announcement of measures to catch up. The initial phase of SAF supply is anticipated to be dominated by biomass, with a subsequent shift towards e-SAF. While large refineries are already in operation or planned to become operational soon, significant announcements are crucial. Airlines recognize the imperative for change, reflected in their uptake of offtake agreements; however, the long-term sustainability of SAF supply meeting demand remains uncertain.

DISCLAIMER

Bahan-bahan ini, kecuali yang merupakan hak cipta dan sumber referensi yang disebutkan, termasuk pembaruan apa pun, diterbitkan oleh PEI dan tetap tunduk pada hak cipta penulis. PEI tidak memberikan jaminan atau representasi mengenai akurasi atau kelengkapan informasi dan data yang terdapat dalam bahan-bahan ini, yang disediakan 'sebagaimana adanya'.

Pendapat dalam bahan-bahan ini sepenuhnya milik penulis dan tidak dimaksudkan sebagai tawaran untuk melakukan transaksi apa pun atau sebagai saran investasi.

Jika terlepas dari peringatan ini, Anda atau orang lain mengandalkan bahan-bahan ini dengan cara apa pun, PEI tidak menerima dan dengan ini menolak sejauh diizinkan oleh hukum, semua tanggung jawab atas kerugian dan kerusakan yang timbul dari ketergantungan tersebut.

Untuk saran, tanggapan, atau pertanyaan lebih lanjut terkait materi buletin ini, silakan mengirimkan e-mail ke energy-institute@pertamina.com dengan menyertakan judul e-mail: Enquiry Buletin Vol 10 No.1.

PERTAMINA
DEX

**KUNCI KETANGGUHAN
PERFORMA DAN
KEAWETAN MESIN**

KADAR SULFUR BERSTANDAR

EURO 4



SULFUR LEBIH RENDAH*

Pertamina Dex diformulasikan dengan kandungan sulfur maks. 50 ppm untuk dukung performa mesin diesel berteknologi Euro 4.



**CETANE NUMBER
TERTINGGI
SE-INDONESIA**

Dengan Cetane Number 53, untuk memaksimalkan ketangguhan performa sekaligus melindungi keawetan mesin.



**TERSEDIA DI PALING
BANYAK LOKASI
SE-INDONESIA**

Keunggulan jaringan distribusi Pertamina memastikan ketersediaan di seluruh Indonesia sehingga lebih mudah ditemukan.

*Dibanding BBM Diesel Pertamina Lainnya



GREEN REFINERY CILACAP PRODUKSI GREEN DIESEL/HVO

Produk green diesel "**Pertamina Renewable Diesel**" telah memperoleh sertifikasi **International Sustainability and Carbon Certification** yang berarti memperoleh pengakuan bahwa penggunaan produk ini berkontribusi pada penurunan emisi karbon hingga 65-70 persen dari bahan bakar umumnya sehingga layak disebut sebagai green product.



**BULETIN
PERTAMINA
ENERGY
INSTITUTE**

PT Pertamina (Persero)

Graha Pertamina, Gedung Fastron Lantai 19
Jln. Medan Merdeka Timur No. 6, Jakarta 10110
Email: energy-institute@pertamina.com

