

ANALISIS PERBANDINGAN BAHAN BAKAR BIODIESEL (HVO dan FAME) SERTA SOLAR TERHADAP PERFORMANSI GENERATOR SET CUMMINS MODEL N150G4 DENGAN VARIASI PEMBEBANAN LISTRIK

*Sultan Rasyiq Zakyzuhair¹, Berkah Fajar Tamtono Kiono², Muchammad²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

*E-mail: sultanrasyiq68@gmail.com

Abstrak

Indonesia sebagai negara yang jumlah penduduknya tinggi serta pertumbuhan penduduknya yang pesat dari tahun ke tahun meningkatkan kebutuhan energi nasional. Selain itu perubahan iklim yang terjadi karena masifnya penggunaan bahan bakar fosil juga mendorong Indonesia untuk mencari alternatif sumber energi. Indonesia yang merupakan produsen minyak sawit terbesar di dunia, menyumbang sekitar 58% dari total produksi minyak sawit global. Minyak sawit ini memiliki potensi besar sebagai bahan baku untuk produksi Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) dan juga Fatty Acid Methyl Ester (FAME). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bahan bakar yang paling optimal diantara bahan bakar biodiesel HVO dan FAME serta bahan bakar solar menggunakan genset yang diberikan variasi pembebanan listrik. Hasilnya bahan bakar D50 (HVO + Solar) adalah bahan bakar dengan performansi terhadap genset yang paling optimal dikarenakan bahan bakar D50 mempunyai karakteristik bahan bakar yang paling baik diantara semua bahan bakar.

Kata kunci: fame; generator set; hvo; solar murni

Abstract

Indonesia, as a country with a large population and rapid population growth from year to year, increases national energy needs. In addition, climate change caused by the massive use of fossil fuels also encourages Indonesia to seek alternative energy sources. Indonesia, which is the largest palm oil producer in the world, contributes approximately 58% of total global palm oil production. This palm oil has great potential as a raw material for the production of Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and also Fatty Acid Methyl Ester (FAME). This study aims to determine the most optimal fuel between HVO and FAME biodiesel fuels and diesel fuel using a generator set given a variety of electrical loads. The results showed that D50 fuel (HVO + Diesel) is the fuel with the most optimal performance for generator sets because D50 fuel has the best fuel characteristics among all fuels.

Keywords: fame; genartor set; hvo; solar

1. Pendahuluan

Indonesia sebagai negara yang jumlah penduduknya tinggi serta pertumbuhan penduduknya yang pesat dari tahun ke tahun meningkatkan kebutuhan energi nasional. Di Indonesia konsumsi energi di berbagai sektor seperti transportasi, industri, dan rumah tangga terus meningkat. Sebaliknya, cadangan energi Indonesia yang semakin menipis menimbulkan kekhawatiran akan krisis energi apabila tidak dicari dan ditemukan sumber energi baru (Mustofa, Aulia, & Syafitra, 2022).

Selain itu perubahan iklim yang terjadi karena masifnya penggunaan bahan bakar fosil juga mendorong Indonesia untuk mencari alternatif sumber energi. Indonesia menyumbang 35% dari total emisi gas rumah kaca (GRK) di seluruh dunia. Dalam kegiatan United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC), Indonesia melalui Nationally Determined Contribution (NDC) berjanji untuk menurunkan emisinya sebesar 29% dengan menggunakan energi baru terbarukan (EBT) pada tahun 2030.

Untuk mewujudkan komitmen NDC, pemerintah Indonesia mencanangkan program pengalihan energi dari energi berbasis bahan bakar fosil ke energi berbasis bahan bakar nabati atau biofuel. Beberapa peraturan yang mendukung program ini antara lain Peraturan Presiden (Perpres) RI Nomor 5 Tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional yang menargetkan terwujudnya bauran energi yang optimal pada tahun 2025. Dalam bauran energi ini, peranan biofuel terhadap konsumsi energi nasional diharapkan lebih besar dari 5%. Perpres tersebut, kemudian diikuti dengan Instruksi Presiden RI Nomor 1 Tahun 2006 tentang Penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (Biofuel) (Kussuryani & Rimbasa, 2010).

