

Studi Perbandingan Kinerja PLTD Gunung Belah pada Penggunaan Biodiesel B35 dan B40: Tinjauan Teknis dan Dampaknya terhadap Keandalan Operasional

Bobby Galang Samudra^{1*}, M Raafi Aqil Firdaus¹, Rudy Laksmono¹, Sri Yanto¹

¹Program Studi Ketahanan Energi, Fakultas Manajemen Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Kawasan Indonesia Peace and Security Center (IPSC) Sentul Bogor 16810

Penulis untuk Korespondensi/E-mail: bobby.samudra@mp.idu.ac.id

Abstract – In response to rising global energy uncertainty and geopolitical fragmentation, Indonesia has accelerated its energy transition through the development of high-percentage biodiesel blends. This study analyzes diesel engine performance using B35 (2024) and B40 (2025) blends to assess their technical feasibility and impact on national energy resilience. Using a quantitative experimental method, daily energy production data from three diesel generator (PLTD) units were collected over four months under real operating conditions. The 2024 results show that B35 produced a consistent increase in monthly output, peaking at more than 1,025 MWh in April, indicating good combustion efficiency and operational stability. In contrast, 2025 data show that B40 exhibited more fluctuating performance, with peak output in March but a decline in April due to system load prioritization. Nevertheless, B40 demonstrated potential for better thermal efficiency and specific fuel consumption (SFC) if load management is optimized. These findings highlight the need for adaptive system management and infrastructure readiness to support the integration of high-percentage biodiesel, thereby strengthening Indonesia's energy transition and national energy independence.

Abstrak - Sebagai respons atas meningkatnya ketidakpastian energi global dan fragmentasi geopolitik, Indonesia mempercepat transisi energinya melalui pengembangan campuran biodiesel berpersentase tinggi. Penelitian ini menganalisis kinerja mesin diesel menggunakan campuran B35 (2024) dan B40 (2025) untuk menilai kelayakan teknis dan dampaknya terhadap ketahanan energi nasional. Dengan metode eksperimen kuantitatif, dikumpulkan data produksi energi harian dari tiga unit generator diesel (PLTD) selama empat bulan dalam kondisi operasi nyata. Hasil tahun 2024 menunjukkan B35 menghasilkan peningkatan output bulanan yang konsisten, mencapai puncak lebih dari 1.025 MWh pada April, menunjukkan efisiensi pembakaran dan stabilitas operasi yang baik. Sebaliknya, data tahun 2025 menunjukkan B40 memiliki performa lebih fluktuatif, dengan puncak produksi pada Maret tetapi menurun pada April akibat prioritas beban sistem. Meskipun demikian, B40 menunjukkan potensi efisiensi termal dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang lebih baik jika pengelolaan beban dilakukan optimal. Temuan ini menegaskan perlunya manajemen sistem adaptif dan kesiapan infrastruktur untuk mendukung integrasi biodiesel berpersentase tinggi, guna memperkuat transisi energi dan kemandirian energi nasional.

Keywords - Biodiesel B40; Diesel Engine Performance; Energy Security; SFC; Renewable Transition.

PENDAHULUAN

Krisis energi global yang terus memburuk, diperparah oleh ketegangan geopolitik dan terfragmentasinya kerja sama internasional, semakin menegaskan urgensi bagi Indonesia untuk

memperkuat ketahanan energinya[1]. Dalam konteks tersebut, aspek kinerja dan keberlanjutan mesin diesel yang secara luas digunakan pada sektor transportasi, pertanian, dan pertahanan menjadi fokus strategis yang krusial [2]. Penelitian ini menyajikan analisis komparatif terhadap kinerja

mesin diesel berbahan bakar solar konvensional dan campuran biodiesel B40, yang sejalan dengan arah tematik Jakarta Geopolitical Forum (JGF) dalam upaya mewujudkan otonomi energi strategis di tengah ketidakpastian geopolitik[3].

