

## STUDI EKSPERIMENTAL UNJUK KERJA DIESEL *GENERATOR SET* CUMMINS MODEL N150G4 150 KVA DENGAN BAHAN BAKAR B0, D35, B30D5 DAN B35

\*Nathanael Gultom<sup>1</sup>, Berkah Fajar Tamtono Kiono<sup>2</sup>, Muchammad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

\*E-mail: [natanaelgultom7@gmail.com](mailto:natanaelgultom7@gmail.com)

### Abstrak

Perkembangan bahan bakar alternatif seperti HVO (Hydrotreated Vegetable Oil) dan FAME (Fatty Acid Methyl Ester) telah membuka peluang untuk mengurangi ketergantungan terhadap solar murni dan menurunkan emisi dari sektor transportasi dan energi. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa operasional dan karakteristik emisi dari mesin diesel generator set Cummins model N150G4 berkapasitas 150 kVA dengan menggunakan empat jenis bahan bakar yang berbeda: B0 (solar murni), D35 (campuran 65% solar dan 35% HVO), B30D5 (campuran 30% FAME dan 5% HVO), dan B35 (35% FAME). Evaluasi dilakukan berdasarkan parameter konsumsi bahan bakar spesifik (SFC), efisiensi total, heat rate, daya nyata, tekanan oli, temperatur pendingin, temperatur gas buang, kebisingan, serta emisi gas buang (CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, dan SO<sub>2</sub>). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa bahan bakar D35 memiliki kinerja paling optimal dengan nilai skor agregasi tertinggi berdasarkan metode Simple Additive Weighting (SAW), yaitu 3,31948, diikuti oleh B0 (2,84422), B30D5 (2,82298), dan B35 (2,71411). Bahan bakar D35 mencatat konsumsi bahan bakar spesifik minimum sebesar 0,235 kg/kWh dan efisiensi total tertinggi sebesar 35,8% pada beban maksimum. Karakteristik bahan bakar seperti nilai kalor tinggi, kandungan sulfur rendah, dan viskositas kinematik yang ideal berkontribusi terhadap kinerja unggul bahan bakar D35.

**Kata kunci** : efisiensi; emisi; fame; generator diesel; hvo; saw

### Abstract

*The development of alternative fuels such as Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) and Fatty Acid Methyl Ester (FAME) offers promising opportunities to reduce dependence on conventional diesel and lower emissions in the transportation and energy sectors. This study aims to evaluate the operational performance and emission characteristics of a Cummins N150G4 diesel generator set with a rated capacity of 150 kVA, using four different types of fuel: B0 (pure diesel), D35 (a blend of 65% diesel and 35% HVO), B30D5 (a blend of 30% FAME and 5% HVO), and B35 (35% FAME). The evaluation was conducted based on specific fuel consumption (SFC), total efficiency, heat rate, actual power output, oil pressure, coolant temperature, exhaust gas temperature, noise level, and exhaust gas emissions (CO, NO, NO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, and SO<sub>2</sub>). The experimental results indicate that D35 fuel demonstrated the most optimal performance, achieving the highest aggregate score of 3.31948 based on the Simple Additive Weighting (SAW) method, followed by B0 (2.84422), B30D5 (2.82298), and B35 (2.71411). D35 recorded the lowest specific fuel consumption at 0.235 kg/kWh and the highest total efficiency at 35.8% under maximum load conditions. Fuel characteristics such as high heating value, low sulfur content, and ideal kinematic viscosity contributed significantly to the superior performance of D35.*

**Keywords** : diesel generator; efficiency; emissions; fame; hvo; saw method

### 1. Pendahuluan

Indonesia, sebagai produsen minyak sawit terbesar di dunia yang menguasai 56,94% pasar global dengan luas lahan mencapai 11,75 juta hektar pada tahun 2015 [1], memiliki fondasi kuat untuk mengembangkan biofuel seperti *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dan *Hydrotreated Vegetable Oil* (HVO). Pengembangan energi alternatif ini didukung oleh serangkaian kebijakan strategis pemerintah, mulai dari Perpres No. 5 Tahun 2006 hingga Kebijakan Energi Nasional (KEN) yang menjadi kerangka utamanya [2].

