

Tantangan Implementasi Program B40 di Indonesia: Tinjauan Teknis dan Ketersediaan Bahan Baku Biodiesel

Ariya Eka Alel*, Ririn Puji Hastuti, Lisa Legawati
Universitas Riau

Kampus Bina Widya KM. 12,5, Simpang Baru, Kec. Tampan, Kota Pekanbaru, Riau, 28293

E-mail: ariya.ekaalel@lecturer.unri.ac.id*

Abstract

The B40 program is a continuation of Indonesia's mandatory biodiesel policy, which requires blending 40% palm oil-based biodiesel with 60% conventional diesel fuel. This program aims to reduce dependence on fossil fuel imports while supporting national greenhouse gas emission reduction targets. This study analyzes the challenges of B40 implementation in Indonesia, focusing on feedstock availability as well as technical aspects of biodiesel production and distribution. The research employs a desk study approach using secondary data from GAPKI, BPDPKS, the Ministry of Energy and Mineral Resources, and relevant scientific literature. The results indicate that Indonesia's crude palm oil (CPO) production in the first half of 2025 reached approximately 27.89 million tons, while the CPO requirement for B40 is projected at around 13.5 million tons. The installed capacity of the national biodiesel industry is about 20 million kiloliters per year, exceeding the projected B40 biodiesel demand of 15.6 million kiloliters. However, technical challenges remain, including biodiesel quality issues, dependence on imported methanol, and distribution constraints in remote regions. Overall, the B40 program has the potential to reduce emissions by approximately 25–28 million tons of CO₂-equivalent per year and contribute to Indonesia's energy transition.

Keywords: Biodiesel, B40, carbon emissions, crude palm oil, renewable energy

Abstract

Program B40 merupakan kelanjutan kebijakan mandatori biodiesel di Indonesia melalui pencampuran 40% biodiesel berbasis minyak sawit dengan 60% solar. Program ini bertujuan mengurangi ketergantungan impor bahan bakar minyak fosil sekaligus mendukung target penurunan emisi gas rumah kaca. Penelitian ini menganalisis tantangan implementasi B40 dari aspek ketersediaan bahan baku serta teknis produksi dan distribusi biodiesel. Metode penelitian menggunakan desk study dengan memanfaatkan data sekunder dari GAPKI, BPDPKS, Kementerian ESDM, serta literatur ilmiah terkait biodiesel. Hasil analisis menunjukkan bahwa produksi crude palm oil (CPO) Indonesia pada semester pertama 2025 mencapai sekitar 27,89 juta ton, dengan kebutuhan CPO untuk B40 diperkirakan sebesar 13,5 juta ton. Kapasitas terpasang industri biodiesel nasional mencapai sekitar 20 juta kiloliter per tahun, lebih tinggi dari kebutuhan biodiesel B40 sebesar 15,6 juta kiloliter. Namun, tantangan teknis seperti kualitas biodiesel, ketergantungan impor metanol, serta kendala distribusi di wilayah terpencil masih perlu diatasi. Program B40 diperkirakan mampu menurunkan emisi sebesar 25–28 juta ton CO₂-eq per tahun dan berkontribusi terhadap transisi energi nasional.

Kata kunci: Biodiesel, B40, emisi karbon, crude palm oil, energi terbarukan.

1. Pendahuluan

Ketergantungan Indonesia terhadap energi fosil masih cukup tinggi. Konsumsi solar sendiri mencapai lebih dari 30% total kebutuhan BBM nasional. Kondisi ini menyebabkan defisit neraca migas sekaligus tekanan pada APBN akibat subsidi energi. Sebagai produsen CPO terbesar dunia, Indonesia memiliki potensi besar dalam

pengembangan biodiesel berbasis sawit. Sejak 2008, pemerintah telah meluncurkan beberapa program mandatori biodiesel, dimulai dari B5 dan terus meningkat hingga B35 pada 2023. Pada tahun 2025, implementasi B40 resmi dijalankan dengan alokasi 15,6 juta kiloliter biodiesel [1].