Literatur mutakhir menunjukkan semakin banyak kajian yang menelaah campuran biodiesel sebagai solusi energi transisi untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil sekaligus merespons isu lingkungan [4]. Misalnya, penelitian oleh [4] serta [5] mengeksplorasi kinerja termodinamika dan karakteristik emisi dari berbagai campuran biodiesel seperti B30 dan B40 dalam konteks Indonesia[5]. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa biodiesel berpotensi menurunkan emisi karbon dan meningkatkan pelumasan mesin, meskipun masih terdapat tantangan berupa penurunan efisiensi dan kestabilan penyimpanan[6]. Namun demikian, masih terdapat kekosongan kajian yang secara sistematis membandingkan parameter kinerja mesin seperti efisiensi termal rem[7], konsumsi bahan bakar spesifik[8], serta temperatur gas buang antara solar konvensional dan B40 dalam kondisi pengujian terstandar[9].

Selain itu, masih berlangsung perdebatan akademik mengenai pertukaran kepentingan antara ketahanan energi, ketahanan pangan akibat alih fungsi lahan untuk kelapa sawit), dan kelayakan ekonomi dari implementasi B40 skala besar[10]. Ketidak konsistensi ini memperkuat urgensi perlunya kajian empiris yang lebih terfokus[11]. Penelitian ini berupaya menutup kesenjangan tersebut dengan mengevaluasi implikasi teknis dan strategis dari penggunaan biodiesel B40, khususnya dalam konteks komitmen Indonesia untuk mencapai target Net Zero Emission pada tahun 2060 serta mengurangi ketergantungan pada impor bahan bakar fosil[12].

Tujuan utama penelitian ini adalah menilai kinerja operasional mesin diesel secara komparatif saat menggunakan bahan bakar solar konvensional dan biodiesel B40. Selain itu, hasil penelitian ini juga dikontekstualisasikan dengan kebijakan energi nasional dan strategi ketahanan energi Indonesia di tengah situasi geopolitik global yang terfragmentasi. Unit analisis yang digunakan berupa pengujian kinerja mesin diesel satu silinder dalam kondisi terkontrol, dengan parameter kinerja yang diukur mengacu pada standar nasional maupun internasional[13].

METODE

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif untuk mengevaluasi kinerja mesin diesel dengan dua jenis bahan bakar, yaitu solar konvensional dan biodiesel B40. Pengujian kinerja dilakukan melalui pengoperasian terkontrol pada unit generator diesel (PLTD) selama periode empat bulan, mulai Januari hingga April 2025, dengan digenerator yang sama saat digunakan.

Pengambilan data dilakukan dengan memantau produksi energi harian dalam satuan kilowatt-hour (kWh) dari tiga unit generator, yaitu MAK 1 dengan tipe 8M 453AK, MAK 2 dengan tipe 453B, dan MAK 3 dengan tipe 463B, yang dioperasikan sesuai dengan permintaan unit pengatur beban. Konfigurasi pengujian yang sama sebelumnya telah diterapkan pada tahun 2024 menggunakan biodiesel B35, sehingga memungkinkan perbandingan langsung antar variasi campuran bahan bakar.

Data kinerja mesin kemudian dicatat dan dianalisis untuk mengidentifikasi variasi tren produksi energi, responsivitas mesin, serta potensi ketidakstabilan operasional. Pendekatan ini mendukung tujuan penelitian untuk menghasilkan temuan empiris mengenai pengaruh penggunaan biodiesel B40 terhadap keandalan operasional mesin diesel dan kontribusinya terhadap strategi ketahanan energi Indonesia di tengah ketidakpastian geopolitik global.

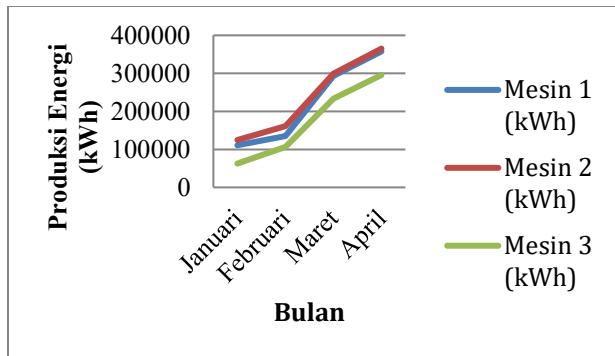
HASIL DAN PEMBAHASAN

Produksi Energi Generator (Pembacaan kWh) Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) Dengan B35 Pada Tahun 2024

Pemantauan kinerja ini dilakukan untuk menilai perilaku operasional mesin PLTD saat menggunakan bahan bakar biodiesel B35, yaitu campuran 35% biodiesel dan 65% solar fosil. Pengujian berlangsung selama periode Januari hingga April 2024, dengan pencatatan data produksi listrik harian dari setiap unit mesin.