Indonesia yang merupakan produsen minyak sawit terbesar di dunia, menyumbang sekitar 58% dari total produksi minyak sawit global (Sulaiman, 2024). Minyak sawit ini memiliki potensi besar sebagai bahan baku untuk produksi Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) dan juga Fatty Acid Methyl Ester (FAME). Hydrotreated Vegetable Oil

(HVO) merupakan Renewable diesel yang diproduksi melalui proses katalitik dengan hidrogen bertekanan tinggi untuk menghilangkan oksigen (deoksigenasi) dan heteroatom lainnya (nitrogen, sulfur, dan klorin) sehingga menghasilkan senyawa campuran alkana (Adhim, 2023). Sedangkan FAME merupakan jenis bahan bakar alternative yang dihasilkan melalui proses ester asam lemak yang diturunkan dengan transesterifikasi lemak dengan metanol (Riwu, 2021)).

PT PLN (Perusahaan Listrik Negara) dan PT Pertamina (Persero) telah melakukan berbagai penelitian dan pengembangan dalam upaya untuk memproduksi dan mengembangkan bahan bakar biofuel/biodiesel seperti FAME dan yang terbaru adalah Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) sebagai alternatif bahan bakar yang lebih ramah lingkungan. Secara keseluruhan, Pertamina telah melakukan beberapa penelitian dan pengembangan terkait FAME dan HVO, terutama melalui proyek Green Refinery dan kemitraan strategis. Sementara itu, PLN berperan dalam mendukung inisiatif tersebut melalui kolaborasi dengan Pertamina. Dalam penelitian tugas akhir bersama PT PLN dan PT Pertamina mengenai bahan bakar biofuel/biodiesel FAME dan HVO akan dianalisis perbandingan bahan bakar biodiesel murni (HVO, FAME), biodiesel campuran (FAME+HVO) dan solar murni terhadap performansi pada generator set (genset) dengan variasi pembebanan oleh load bank yang kemudian akan dianalisis melalui grafik data kebisingan / noise, konsumsi bahan bakar spesifik menggunakan load cell, emisi gas buang, heat rate, efisiensi total, oil pressure, temperature air pendingin.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Bahan Bakar Minyak (BBM)

BBM (Bahan Bakar Minyak) merupakan salah satu komoditas dari sumber daya alam minyak dan gas bumi yang berasal dan atau diolah dari minyak bumi. Minyak bumi adalah hasil proses alami berupa hidrokarbon yang dalam kondisi tekanan dan temperatur berupa fasa cair atau padat (PPSDM MIGAS, 2021). BBM diperoleh melalui pengolahan minyak mentah yang menghasilkan berbagai fraksi dengan karakteristik dan kegunaan berbeda (Nasution, 2022).

Biodiesel adalah bahan bakar alternatif yang diformulasikan khusus untuk mesin diesel yang terbuat dari minyak nabati (bio-oil) (Wibawa, Kusuma, & Budiarsa, 2015). Biodiesel tersusun dari berbagai macam ester asam lemak yang dapat diproduksi dari minyak-minyak tumbuhan seperti minyak sawit (palm oil), minyak kelapa, minyak jarak pagar dan lain-lain.

Fatty Acid Methyl Ester (FAME) merupakan jenis bahan bakar alternative yang dihasilkan melalui proses ester asam lemak yang diturunkan dengan transesterifikasi lemak dengan *methanol*. *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) diproduksi dengan cara proses transesterifikasi melibatkan reaksi antara trigliserida dan metanol dengan bantuan katalis (basa atau asam) untuk menghasilkan FAME dan gliserol. Pemilihan katalis dan kondisi reaksi sangat mempengaruhi efisiensi dan hasil produksi FAME (Hanif, Rashid, Hanif, & Akhtar, 2021).

Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) adalah bahan bakar bio generasi kedua karena merupakan produk dari hidrotreatment trigliserida yang berasal dari minyak nabati nonkomestibel, lemak hewani, dan minyak bekas memasak. Karena diproduksi dari sumber terbarukan, HVO dapat memberikan pengurangan yang signifikan dalam emisi CO₂ jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel konvensional yang berasal dari sumber fosil (Millo, et al., 2024).

2.2 Generator Set

Generator set (genset) merupakan sebuah perangkat yang berfungsi menghasilkan daya listrik (Tambunan, Gantina, & Manunggal, 2023). Umumnya, genset terdiri dari dua komponen utama, yaitu mesin penggerak (biasanya mesin diesel atau bensin) dan generator (alternator). Mesin penggerak akan membakar bahan bakar untuk menghasilkan energi mekanik, yang kemudian diubah menjadi energi listrik oleh alternator.

2.3 Load Bank

Secara pengertian, *load bank* adalah perangkat yang digunakan untuk mengembangkan beban listrik dan melakukan test load pada genset yaitu terhadap pengetesan kemampuan transformator dan juga baterai (Huda, 2018).

2.4 Kebisingan

Kebisingan adalah suara yang tidak dikehendaki oleh pendengaran manusia, kebisingan adalah suara yang mempunyai multi frekuensi dan multi amplitudo dan biasanya terjadi pada frekuensi tinggi (Sianturi, 2023).

2.5 Emisi Gas Buang

Emisi gas buang adalah hasil sisa pembakaran bahan bakar dalam mesin pembakaran dalam (internal combustion engine) yang dikeluarkan melalui sistem pembuangan kendaraan.

2.6 Daya Nyata

Daya nyata atau daya listrik merupakan daya listrik yang digunakan secara langsung oleh beban/peralatan listrik untuk dikonversikan menjadi energi lain sesuai kebutuhan seperti energi panas dan energi cahaya (Londong, Tachrir, Djohar, Bunyamin, & Zulkaidah, 2022).

2.7 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar adalah jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin untuk menghasilkan tenaga mekanik sesuai dengan kebutuhan mesin (Purnama, Arif, Alwi, & Sugiarto, 2023). Load cell adalah suatu alat transducer yang menghasilkan output yang proporsional dengan beban atau gaya yang diberikan (Setiawan & Rijanto, 2019).

2.8 Heat Rate

Heat rate adalah besarnya energi kalor dari bahan bakar (kJ atau kkal) yang dibutuhkan untuk membangkitkan satu kWh listrik (Isfandi, 2015).

2.9 Efisiensi Total

Efisiensi dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara daya keluaran (output) terhadap daya masukan (input) dalam suatu proses (Wijaya, Nugroho, & Nugroho, 2022).

2.10 Oil Pressure

Tekanan oli atau oil pressure pada genset merujuk pada tekanan yang diperlukan untuk melumasi dan mendinginkan komponen mesin genset.

2.11 Temperatur Air Pendinginan

Temperatur air pendingin pada genset merupakan ukuran suhu cairan (umumnya campuran air dan pendingin) yang beredar melalui mesin untuk menyerap dan mengeluarkan panas. Tujuannya adalah untuk mempertahankan suhu mesin dalam rentang optimum guna memastikan efisiensi operasional dan mencegah kerusakan.

2.12 Multi Criteria Decision Analysis

Dalam menentukan bahan bakar yang paling optimal, salah satu cara yang dipakai adalah mengaplikasikan perhitungan MCDA atau *Multi-Criteria Decision Analysis*. *MCDA atau Multi-Criteria Decision Analysis merupakan pendekatan atau metode dalam pengambilan keputusan berdasarkan alternatif/opsi solusi dari multi kriteria* (Jaya, Fitria, & Ardiansyah, 2020). *Rumus untuk menentukan skor agregasi adalah sebagai berikut.*

$$\text{Skor Total} = w_1 \times N(x) + w_2 \times N(y) \dots \quad (2.1)$$

Dimana $N(x)$ adalah nilai hasil normalisasi dan w adalah bobot masing-masing parameter sesuai prioritas pengujian.