Komitmen ini dipertegas di tingkat internasional untuk mengurangi emisi gas rumah kaca, yang kemudian diimplementasikan melalui Grand Strategi Energi Nasional (GSEN) guna mencapai target Nationally Determined Contribution (NDC) [3]. Meskipun industri sawit memiliki kontribusi ekonomi yang signifikan, pengembangannya sebagai biodiesel masih menghadapi berbagai tantangan, termasuk harga bahan baku yang tinggi dan persaingan dengan bahan bakar bersubsidi [4].

Berdasarkan potensi sumber daya, urgensi iklim, dan kerangka regulasi tersebut, PT PLN dan PT Pertamina melakukan penelitian bersama untuk menganalisis secara langsung unjuk kerja genset menggunakan biodiesel murni (FAME dan HVO), campuran keduanya, serta solar murni untuk mengevaluasi performa bahan bakar alternatif ini.

## 2. Landasan Teori

### 2.1 Fame

FAME (*Fatty Acid Methyl Ester*) merupakan produk utama dari proses transesterifikasi antara trigliserida dari minyak nabati atau lemak hewani dengan alkohol (umumnya metanol) menggunakan katalis, menghasilkan biodiesel dan gliserol sebagai produk samping. FAME memiliki biodegradabilitas tinggi, terurai 90–98% dalam 28 hari, serta mampu mengurangi emisi CO<sub>2</sub> hingga 85% (terutama jika berasal dari minyak bekas) dan emisi NO<sub>x</sub> lebih rendah jika menggunakan butanol sebagai alkohol. Selain itu, FAME memiliki *cetane number* yang lebih tinggi serta menghasilkan emisi partikulat dan CO yang lebih rendah. Namun, kelemahan FAME terletak pada sifat alir dingginya (*cold flow properties*) yang buruk, titik beku lebih tinggi dibandingkan diesel fosil, serta kestabilan oksidatif yang rendah, terutama pada kandungan asam lemak tak jenuh tinggi (USFA), yang dapat menyebabkan pematatan dan penyumbatan filter pada suhu rendah. Masalah ini dapat diatasi dengan penggunaan antioksidan atau pencampuran dengan FAME dari minyak jenuh [5].

FAME memiliki sifat fisik dan kimia yang mendekati bahan bakar diesel, seperti viskositas dan densitas yang sesuai untuk mesin diesel. Meningkatnya efisiensi pembakaran pada FAME disebabkan juga oleh angka sentana yang tinggi. Selain itu, FAME bersifat *biodegradable* dan memiliki emisi gas buang yang lebih rendah dibandingkan diesel konvensional. Namun, FAME juga memiliki kelemahan, seperti kestabilan oksidatif yang lebih rendah [6].

### 2.2 Hydrotreated Vegetable Oil (HVO)

HVO bahan bakar nabati parafinik yang sangat murni, dihasilkan melalui proses hidrogenasi minyak nabati atau lemak hewani. Proses ini menghilangkan kandungan oksigen dan menghasilkan bahan bakar dengan angka setana tinggi, viskositas rendah, serta bebas dari senyawa sulfur dan aromatik. Hasilnya, karakteristik HVO setara atau bahkan lebih unggul dibandingkan solar fosil dan dapat langsung digunakan pada mesin diesel modern. Keunggulan utama HVO adalah kemampuannya sebagai bahan bakar drop-in yang secara signifikan mengurangi emisi gas buang dan meningkatkan performa mesin. Penggunaannya dapat menekan emisi CO<sub>2</sub> hingga 85%, CO lebih dari 40%, HC lebih dari 50%, dan partikulat hitam (soot) hingga 67% [7,8]. Selain itu, HVO juga menghasilkan konsumsi bahan bakar dan tingkat kebisingan mesin yang lebih rendah, meskipun pengaruhnya terhadap emisi NO<sub>x</sub> bervariasi tergantung pengaturan mesin [7].