Selama empat bulan pengamatan, ketiga unit mesin MAK 1, MAK 2, dan MAK 3 menunjukkan peningkatan *output* energi yang stabil dan signifikan. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa bahan bakar B35 tidak hanya mampu mendukung keandalan operasi mesin, tetapi juga berpotensi meningkatkan performa secara bertahap. Temuan ini

memberikan indikasi positif atas kompatibilitas B35 terhadap sistem mesin diesel dalam aplikasi pembangkit listrik.



Gambar 1. Produksi Energi Generator (kWh) PLTD dengan B35 Pada Tahun 2024

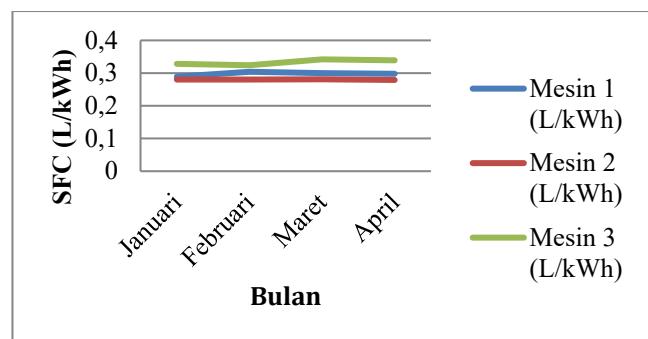
Tabel 1. Produksi Energi Generator (kWh) PLTD dengan B35 Pada Tahun 2024

Bulan	Mesin 1 (kWh)	Mesin 2 (kWh)	Mesin 3 (kWh)
Januari	110,890	124,670	62,630
Februari	134,710	160,850	106,230
Maret	293,010	299,400	233,750
April	357,750	365,110	295,540

Berdasarkan tabel 1 dan gambar 1 “Produksi Energi Generator (kWh) PLTD dengan B35 Tahun 2024”, terlihat bahwa produksi energi dari ketiga mesin mengalami peningkatan signifikan setiap bulannya. Mesin 2 menunjukkan kinerja paling tinggi dibandingkan mesin lainnya, dengan produksi mencapai 365.110 kWh pada bulan April. Mesin 1 memiliki tren yang hampir sejajar dengan Mesin 2, meskipun sedikit lebih rendah. Sementara itu, Mesin 3 juga mengalami peningkatan konsisten, namun dengan nilai produksi yang lebih kecil dibanding dua mesin lainnya. Secara keseluruhan, ketiga mesin menunjukkan efisiensi dan performa yang semakin baik sepanjang periode pengamatan.

Tabel 2. Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) PLTD dengan B35 Pada Tahun 2024

Bulan	Mesin 1 (L/kWh)	Mesin 2 (L/kWh)	Mesin 3 (L/kWh)
Januari	0,289	0,28	0,328
Februari	0,304	0,28	0,324
Maret	0,3	0,281	0,342
April	0,298	0,279	0,339



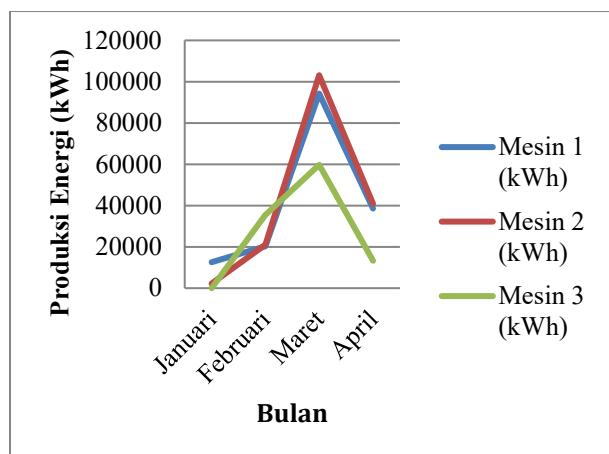
Gambar 2. Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) PLTD dengan B35 Pada Tahun 2024