Untuk menentukan nilai dari normalisasi, dikelompokkan menjadi 2 parameter yaitu parameter yang semakin kecil semakin baik dan juga parameter yang semakin besar semakin baik.

Parameter yang semakin kecil semakin baik menggunakan rumus

$$\text{Norm}(x) = \frac{X_{min}}{x} \quad (2.2)$$

Parameter yang semakin besar semakin baik menggunakan rumus

$$\text{Norm}(x) = \frac{x}{X_{max}} \quad (2.3)$$

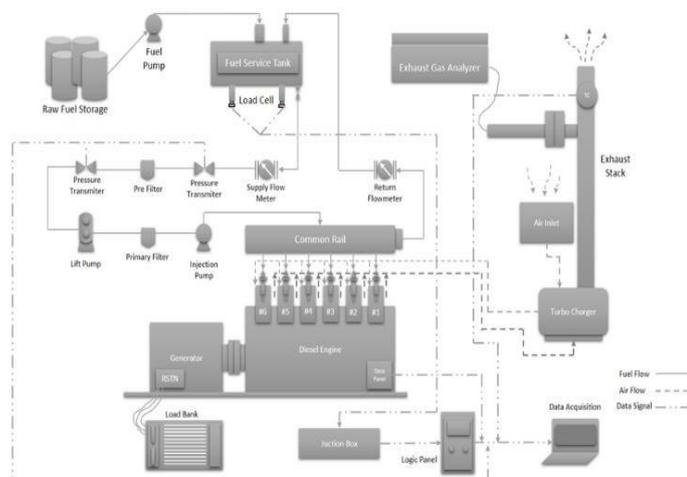
3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini merupakan analisis perbandingan bahan bakar biodiesel (HVO dan FAME) dan solar terhadap performansi generator set (genset). Penelitian ini berjenis eksperimen yang mana dilakukan di salah satu unit di Universitas Diponegoro dengan menggunakan generator set (genset), *load bank*, *flow meter*, *load cell*, alat emisi gas buang dan tangki bahan bakar berkapasitas 200 L. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa perbandingan bahan bakar biodiesel HVO dan FAME terhadap performansi (SFC, emisi gas buang, efisiensi total, *heat rate*, *noise*, generator set (genset)). Bahan bakar yang digunakan adalah bahan bakar solar murni, HVO murni, HVO + Solar, FAME murni, FAME + Solar dan HVO + FAME + solar murni. Untuk diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

Set up alat uji yang digunakan pada penelitian dapat dilihat pada gambar 2. dimana garis berwarna abu-abu menunjukkan aliran dari bahan bakar yang diawali dengan aliran bahan bakar dari *raw fuel storage* kemudian bahan bakar tersebut dialirkan menuju *supply flow meter*, diesel engine dan diakhiri dengan menuju *fuel service tank*. Garis putus-putus berwarna abu-abu menunjukkan aliran udara dan garis dash dot menunjukkan aliran data signal yang akan dikumpulkan ke dalam data *acquisition*.