Sebagai negara berkembang, Indonesia menghadapi dilema energi yang cukup kompleks. Di satu sisi, kebutuhan energi nasional terus

meningkat rata-rata 4–5% per tahun, dengan konsumsi BBM mencapai lebih dari 70 juta kiloliter pada tahun 2023. Sementara di sisi lain, produksi minyak domestik cenderung menurun, sehingga impor BBM, terutama jenis solar masih mendominasi. Ketergantungan pada impor solar tidak hanya membebani APBN melalui skema subsidi energi, tetapi juga melemahkan ketahanan energi nasional. Kondisi ini mendorong pemerintah untuk mencari alternatif energi yang dapat diproduksi secara domestik, ramah lingkungan, dan berkelanjutan [2].

Salah satu potensi terbesar Indonesia terletak pada minyak sawit. Indonesia adalah produsen *crude palm oil* (CPO) terbesar dunia dengan produksi mencapai $\pm 27,89$ juta ton hingga pertengahan 2025 [3]. Sebagian besar CPO diekspor sebagai bahan mentah atau produk hilir, namun sebagian lainnya telah dimanfaatkan untuk program biodiesel. Pemerintah Indonesia mulai menerapkan kebijakan mandatori biodiesel sejak 2008 (B5), yang secara bertahap ditingkatkan menjadi B20 (2016), B30 (2020), dan B35 (2023). Sejak 2025, pemerintah menetapkan implementasi B40, yaitu kewajiban pencampuran 40% biodiesel dengan 60% solar [4].

Program ini memiliki dua tujuan strategis: (i) mengurangi impor solar dan memperkuat ketahanan energi, serta (ii) mendukung pencapaian target Nationally Determined Contribution (NDC) pengurangan emisi GRK sebesar 31,89% dengan usaha sendiri atau 43,20% dengan dukungan internasional pada tahun 2030 [5].

Meskipun kapasitas terpasang industri biodiesel nasional telah mencapai ± 20 juta kiloliter per tahun, implementasi B40 tidak lepas dari berbagai tantangan. Pertama, dari sisi ketersediaan bahan baku, kebutuhan CPO untuk B40 diproyeksikan mencapai 13,5 juta ton per tahun [6]. Angka ini cukup signifikan mengingat CPO juga diprioritaskan untuk kebutuhan pangan, oleokimia, dan ekspor. Persaingan alokasi dapat memengaruhi keberlanjutan pasokan serta kestabilan harga domestik [7,8]. Kedua, dari sisi teknis, biodiesel sawit masih menghadapi isu kualitas, seperti stabilitas oksidasi, kandungan air, dan sifat alir dingin (*cold flow properties*) yang berpotensi menurunkan performa mesin. Ketiga, proses transesterifikasi biodiesel membutuhkan metanol, di mana pasokan nasional masih bergantung pada impor. Hal ini menciptakan kerentanan terhadap fluktuasi harga global dan ketidakpastian pasokan [9,10].

Selain itu, aspek distribusi dan logistik menjadi faktor krusial dalam implementasi B40 di Indonesia. Sebagai negara kepulauan, distribusi biodiesel ke wilayah timur Indonesia menghadapi

kendala infrastruktur, biaya transportasi yang tinggi, serta risiko degradasi kualitas produk selama pengiriman. Permasalahan ini berpotensi menurunkan efektivitas implementasi program B40 apabila tidak ditopang oleh strategi logistik yang komprehensif [11,12].