Berdasarkan tabel 2 dan gambar 2 efisiensi konsumsi bahan bakar spesifik (Specific Fuel Consumption/SFC) PLTD dengan B35 tahun 2024, terlihat bahwa nilai SFC dari ketiga mesin relatif stabil dari bulan Januari hingga April, dengan variasi yang kecil. Mesin 1 memiliki SFC antara 0,289–0,304 L/kWh, menunjukkan sedikit peningkatan pada Februari dan kemudian menurun kembali hingga April. Mesin 2 memiliki performa paling stabil dengan SFC sekitar 0,279–0,281 L/kWh, menandakan efisiensi tertinggi di antara ketiga mesin. Sementara itu, Mesin 3 memiliki nilai SFC tertinggi, yaitu antara 0,324–0,342 L/kWh, dengan peningkatan pada bulan Maret sebelum sedikit menurun di April. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa Mesin 2 paling efisien dalam penggunaan bahan bakar B35, sedangkan Mesin 3 paling boros, meskipun fluktuasi efisiensi antar bulan masih dalam rentang yang wajar.

Produksi Energi Generator (kWh) Pembangkit Listrik Diesel (PLTD) Dengan B40 Pada Tahun 2025

Pada tahun 2025, pengujian penggunaan biodiesel B40 dilakukan pada tiga unit generator diesel, yaitu MAK 2, MAK 3, dan MAK 4 selama periode Januari hingga April. Data menunjukkan bahwa MAK 2 secara konsisten menghasilkan output energi tertinggi, khususnya pada bulan Maret dan April yang masing-masing mencapai lebih dari 252 juta dan 278 juta kWh terlihat pada gambar 3.

MAK 4 juga memberikan kontribusi besar pada Januari dengan produksi lebih dari 256 juta kWh, namun mengalami penurunan tajam pada bulan-bulan berikutnya. Sementara itu, MAK 3 menunjukkan aktivitas yang sangat rendah, hampir tidak berproduksi sepanjang periode pengujian, kecuali sedikit output yang tercatat pada April.



Gambar 3. Produksi Energi Generator (kWh) PLTD dengan B40 Pada Tahun 2025

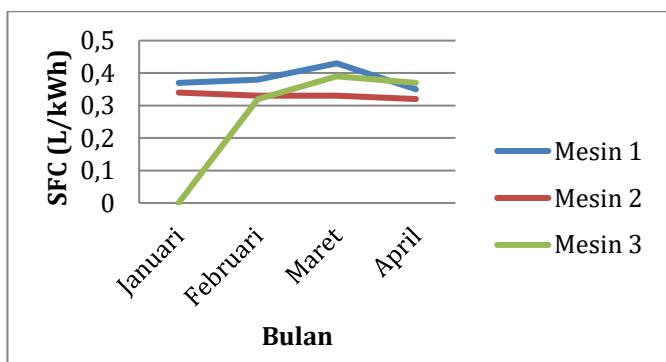
MAK 2 juga memberikan kontribusi besar pada Januari dengan produksi lebih dari 256 juta kWh, namun mengalami penurunan tajam pada bulan-bulan berikutnya. Sementara itu, MAK 3 menunjukkan aktivitas yang sangat rendah, hampir tidak berproduksi sepanjang periode pengujian, kecuali sedikit output yang tercatat pada April terlihat pada gambar 3.