Gambar 2. Set Up Alat Uji

Untuk menentukan nilai LHV, dapat menggunakan interpolasi dari densitas dan LHV bahan bakar. Persamaan untuk interpolasi bahan bakar dapat dilihat pada persamaan berikut: Persamaan interpolasi untuk menentukan densitas bahan bakar:

$$\rho_{BZ} = \rho_{Bx0} + \left(\frac{x}{100}\right) \cdot (\rho_{B100} - \rho_{B0}) \quad (3.1)$$

Kemudian, bahan bakar tersebut dilakukan interpolasi untuk menentukan nilai LHV bahan bakarnya.

$$V_y = \text{Densitas}_y \cdot \text{LHV}_x \quad (3.2)$$

$$\text{LHV}_{camp} = (\% \text{Bahan Bakar} \cdot V_x) + (\% \text{Bahan Bakar} \cdot V_y) \quad (3.3)$$

$$\text{LHV}_{BBZ} = \frac{\text{LHV}_{campuran}}{\rho_{BX}} \quad (3.4)$$

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data, dapat disimpulkan bahwa:

1. Bahan bakar solar murni dan bahan bakar biodiesel (HVO dan FAME) dapat dibandingkan menggunakan analisis grafik data dari performansi genset yaitu. Peformansi yang dilihat yaitu, SFC, efisiensi total, *heat rate*, *noise*/kebisingan, emisi gas buang, debit injeksi, oil pressure, temperature air pendinginan.
2. Berdasarkan metode *Multi-Criteria Decision Analysis* (MCDA) serta memperhatikan bobot penilaian dari masing-masing performance, bahan bakar yang mempunyai performansi paling optimal adalah bahan bakar D50.
3. Bahan bakar D50 (HVO + Solar) adalah bahan bakar dengan performansi terhadap genset yang baik dikarenakan bahan bakar D50 mempunyai nilai LHV, angka cetane yang tinggi dan viskositas kinematik yang moderat serta kandungan sulfur yang rendah sehingga output yang dihasilkan mampu menyaingi bahan bakar B0.
4. Genset merupakan alat uji yang praktis dan representative untuk melakukan eksperimen pengujian bahan bakar solar dan biodiesel terhadap variasi pembebanan listrik karena dapat memberikan data performa mesin, konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dan data pengujian yang lainnya secara akurat dan terkontrol.

5. Daftar Pustaka

- [1] Adhim, J. F. (2023). Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) Dari Crude Palm Oil (CPO) Dengan Proses Hydrotreating Kapasitas Produksi 100.000 Ton/Tahun. 1-2.
- [2] Hanif, M. A., Rashid, U., Hanif, A., & Akhtar, M. N. (2021). Trends in Widely Used Catalysts for Fatty Acid Methyl Esters (FAME) Production. *MDPI, 11*. doi:<https://doi.org/10.3390/catal11091085>
- [3] Huda, S. (2018). Pemeriksaan dan Pengujian Beban Mesin Diesel Generator Set Baru Caterpillar 810 kVA. 37. Retrieved from https://repo.itpln.ac.id/1219/1/PROYEK%20AKHIR%20SABILUL%20HUDA%20201871090_SABILUL%20HUDA.pdf
- [4] Isfandi. (2015). Analisa Heat Rate Pada Sistem Turbin Uap Berdasarkan Performance Test Unit 3 PLTU Jeranjang. *Vol. 11 No. 3*, 61-68.
- [5] Jaya, R., Fitria, E., & Ardiansyah, R. (2020). Implementasi Multi Criteria Decision Making (MDCM) Pada Agroindustri : Suatu Telaah Literatur. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian, Volume 30 No.2*. doi:<https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2020.30.2.234>
- [6] Kussuryani, Y., & Rimbasa, A. (2010, April). Teknologi Produksi Green Diesel Untuk Pembuatan Bahan Bakar Minyak Alternatif. *44*, 32-28. Retrieved from <https://journal.lemigas.esdm.go.id/index.php/LPMGB/article/view/153/390>
- [7] Londong, B., Tachrir, Djohar, A., Bunyamin, & Zulkaidah, W. (2022). Analisis Sitem Sinkronisasi Generator 2×2 MW Pada Bandar Udara Haluoleo Kendari. *Jurnal Fokus Elektroda, Volume 07 No 04*, 273-282. Retrieved from <https://elektroda.uho.ac.id/>
- [8] Millo, F., Jafari, M. J., Piano, A., Postrioti, L., Brizi, G., Vassallo, A., . . . Fittavolini, C. (2024, Agustus 27). A fundamental study of injection and combustion characteristics of neat Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a fuel for light-duty diesel engines. *Volume 379*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.132951>
- [9] Mustofa, A., Aulia, T., & Syafitra, W. N. (2022, Juli 2). Kajian Literatur: Tantangan Transisi Energi BBM Fosil ke Bahan Bakar Nabati) Menggunakan Minyak Sawit Mentah. *3*, 39. Retrieved from https://bspjisamarinda.kemenperin.go.id/download/proceeding/2022_semnasBSKJI/Layout-III.5-BSPJIBandarLampung.pdf
- [10] Nasution, M. (2022). Bahan Bakar Merupakan Sumber Energi Yang Sangat Diperlukan Dalam Kehidupan Sehari Hari. *Jurnal Of Electrical Technology, 7*, 29.