Biodiesel berbasis sawit telah terbukti mampu menurunkan emisi GRK dibandingkan solar konvensional. Program B30 pada tahun 2020 diperkirakan berhasil mengurangi emisi sekitar 22,3 juta ton CO₂-eq (KLHK, 2021). Ketika porsi campuran lebih tinggi, B40 berpotensi menurunkan emisi hingga 25–28 juta ton CO₂-eq per tahun. Namun demikian, isu keberlanjutan (*sustainability*) dalam produksi CPO, terutama terkait deforestasi dan konversi lahan, masih menjadi sorotan internasional yang dapat memengaruhi keberterimaan biodiesel Indonesia di pasar global [13,14].

Berdasarkan uraian di atas, terlihat bahwa implementasi B40 memiliki potensi strategis dalam mendukung transisi energi dan pengurangan emisi, serta menghadapi tantangan serius terkait bahan baku, teknis, dan logistik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tantangan implementasi program B40 di Indonesia dari sisi teknis dan ketersediaan bahan baku, serta memberikan gambaran kontribusi B40 terhadap pengurangan emisi CO₂ nasional.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan *desk study* dengan memanfaatkan data sekunder dari berbagai sumber resmi dan literatur ilmiah. Pendekatan ini dipilih karena penelitian berfokus pada analisis potensi dan tantangan implementasi program B40 secara makro, sehingga dapat dilakukan melalui pengolahan data yang tersedia tanpa memerlukan pengujian eksperimental di laboratorium.

Data utama yang digunakan meliputi: (1) produksi minyak sawit mentah (CPO) nasional, diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS), Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI), serta Kementerian Pertanian; (2) kapasitas produksi biodiesel dan kebutuhan domestik, yang diakses melalui laporan Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), Pertamina, dan Asosiasi Produsen Biodiesel Indonesia (APROBI); serta (3) faktor emisi dan karakteristik teknis biodiesel, yang diperoleh dari laporan Intergovernmental *Panel on Climate Change* (IPCC) dan publikasi jurnal internasional.

Analisis dilakukan dalam tiga tahap. Pertama, menghitung estimasi kebutuhan CPO untuk

mendukung implementasi B40 berdasarkan proyeksi konsumsi solar nasional dan rasio pencampuran biodiesel. Kedua, membandingkan kapasitas produksi biodiesel nasional dengan kebutuhan aktual untuk menilai kecukupan pasokan. Ketiga, melakukan estimasi pengurangan emisi CO₂ dengan membandingkan faktor emisi solar murni dengan campuran B40, berdasarkan nilai *life cycle assessment* (LCA) dari literatur.

Selain itu, penelitian ini juga meninjau tantangan teknis implementasi B40 melalui studi literatur yang membahas sifat fisikokimia biodiesel, seperti kestabilan oksidasi, kandungan air, sifat alir dingin, serta ketersediaan bahan pendukung seperti metanol. Analisis ini dilengkapi dengan kajian mengenai aspek logistik dan distribusi bahan bakar di Indonesia yang memiliki karakteristik geografis kepulauan.

Hasil penelitian dengan metode pendekatan ini diharapkan mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai kesiapan Indonesia dalam melaksanakan program B40, baik dari sisi ketersediaan bahan baku maupun aspek teknis yang terkait dengan produksi, distribusi, dan pemanfaatannya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Ketersediaan Bahan Baku

Indonesia memproduksi minyak sawit mentah (CPO) sekitar 48–51 juta ton per tahun dalam periode 2020–2024. Berdasarkan jumlah tersebut, rata-rata 65–70% diekspor, sementara sisanya dialokasikan untuk kebutuhan domestik, termasuk industri pangan, oleokimia, dan biodiesel [17,18]. Peningkatan mandatori biodiesel dari B35 ke B40 menyebabkan kebutuhan CPO untuk energi akan bertambah signifikan.

Sebagai gambaran, konsumsi solar nasional pada tahun 2023 tercatat sekitar 33 juta kiloliter [19]. Jika program B40 dijalankan penuh, maka dibutuhkan sekitar 13,2 juta kiloliter biodiesel, yang setara dengan ±11,6 juta ton CPO (dengan asumsi konversi 1 ton CPO ≈ 1,14 kl biodiesel) [20,21]. Kebutuhan ini meningkat dibandingkan program B35 yang memerlukan sekitar 11,6 juta kl biodiesel atau ±10,2 juta ton CPO [22].