Tabel 3. Produksi Energi Generator (kWh) PLTD dengan B40 Pada Tahun 2025

Bulan	Mesin 1 (kWh)	Mesin 2 (kWh)	Mesin 3 (kWh)
Januari	12580	2220	0
Februari	20290	21040	35460
Maret	94220	103120	59740
April	38610	40870	13230

Berdasarkan tabel 3 dan gambar 3 produksi energi generator PLTD dengan bahan bakar campuran B40 tahun 2025, terlihat adanya peningkatan signifikan produksi energi dari Januari hingga Maret, kemudian menurun pada bulan April. Mesin 1 menghasilkan energi antara 12.580–94.220 kWh, dengan puncak produksi pada bulan Maret. Mesin 2 menunjukkan kinerja tertinggi di antara ketiga mesin dengan kisaran 2.220–103.120 kWh, juga mencapai puncak pada bulan Maret, menandakan efisiensi operasional yang baik saat beban puncak. Sementara itu, Mesin 3 memiliki pola yang berbeda: meningkat dari 0 kWh di Januari hingga 59.740 kWh di Maret, lalu turun tajam menjadi 13.230 kWh di April. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa produksi energi PLTD meningkat signifikan pada kuartal pertama tahun 2025, dengan Mesin 2 sebagai kontributor utama, sedangkan penurunan di April

kemungkinan disebabkan oleh penurunan beban sistem atau adanya kegiatan perawatan mesin.



Gambar 4. Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) PLTD dengan B40 Pada Tahun 2025

Tabel 4. Efisiensi Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) PLTD dengan B40 Pada Tahun 2025

Bulan	Mesin 1 (L/kWh)	Mesin 2 (L/kWh)	Mesin 3 (L/kWh)
Januari	0,353	0,287	0,1
Februari	0,360	0,287	0,325
Maret	0,423	0,283	0,345
April	0,303	0,280	0,410

Berdasarkan table 4 dan gambar 4 efisiensi konsumsi bahan bakar spesifik (Specific Fuel Consumption/SFC) PLTD dengan campuran biodiesel B40 tahun 2025, terlihat bahwa setiap mesin menunjukkan pola fluktuatif sepanjang periode Januari hingga April. Mesin 1 memiliki nilai SFC antara 0,303–0,423 L/kWh, dengan peningkatan hingga puncaknya di bulan Maret dan penurunan tajam di April, menandakan adanya perbaikan efisiensi di akhir periode. Mesin 2 menunjukkan performa paling stabil dengan nilai SFC sekitar 0,280–0,287 L/kWh, menjadikannya mesin paling efisien dalam penggunaan bahan bakar. Sementara itu, Mesin 3 mengalami peningkatan signifikan dari 0,1 L/kWh di Januari hingga 0,410 L/kWh di April, menunjukkan adanya penurunan efisiensi yang cukup besar pada akhir periode. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa penggunaan B40 masih menunjukkan variasi efisiensi antar mesin, dengan Mesin 2 paling efisien dan Mesin 3 paling tidak efisien pada bulan-bulan akhir.

Dari sisi konsumsi bahan bakar spesifik (SFC), efisiensi konversi energi menunjukkan perbaikan bertahap. Januari mencatat SFC tinggi akibat operasi tidak rutin dan beban rendah. Pada Februari, SFC mulai stabil, dan mencapai efisiensi terbaik pada

Maret saat beban tinggi dan stabil. Meskipun produksi menurun di April, tren keseluruhan menunjukkan bahwa B40 mampu dioptimalkan melalui perencanaan beban, pengaturan injeksi bahan bakar, dan manajemen operasi yang tepat.

Diskusi Komparatif Kinerja PLTD Menggunakan B35 DAN B40

Hasil pengujian menunjukkan perbedaan karakteristik kinerja antara penggunaan biodiesel B35 (2024) dan B40 (2025) pada PLTD. Pada periode penggunaan B35, produksi energi bulanan cenderung meningkat secara konsisten pada seluruh unit mesin. Pola ini mengindikasikan kestabilan pembakaran dan kompatibilitas bahan bakar terhadap sistem mesin diesel eksisting. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa campuran biodiesel hingga B35 tidak menimbulkan gangguan signifikan terhadap performa mesin diesel stasioner serta mampu menjaga keandalan operasi jangka menengah.