### 2.3 Heat Rate

Untuk menganalisis performa sebuah sistem konversi energi, terutama pada pembangkit listrik, terdapat beberapa parameter kunci yang digunakan. Indikator-indikator ini secara spesifik mengukur efisiensi dari berbagai aspek, mulai dari efisiensi termal, konsumsi bahan bakar, hingga efektivitas konversi energi menjadi energi listrik. Penilaian melalui parameter ini memberikan gambaran komprehensif mengenai kinerja dan keekonomisan suatu sistem.

*Heat rate* merupakan parameter utama untuk menilai efisiensi termal, yang didefinisikan sebagai rasio energi panas yang masuk ke sistem terhadap energi listrik yang dihasilkan. Secara prinsip, semakin rendah nilai *heat rate* pada suatu pembangkit, maka semakin tinggi tingkat efisiensi sistem tersebut dalam mengubah panas menjadi kerja atau listrik [9].

$$\text{Heat Rate} = \frac{Q_{\text{input}}}{P_{\text{listrik}}} \left( \frac{\text{KJ}}{\text{kWh}} \right) \quad \text{Persamaan 1}$$

### 2.4 SFC

Dari sisi penggunaan bahan bakar, *Specific Fuel Consumption* (SFC) menjadi tolok ukur efisiensi mesin pembakaran. Parameter ini mengukur jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu satuan daya, yang umumnya dinyatakan dalam satuan kilogram per kilowatt-jam (kg/kWh). Nilai SFC yang rendah menandakan bahwa mesin tersebut lebih hemat bahan bakar [10].

$$\text{SFC} = \frac{\dot{m}}{P} \quad \text{Persamaan 2}$$

Sementara itu, efisiensi total generator mengukur seberapa efektif energi mekanik dari mesin dikonversi menjadi energi listrik. Dihitung dengan rumus (daya output / daya input) × 100%, nilai ini mencerminkan kinerja generator setelah memperhitungkan berbagai kerugian internal seperti energi panas dan gesekan, di mana efisiensi optimal biasanya tercapai saat beban mendekati kapasitas maksimumnya [11].

$$\eta_{\text{total}} = \frac{P_{\text{Listrik}}}{Q_{\text{Input}}} \times 100\% \quad \text{Persamaan 3}$$

Metode *Simple Additive Weighting* (SAW) merupakan salah satu teknik pengambilan keputusan multikriteria yang paling awal dan paling luas diterapkan dalam berbagai bidang, seperti rekayasa teknik, ilmu lingkungan, dan energi

[12]. Pendekatan ini menawarkan proses yang relatif sederhana namun efektif dalam mengevaluasi berbagai alternatif berdasarkan sejumlah kriteria yang relevan.

$$Si = \sum_{j=1}^n w_j \cdot r_{ij}$$

**Persamaan 4**

### 3. Bahan dan Metode 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.

**Tabel 1.** Spesifikasi Mesin Genset

Basic Enginer Model	6BTAA5.9-G12
Compression Ration	17.3:1
Bore	102 mm
Stroke	120 mm
Aspiration	Turbocharged & Charge Air Cooled
Dispalcement	5.9 L
No of Cylinders	6
Fuel System	BYC P7100/Electronic Governor
<b>Performance</b>	
Engine Speed	Prime Power
1500 RPM	120 Kw
1800 RPM	150 Kw
<b>Lubrication System</b>	
Normal Oil Pressure Range	
Minimum low Idle	207 kPa
Maximum rated speed	345 kPa
Maximum Oil Temperatur	121 °C
<b>Fuel System</b>	
Type Injection System	BYC P71000
Maximum Restriction at Lift Pump	13.6 kPa
Total Drain Flow	30 liter/hour
<b>Cooling System</b>	
Coolant Capacity-Engine Only	10 liter

Standard Thermostat (Modulating) Range	82-95 °C
Maximum Top Tank Temperature for Standby/Prime Power	104/100 82-95 °C

#### 4. Hasil dan Pembahasan

**Tabel 2.** Data LHV Bahan Bakar

Bahan Bakar	Nilai LHV (MJ/kg)	Nilai LHV (KJ/kg)	Desitas Data 1 (kg/m <sup>3</sup> )	Desitas Data 2 (kg/l)
B0	42,798	42798	860,6	0,8606
B35	41,753	41753	865,2	0,8652
B30+D5	42,371	42371	860,7	0,8607
D35	43,171	43171	834,6	0,8346