Peningkatan alokasi CPO untuk biodiesel berpotensi menimbulkan tekanan pada ketersediaan untuk sektor lain, terutama industri pangan domestik dan pasar ekspor [23]. Risiko ini semakin besar apabila harga CPO global naik, karena produsen cenderung memilih ekspor untuk memperoleh keuntungan lebih tinggi. Oleh karena itu, implementasi B40 perlu diseimbangkan dengan strategi diversifikasi bahan baku,

misalnya pemanfaatan minyak jelantah (*used cooking oil*) atau minyak non-pangan[24].

Tabel 1.

Estimasi Kebutuhan CPO untuk Program B35 dan B40				
Program	Konsumsi Solar Nasional (juta kl)	Kebutuhan Biodiesel (juta kl)	Kebutuhan CPO (juta ton)	Alokasi CPO Produksi Nasional (%)
B35	33	11,6	10,2	~21%
B40	33	13,2	11,6	~24%

3.2. Kapasitas Industri Biodiesel

Industri biodiesel di Indonesia berkembang pesat seiring dengan peningkatan kebijakan mandatori. Hingga tahun 2024, kapasitas terpasang industri biodiesel nasional diperkirakan mencapai 17–18 juta kiloliter per tahun, yang tersebar pada lebih dari 25 perusahaan produsen [25,26]. Berdasarkan kapasitas tersebut, rata-rata utilisasi tahunan berada pada kisaran 65–75%, bergantung pada ketersediaan bahan baku, insentif harga, serta kondisi pasar energi global[27].

Jika dibandingkan dengan kebutuhan program B40, yang diproyeksikan sebesar 13,2 juta kiloliter per tahun, secara teoritis kapasitas produksi nasional sudah mencukupi. Namun, terdapat sejumlah tantangan yang dapat menghambat realisasi penuh kapasitas ini. Pertama, produksi biodiesel masih terkonsentrasi di wilayah Sumatra dan Jawa, sehingga distribusi ke kawasan Indonesia Timur menghadapi kendala logistik. Kedua, biaya produksi biodiesel relatif sensitif terhadap harga CPO global, sehingga fluktuasi harga dapat memengaruhi stabilitas pasokan. Ketiga, ketergantungan pada impor metanol sebagai bahan baku tambahan memperbesar risiko ketidakpastian rantai pasok.

Tabel 2.

Kapasitas Produksi Biodiesel Nasional dan Kebutuhan B40[25,26,27,28]				
Tahun	Kapasitas Terpasang (juta kl)	Produksi Aktual (juta kl)	Tingkat Utilisasi (%)	Proyeksi Kebutuhan B40 (juta kl)
2022	16,0	10,6	66	-
2023	17,0	12,1	71	11,6
2025*	18,0	±13,5 (estimasi)	75	13,2

Berdasarkan kapasitas yang ada, Indonesia berpotensi mampu memenuhi kebutuhan B40. Namun, tantangan utama justru terletak pada disparitas distribusi dan efisiensi logistik. Misalnya, pabrik biodiesel terbesar berada di Riau, Sumatra Utara, dan Kalimantan, sedangkan kebutuhan besar juga datang dari kawasan timur

Indonesia yang jauh dari pusat produksi. Hal ini memerlukan biaya transportasi tambahan serta infrastruktur penyimpanan dan distribusi yang memadai.