Sebaliknya, pada penggunaan B40 terlihat fluktuasi produksi energi yang lebih tinggi, khususnya pada akhir periode pengamatan. Kondisi ini tidak semata-mata mencerminkan penurunan kualitas bahan bakar, melainkan dipengaruhi oleh faktor operasional seperti prioritas beban dan strategi pengoperasian unit. Beberapa studi terdahulu melaporkan bahwa peningkatan fraksi biodiesel di atas B30 memerlukan penyesuaian manajemen beban dan sistem injeksi agar performa mesin tetap optimal [14].

Dari sisi konsumsi bahan bakar spesifik (SFC), B35 menunjukkan nilai yang relatif stabil pada seluruh unit mesin, sedangkan B40 memperlihatkan variasi yang lebih besar antar mesin dan waktu operasi. Meskipun demikian, pada kondisi beban optimal, B40 menunjukkan potensi efisiensi termal yang lebih baik dibandingkan B35. Hasil ini sejalan dengan temuan penelitian lain yang menyatakan bahwa biodiesel dengan fraksi tinggi dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, namun sensitif terhadap variasi kondisi operasi [15].

Jika dibandingkan dengan studi pada lokasi lain, pola kinerja B35 dan B40 dalam penelitian ini menunjukkan kecenderungan yang serupa, khususnya terkait stabilitas operasi dan fluktuasi efisiensi pada campuran biodiesel tinggi. Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa implementasi B40 pada PLTD di Indonesia secara teknis memungkinkan, selama didukung oleh

kesiapan infrastruktur dan pengelolaan operasi yang adaptif.

Secara strategis, perbandingan kinerja B35 dan B40 menunjukkan bahwa transisi menuju campuran biodiesel yang lebih tinggi tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga manajerial dan kebijakan. B35 lebih unggul dari sisi kestabilan operasional, sementara B40 menawarkan peluang peningkatan efisiensi dan pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil impor. Oleh karena itu, implementasi B40 berpotensi memperkuat ketahanan energi nasional apabila disertai dengan strategi operasi yang tepat dan berkelanjutan.

KESIMPULAN

Hasil analisis menunjukkan bahwa kedua jenis campuran biodiesel layak digunakan secara teknis pada mesin diesel. B35 terbukti mampu memberikan kestabilan operasi dan kontinuitas produksi energi, sehingga relevan untuk aplikasi pada sistem pembangkit terdesentralisasi di wilayah terpencil. Sementara itu, B40 menunjukkan kemampuan adaptasi teknis yang baik dan berpotensi memberikan efisiensi termal yang lebih tinggi, tercermin dari nilai konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang lebih rendah rata-rata 0,278 liter/kWh dibandingkan 0,303 liter/kWh pada B35. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan kadar biodiesel hingga 40% dapat meningkatkan efisiensi konversi energi jika didukung pengelolaan operasi yang tepat. Dengan demikian, secara teknis B40 tidak hanya memenuhi standar kinerja mesin diesel, tetapi juga mampu melampaui B35 dalam hal efisiensi pemanfaatan bahan bakar.

Saran: Untuk mendukung penerapan B40 secara berkelanjutan, diperlukan penjadwalan beban yang lebih adaptif, peningkatan kesiapan infrastruktur pembangkit, serta penerapan sistem pemantauan kinerja secara real-time. Langkah ini penting guna memastikan implementasi B40 dapat memperkuat ketahanan energi nasional sekaligus mendorong pencapaian target dekarbonisasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Pada bagian ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan kepada PT PLN Nusantara Power UP Kaltimra yang telah membantu mendapatkan data pengujian.