- [11] PPSDM MIGAS. (2021). Jamin Keamanan Komoditas Vital Negara, PPSDM Migas Adakan Pengawasan Penyediaan dan Pendistribusian BBM. PPSDM MIGAS.
- [12] Purnama, D., Arif, A., Alwi, E., & Sugiarto, T. (2023). Analisis Penggunaan Bahan Bakar Campuran Pertalite dengan Bioetanol dari Tebu Terhadap Konsumsi Bahan Bakar dan Emisi Gas Buang pada Sepeda Motor Injeksi. *Volume 4 no 3*. doi:<https://doi.org/10.46574/mted.v4i3.117>
- [13] Riwu, D. B. (2021). Karakteristik Pembakaran Premixed Minyak Fame (Fatty Acid Methyl Ester). *Jurnal Teknik Mesin UNDANA*, 8, 42. doi:<https://doi.org/10.35508/ljtmu.v8i02.5945>
- [14] Setiawan, H. A., & Rijanto, T. (2019). Rancang Bangun Sistem Kontrol Pengisian Air Minum Dalam Kemasan Menggunakan Arduino Uno Dengan Sensor Load Cell. *Jurnal Teknik Elektro, Volume 08 Nomer 03*, 579-585. Retrieved from <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/JTE/article/download/29275/26811>
- [15] Sianturi, K. B. (2023). Analisa Kebisingan Generator Listrik Universitas HKBP Nommensen Medan Merk Stamford Daya Maksimum 350 kVA Dengan Daya Maksimum 250 kVA Berdasarkan Time Domain Pada Arah Horizontal, Vertikal, dan Longitudinal. Retrieved from <https://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/8831>
- [16] Sulaiman, A. A. (2024). Sawit Indonesia Dalam Dinamika Pasar Dunia. 6-7. Retrieved from <https://epublikasi.pertanian.go.id/pertanianpress/catalog/view/99/83/701>
- [17] Tambunan, C. N., Gantina, T. M., & Manunggal, B. P. (2023). Analisis Perbandingan Bahan Bakar Biosolar dan Dexlite Terhadap Peformansi Generator Set Tipe Cummins 60 kVA. *Jurnal Energi*, 12, 29. Retrieved from <https://jurnal.polban.ac.id/energi/article/view/5227/3496>
- [18] Wibawa, I. S., Kusuma, G. W., & Budiarsa, I. (2015). Uji Variasi Tekanan Nosel Terhadap Karakteristik Semprotan Bahan. *Jurnal METTEK*, 1, 28-34. doi:ojs.unud.ac.id/index.php/mettek
- [19] Wijaya, A. K., Nugroho, D., & Nugroho, A. A. (2022). Analisa Efisiensi Kinerja Generator G-101 Pada Pembangkit Listrik Tenaga Panas Bumi. *Jurnal Transistor Elektro dan Informatika, Vol.4, No.1*. Retrieved from <http://jurnal.unissula.ac.id/online/index.php/EI>