Tabel 3.
Data Distribusi Pabrik Biodiesel di Indonesia
(Nama & Kapasitas yang Diketahui)

No	Perusahaan	Lokasi (Provinsi)	Kapasitas Terpasang (kl/tahun)
1	PT Multi Nabati Sulawesi	Sulawesi	± 475.862
2	PT Multimas Nabati Asahan	Sumatra Utara	± 568.966
3	PT Wilmar Bioenergi Indonesia	(diduga Sumatra / lokasi pusat operasi)	± 1.603.448
4	PT Wilmar Nabati Indonesia	Sumatra / basis Wilmar	± 2.250.000
5	PT Sinarmas Bio Energy	(Provinsi tak spesifik disebut)	± 455.400
6	PT Smart Tbk	(lokasi tak spesifik)	± 440.517
7	PT Kutai Refinery Nusantara (Apical Grup)	Kalimantan / provinsi terkait	± 1.143.247
8	PT Musim Mas (Medan)	Sumatra Utara	± 459.770
9	PT Musim Mas (Batam)	Kepulauan Riau / Batam	± 896.552
10	PT Pelita Agung Agrindustri	(lokasi Sumatra / basis produksi)	± 229.885
11	PT Permata Hijau Palm Oleo	(Provinsi produksi sawit)	± 417.214
12	PT Energi Unggul Persada	(tidak disebut provinsi)	± 948.276

3.3. Tantangan Teknis Implementasi B40

Implementasi B40 tidak hanya berkaitan dengan ketersediaan bahan baku, tetapi juga menuntut kesiapan teknis dalam aspek kualitas bahan bakar [29]. Perbandingan sifat fisik dan kimia antara solar murni (B0), B35, dan B40 dapat dilihat pada Tabel 3.

Berdasarkan Tabel 3, terlihat bahwa pencampuran biodiesel dalam kadar tinggi, seperti pada B40, membawa sejumlah konsekuensi teknis yang harus diantisipasi. Pertama, densitas dan viskositas B40 lebih tinggi dibanding solar murni.

Kondisi ini dapat menimbulkan beban tambahan pada sistem injeksi bahan bakar, mempercepat keausan komponen, dan meningkatkan risiko terbentuknya deposit pada saluran bahan bakar [30,31].

Kedua, nilai kalor B40 yang lebih rendah mengindikasikan bahwa energi yang dilepaskan per satuan massa lebih kecil dibandingkan solar[32]. Hal ini berarti kendaraan berbahan bakar B40 cenderung memiliki konsumsi bahan bakar lebih tinggi untuk menempuh jarak yang sama.

Ketiga, sifat pembakaran biodiesel yang ditunjukkan oleh *cetane number* lebih baik dibanding solar, sehingga B40 berpotensi menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna, mengurangi emisi partikulat, dan meningkatkan performa mesin pada kondisi normal [33]. Namun demikian, *cold flow properties* B40 lebih buruk, yang berpotensi menimbulkan masalah operasional di daerah dengan suhu rendah, terutama di wilayah pegunungan atau saat musim hujan dengan temperatur rendah[33,34].

Keempat, stabilitas oksidasi B40 relatif lebih rendah dibanding solar. Kandungan oksigen yang tinggi dalam biodiesel membuat B40 lebih mudah terdegradasi selama penyimpanan, sehingga umur simpannya lebih singkat [35,36]. Kondisi ini menuntut sistem logistik dan distribusi yang lebih cepat serta penyimpanan dengan kondisi terkontrol.

Kelima, kebutuhan metanol sebagai bahan baku produksi biodiesel masih sangat bergantung pada impor. Ketergantungan ini dapat menjadi risiko dalam keberlanjutan produksi B40, terutama jika terjadi fluktuasi harga atau gangguan pasokan global. Selain itu, infrastruktur distribusi biodiesel ke wilayah timur Indonesia juga masih terbatas, sehingga meningkatkan biaya logistik dan menimbulkan potensi keterlambatan distribusi [37,38].

Secara keseluruhan, meskipun B40 membawa keuntungan dari sisi pengurangan emisi CO₂ dan penurunan kandungan sulfur, tantangan teknis seperti kestabilan penyimpanan, penurunan nilai kalor, serta kendala distribusi harus segera diatasi melalui riset lanjutan, inovasi aditif, serta penguatan rantai pasok kimia pendukung [39].