REFERENSI

- [1] S. R. Fandi and A. Latif, "Analisis Permasalahan Pertumbuhan Ekonomi di Negara Indonesia," *Jurnal Ilmiah Global Education*, vol. 5, no. 1, pp. 740–749, Mar. 2024, doi: 10.55681/jige.v5i1.2505.
- [2] U. Azmi et al., "A Holistic Overview: Indonesia's Geothermal Energy Encourages Geothermal Power Plant Investment In Support Of National Defense Tinjauan Holistik: Energi Panas Bumi Indonesia Mendorong Investasi Pembangkit Listrik Panas Bumi Untuk Mendukung Pertahanan Nasional," *Jurnal Pertahanan Bela Negara*, Vol 14, No 2, 2024, doi <https://doi.org/10.33172/jpbh.v14i2.19624>.
- [3] C.-H. Wang, "Energy transition to palm oil-based biofuel in Indonesia Internalization of Global Production Network and the impact on different actors," Norwegian University of Science and Technology, Norwegian, 2022.
- [4] D. N. Palupi, S. Sundari, M. I. Syahtaria, and L. Sianipar, "Analisis Dampak Lingkungan dan Keekonomian Pembangkit Listrik Tenaga Cofiring Biomassa dan Baru bara sebagai Upaya Bauran Energi Terbarukan," *Jurnal Kajian Ekonomi Islam*, vol. 5, no. 3, pp. 1627–1635, 2024, doi <https://doi.org/10.47467/elmal.v5i3.781>.
- [5] S. Yana, M. Nizar, Irhamni, and D. Mulyati, "Biomass waste as a renewable energy in developing bio-based economies in Indonesia: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, May 01, 2022, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.rser.2022.112268.
- [6] R. Y. & N. D. Putung, "Analisis Efisiensi Penggunaan Energi Listrik Dengan Audit Energi Shalahuddin Miqrud," *Journal of Electrical Engineering, Energy, And Information Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 1–7, 2021.
- [7] N. A. Pambudi et al., "Renewable Energy in Indonesia: Current Status, Potential, and Future Development," Feb. 01, 2023, MDPI. doi: 10.3390/su15032342.
- [8] K. Oktaviani et al., Biodiesel, Jejak Panjang Sebuah Perjuangan. 21AD. [Online]. Available: www.litbang.esdm.go.id
- [9] R. Radhika, D. Prakash, and D. Ranganathan, "International Journal of Sciences and Innovation Engineering Optimization of Biodiesel Production from Honge Oil Seeds," *International Journal of Sciences and Innovation Engineering*, vol. 2, no. 5, pp. 1124–1127, 2025, doi: 10.70849/ijsci.
- [10] Kinia Eldwita, Vivi Octavia, and Rusdianasari, "Production of Biodiesel from Sunflower Oil using Base Catalysts," *AJARCDE (Asian Journal of Applied Research for Community Development and Empowerment)*, vol. 9, no. 1, pp. 285–294, Apr. 2025, doi: 10.29165/ajarcde.v9i1.643.
- [11] N. Salsabila, "Analisis Perkembangan Penanggulangan Pencemaran Udara Yang Disebabkan Oleh Bahan Bakar Fosil," *Jurnal Pendidikan, Sains dan Teknologi*, vol. 2, no. 4, pp. 1010–1014, 2023. Doi <https://doi.org/10.47233/jpst.v2i4.1331>.
- [12] A. A. Matarru, "Analisa Performa Efisiensi Mesin Diesel Dengan Eksperimen Variasi Pembebatan Daya Di PT PLN UPLTD MG Nunukan," *Jurnal ELEMENTER*, vol. 8, no. 2, pp. 154–161, Nov. 2022.
- [13] H. B. Nguyen, V. T. A. Nguyen, V. D. Ly, and T. A. Bui, "Biodiesel Produced from Pangasius Oil Operating a Diesel Engine: Case Study in Vietnam," *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 12, no. 2, pp. 477–482, 2022, doi: 10.18517/ijaseit.12.2.16159.
- [14] M. He, H. Forootan Fard, K. Yahya, M. Mohamed, I. Alhamrouni, and L. J. Awalin, "Optimal Design of Hybrid Renewable Systems, Including Grid, PV, Bio Generator, Diesel Generator, and Battery," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 4, Feb. 2023, doi: 10.3390/su15043297.
- [15] Z. Mayandi and Suharjito, "Palm oil-based biodiesel industry sustainability model using dynamic systems to balance food, energy, and export allocations," *Smart Agricultural Technology*, vol. 7, Mar. 2024, doi: 10.1016/j.atech.2024.100421.