#### 5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pengolahan data, dapat disimpulkan bahwa:

1. Berdasarkan metode Simple Additive Weighting (SAW) serta memperhatikan bobot penilaian dari masing-masing performa, bahan bakar yang mempunyai performansi paling optimal adalah bahan bakar D35
2. Bahan bakar D35 (HVO + Solar) adalah bahan bakar dengan performansi terhadap genset yang baik dikarenakan bahan bakar D35 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

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] Abdul, I. et al. (2022) 'Analysis of factors affecting the technical inefficiency on Indonesian palm oil plantation,' *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-07113-7>. Aminuddin, J. (2020). Analisis Tegangan Keluaran Generator Listrik Frekuensi Rendah dengan Metode Conjugate-Gradient. *Jurnal Teras Fisika*, 3(1), 142.
- [2] Romadhona, S.L. et al. (2024) Perkembangan Biodiesel di Indonesia: Review Regulasi dan Perspektif pada Masa Mendatang. <https://ejournal.itats.ac.id/senastitan/article/view/5521>.
- [3] Imaniar, R. (2024) 'IMPLEMENTASI BIODIESEL HVO DI INDONESIA : METODE ECONOMIC BENEFIT COST ANALYSIS,' *Jurnal Ilmiah Manajemen Ekonomi & Akuntansi (MEA)*, 8(2), pp. 1–24. <https://doi.org/10.31955/mea.v8i2.4005>.
- [4] Purnomo, H. et al. (2020) 'Reconciling oil palm economic development and environmental conservation in Indonesia: A value chain dynamic approach,' *Forest Policy and Economics*, 111, p. 102089. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2020.102089>.
- [5] Jayabal, R. (2024) 'Advancements in catalysts, process intensification, and feedstock utilization for sustainable biodiesel production,' *Results in Engineering*, p. 103668. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.103668>.
- [6] Awogbemi, O., Inambao, F. and Onuh, E.I. (2020) 'Optimization of FAME composition for improved engine performance and emissions reduction,' *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 15(4), pp. 583–593. <https://doi.org/10.1093/ijlct/ctaa027>.
- [7] d'Ambrosio, S., Mancarella, A. and Manelli, A. (2022) 'Utilization of Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) in a Euro 6 Dual-Loop EGR Diesel Engine: Behavior as a Drop-In Fuel and Potentialities along Calibration Parameter Sweeps', *Energies*, 15(19). Available at: <https://doi.org/10.3390/en15197202>.
- [8] Millo, F. et al. (2025) 'A fundamental study of injection and combustion characteristics of neat Hydrotreated Vegetable Oil (HVO) as a fuel for light-duty diesel engines', *Fuel*, 379, p. 132951.
- [9] Giorgi, C., Morro, A. and Zullo, F. (2024) 'Modeling of heat conduction through rate equations,' *Meccanica* [Preprint]. <https://doi.org/10.1007/s11012-024-01788-0>.
- [10] Sabapathy, S.P. et al. (2021) 'Comprehensive Assessment from Optimum Biodiesel Yield to Combustion Characteristics of Light Duty Diesel Engine Fueled with Palm Kernel Oil Biodiesel and Fuel Additives,' *Materials*, 14(15), p. 4274. <https://doi.org/10.3390/ma14154274>.
- [11] Ar, A. et al. (2022) 'Analisis efisiensi generator pada GT21 Blok 2 Pembangkit listrik Tenaga gas dan UAP PT. CEPA Sengkang,' *Jurnal Teknologi Elektroika*, 19(2), p. 130. .
- [12] Taherdoost, H. (2023) 'Analysis of Simple Additive Weighting Method (SAW) as a MultiAttribute Decision-Making Technique: A Step-by-Step Guide,' *Journal of Management Science & Engineering Research*, 6(1), pp. 21–24. <https://doi.org/10.30564/jmser.v6i1.5400>.