Tabel 4.
Perbandingan Sifat Teknis Solar, B35, dan B40

Parameter Teknis	B0	B35	B40	Implikasi Teknis
Densitas @ 40°C (kg/m ³)	820–835	835–845	835–850	Beban pompa injeksi meningkat pada B40
Viskositas @ 40°C (cSt)	2.5–3.0	3.2–3.8	3.3–4.0	Risiko endapan & penyumbatan injektor

Nilai kalor (MJ/kg)	43–44	40–41	39–40	Efisiensi energi lebih rendah pada B40
Cetane number	48–52	52–54	52–55	Pembakaran lebih baik dengan B40
Cold Filter Plugging Point (°C)	-5 s/d -2	0 – (+2)	1 – 3	Risiko pembekuan lebih tinggi di daerah dingin
Stabilitas oksidasi (jam)	>20	8–10	7–9	Umur simpan B40 lebih singkat
Kandungan sulfur (ppm)	<500	<100	<100	Lebih ramah lingkungan
Kandungan oksigen (% berat)	<0.5	10–11	11–12	Menurunkan emisi CO, tetapi potensi kenaikan NOx

3.4 Estimasi Dampak Emisi

Implementasi program B40 di Indonesia diharapkan tidak hanya mengurangi ketergantungan pada impor BBM, tetapi juga menurunkan emisi gas rumah kaca [40,41]. Perbandingan estimasi emisi CO₂ antara solar murni, B35, dan B40 ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 5.
Estimasi Emisi CO₂ Solar, B35, dan B40

Jenis	Solar (%)	Biodiesel (%)	Rerata Emisi (kg CO ₂ /liter)	Reduksi Emisi vs B0 (%)
Solar (B0)	100	0	2.68	–
B35	65	35	2.33	~13%
B40	60	40	2.29	~15%

Berdasarkan Tabel 4, terlihat bahwa pencampuran biodiesel sebesar 40% mampu menurunkan faktor emisi rata-rata dari 2.68 kg CO₂/liter (solar murni) menjadi sekitar 2.29 kg CO₂/liter (B40). Penurunan ini setara dengan pengurangan emisi sekitar 15% dibanding penggunaan solar murni [42].

Jika asumsi konsumsi solar nasional mencapai 30 juta kiloliter per tahun (data Kementerian ESDM, 2023), maka implementasi B40 dapat memberikan potensi penurunan emisi CO₂ sekitar:

$$30 \text{ juta kL} \times (2.68 - 2.29) \text{ kg/L} = 11.7 \text{ juta ton CO}_2 \text{ /tahun [43,44,45]}$$

Besarnya penurunan emisi ini sejalan dengan komitmen Indonesia dalam *Nationally Determined Contribution* (NDC) untuk menurunkan emisi gas rumah kaca sebesar 31,89% dengan usaha sendiri dan 43,2% dengan bantuan internasional pada tahun 2030 [46].

Namun demikian, perlu diperhatikan bahwa manfaat reduksi emisi sangat bergantung pada praktik berkelanjutan dalam produksi Crude Palm Oil (CPO). Jika ekspansi lahan sawit tidak terkendali, potensi emisi dari perubahan tata guna lahan bisa mengurangi keuntungan lingkungan dari program B40. Oleh karena itu, implementasi B40 harus disertai dengan pengawasan ketat terhadap keberlanjutan produksi CPO serta diversifikasi bahan baku biodiesel dari minyak jelantah, mikroalga, dan biomassa non-pangan.

4. Simpulan

Implementasi program B40 di Indonesia memiliki potensi strategis dalam mendukung transisi energi berkelanjutan, mengurangi ketergantungan terhadap impor bahan bakar fosil, serta menekan emisi gas rumah kaca. Dari sisi ketersediaan bahan baku, produksi CPO nasional masih cukup untuk mendukung program ini, meskipun terdapat risiko persaingan dengan kebutuhan pangan dan ekspor.

Kapasitas industri biodiesel nasional yang mencapai lebih dari 17 juta kl per tahun pada dasarnya telah memadai untuk menopang kebutuhan B40, namun distribusi pabrik yang terkonsentrasi di Sumatra dan Kalimantan menimbulkan tantangan logistik untuk penyaluran ke wilayah Indonesia bagian timur. Tantangan teknis utama meliputi kualitas biodiesel (stabilitas oksidasi, sifat alir dingin, dan kandungan air), serta ketergantungan pada bahan tambahan seperti metanol yang sebagian besar masih impor.

Berdasarkan sisi lingkungan, implementasi B40 berpotensi menurunkan emisi CO₂ secara signifikan dibandingkan B35 maupun solar murni. Namun, efektivitas reduksi emisi sangat bergantung pada kualitas biodiesel yang dihasilkan dan efisiensi distribusi energi di tingkat nasional.

Secara keseluruhan, B40 adalah langkah maju dalam diversifikasi energi dan dekarbonisasi sektor transportasi. Namun, keberhasilan program ini membutuhkan dukungan kebijakan berkelanjutan, penguatan industri kimia pendukung, serta diversifikasi bahan baku seperti minyak jelantah dan mikroalga untuk mengurangi tekanan pada pasokan CPO.

Daftar Pustaka

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (ESDM). *Wujudkan Ketahanan Energi dan Kurangi Impor, Menteri ESDM: Mandatori B40 Berlaku 1 Januari 2025*. Jakarta:

- Kementerian ESDM; 2025. Tersedia secara online.
- [2] Kementerian ESDM RI. *Laporan Kinerja Kementerian ESDM Tahun 2022*. Jakarta: Kementerian ESDM; 2023.
- [3] *Indonesia, the World's Largest Palm Oil Producer in 2024/2025*. Databoks (agroindustry statistics); 24 Jun 2025.
- [4] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. *FAQ Program Mandatori Biodiesel di Indonesia*. Jakarta: Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan, dan Konservasi Energi (EBTKE); 2024.
- [5] Pemerintah Indonesia. *Nationally Determined Contribution (NDC) Update Submission*. Jakarta: Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK); 2021.
- [6] Industri News/Kontan. *Kementerian ESDM: Program B40 Tahun 2025 Butuh 14,2 Juta Ton CPO*. Kontan.co.id; 23 Feb 2025.
- [7] BPDPKS – Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit. *Diolah dari Kelapa Sawit, Manfaat Biodiesel Banyak Tak Disadari di Indonesia*; 2024. BPDP
- [8] Indonesia's biofuel bet risks backfiring. *East Asia Forum*; 2025. East Asia Forum
- [9] Wirawan SS, et al. *Biodiesel implementation in Indonesia: Experiences and challenges*. Energy Policy. 2024. ScienceDirect
- [10] Pradana YS. *A Review of Biodiesel Cold Flow Properties and Its Blends*. MDPI Energies. 2024. MDPI
- [11] SEA biodiesel industry looks to decarbonise: Correction. *Argus Media*; 2025. Argus Media
- [13] Indonesia's higher biodiesel mandate rollout may be gradual... *Reuters*; 2024. Reuters
- [14] Semester I 2021, Mandatori B30 Berikan Penghematan. *Kementerian ESDM RI*; 2021. Kementerian ESDM
- [15] Badan Pusat Statistik (BPS). *Statistik Kelapa Sawit Indonesia 2020–2024*. Jakarta: BPS; 2024.
- [16] Gabungan Pengusaha Kelapa Sawit Indonesia (GAPKI). *Refleksi Industri Sawit Indonesia 2024*. Jakarta: GAPKI; 2024.
- [17] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. *Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia 2024*. Jakarta: Kementerian ESDM; 2024.
- [18] Kementerian ESDM RI. *Mandatori Biodiesel B40 Berlaku Mulai 2025*. Jakarta: Kementerian ESDM; 2024.
- [19] Reuters. *Indonesia's higher biodiesel mandate will raise palm oil use*. Reuters; 2024.
- [20] World Bank. *Indonesia Palm Oil Development and Policy Challenges*. Washington DC: World Bank; 2022.
- [21] OECD-FAO. *Agricultural Outlook 2023–2032*. Paris: OECD Publishing; 2023.
- [22] International Energy Agency (IEA). *Biofuels for Transport: Tracking Clean Energy Progress*. Paris: IEA; 2023.
- [23] Antara News. *Need 20 mln kiloliters of CPO per year for B50, says govt*. Antara News; 23 Oct 2024. Antara News
- [24] VOI. *Capai Indonesia Palm Oil Factory Production Capacity 17.5 Million KL*. VOI.id; 31 Jan 2023. VOI
- [25] Kontan.co.id. *B40 Mulai 1 Januari 2025, Produksi Biodiesel Ditargetkan Capai 15,62 Juta KL*. Kontan; 2024. Industri Kontan
- [26] Center of Food, Energy and Sustainable Development (CFESD). *Monthly Update September 2025*. INDEF; 2025. Indef
- [27] Knothe G, Van Gerpen J, Krahl J. *The Biodiesel Handbook*. 2nd ed. Champaign (IL): AOCS Press; 2010.
- [28] ASTM International. *ASTM D6751–23: Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100)*. West Conshohocken (PA): ASTM; 2023.
- [29] Lapuerta M, Armas O, Rodríguez-Fernández J. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Prog Energy Combust Sci*. 2008;34(2):198–223.
- [30] Demirbas A. *Biodiesel: A realistic fuel alternative for diesel engines*. London: Springer; 2008.
- [31] Hoekman SK, Broch A, Robbins C, Ceniceros E, Natarajan M. Review of biodiesel composition, properties, and specifications. *Renew Sustain Energy Rev*. 2012;16(1):143–169.
- [32] Sarin A, Arora R, Singh NP, Sharma M, Malhotra RK. Influence of metal contaminants on oxidation stability of biodiesel. *Energy*. 2009;34(9):1271–1275.
- [33] Pradana YS, Muraza O. Cold flow properties of biodiesel: A review. *Energies*. 2023;16(5):2241.
- [34] European Committee for Standardization. *EN 14214: Automotive fuels – Fatty acid methyl esters (FAME)*. Brussels: CEN; 2022.
- [35] Kompas.com. *Indonesia Masih Bergantung Impor Metanol untuk Biodiesel*. Jakarta; 2024.
- [36] Reuters. *Indonesia's biodiesel rollout faces logistical hurdles*. Reuters; 2024.

- [37] U.S. Environmental Protection Agency (EPA). *A Comprehensive Analysis of Biodiesel Impacts on Exhaust Emissions*. Washington DC: EPA; 2002.
- [38] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. *Mandatori Biodiesel dan Dampaknya terhadap Ketahanan Energi Nasional*. Jakarta: Kementerian ESDM; 2023.
- [39] International Energy Agency. *Renewables 2023: Biofuel and Emissions Outlook*. Paris: IEA; 2023.
- [40] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories: Volume 2 – Energy*. Hayama: IPCC; 2006.
- [41] U.S. Environmental Protection Agency. *Lifecycle Greenhouse Gas Emissions from Biodiesel*. Washington DC: EPA; 2018.
- [42] Hoekman SK, Robbins C. Review of the effects of biodiesel on NO_x emissions. *Renew Sustain Energy Rev.* 2012;16(1):143–169.
- [43] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. *Laporan Inventarisasi Gas Rumah Kaca Sektor Energi*. Jakarta: KLHK; 2021.