

## Pengaruh Bahan Bakar Biodiesel dari Dimetil Ester Terhadap Kinerja Mesin Diesel Empat Langkah

Tulus B. Sitorus<sup>1</sup>, Yosua F. S. R. Zebua<sup>2</sup>, Daniel F. B. Sianturi<sup>2</sup>, Jonathan A. R. Siagian<sup>2</sup>, Suprihatin<sup>1</sup>, Lestina Siagian<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU-Medan, Indonesia

<sup>2</sup> Alumni Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik USU-Medan, Indonesia

<sup>3</sup> Prodi Teknik Elektro, Universitas HKBP Nommensen, Medan-20234

tulus.burhanuddin@usu.ac.id

### Abstract

This study aims to determine the effect of biodiesel fuel from dimethyl ester on four-stroke stationary diesel engines' performance and exhaust emissions. Tests were carried out using B10 and B30 fuels with engine speed variations and load variations without modifying the engine. The results showed that the torque, power, and thermal efficiency tended to decrease when using B10 and B30. In addition, the specific fuel consumption has increased when the engine uses B10 and B30. But exhaust emissions of CO and unburned hydrocarbon (UHC) decreased NOx and increased CO<sub>2</sub> when the engine uses B10 and B30. This research also obtains the correlations and regression equations involving engine performance parameters.

**Keywords:** fuel, dimethyl ester, biodiesel, engine performance

### 1. PENDAHULUAN

Adanya peningkatan konsumsi energi yang terus meningkat di setiap negara membuat ketahanan energi menjadi jaminan penting bagi keamanan nasional semua negara di dunia [1]–[3]. Menurut *International Energi Outlook 2016* bahwa konsumsi energi total dunia telah dan akan meningkat secara signifikan sebesar 48% dari tahun 2012 hingga 2040 [4]. Krisis energi, perubahan iklim, dan pencemaran lingkungan adalah masalah kritis yang saat ini dihadapi dunia [5]. Krisis energi telah menjadi isu penting dalam beberapa tahun terakhir dan menjadi fokus penelitian di banyak negara di seluruh dunia [6]. Salah satu solusi dari hal tersebut adalah pengurangan konsumsi minyak bumi atau bahan bakar fosil. Hal ini juga terkait dengan terjadinya fluktuasi pasokan dan harga minyak telah menyadarkan masyarakat bahwa jumlah cadangan minyak di bumi semakin menipis. Minyak bumi merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui, sehingga bahan penggantinya harus diperhatikan [7], [8]. Selain itu, polusi dari pembakaran bahan bakar fosil merusak lingkungan. Salah satu bahan bakar alternatif adalah biodiesel sebagai pengganti bahan bakar mesin diesel. Bahan baku biodiesel bisa berasal dari minyak sawit, minyak jarak, minyak goreng bekas, mentega, dan sebagainya [9]. Biodiesel merupakan salah satu jenis bahan bakar terbarukan yang selalu menarik untuk dikaji. Jenis bahan bakar yang digunakan secara positif mempengaruhi karakteristik kinerja mesin. Seperti diketahui bahwa setiap mesin memiliki karakteristik yang berbeda dengan mesin lainnya sesuai dengan spesifikasi yang dimilikinya. Karakteristik ini erat kaitannya dengan performa yang dihasilkan mesin, dimana performa dipengaruhi oleh jenis bahan bakar yang digunakan [10], [11]. Hal ini dikarenakan bahan bakar merupakan sumber energi utama agar mesin dapat beroperasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan campuran solar-biodiesel dari CPO (*crude palm oil*) dimetil ester terhadap unjuk kerja dan emisi gas buang mesin diesel stasioner empat langkah.

Untuk mendapatkan tujuan penelitian tersebut maka perlu diketahui parameter yang mempengaruhi performansi motor bakar [12]–[15]. Pada umumnya mesin pembakaran dalam memiliki parameter yang dapat menunjukkan performa mesin dan beberapa parameter tersebut dijelaskan sebagai berikut.

### 1.1. Torsi

Torsi merupakan parameter indikator yang cocok untuk mengetahui kemampuan mesin menghasilkan tenaga. Torsi didefinisikan sebagai gaya yang bekerja pada jarak tertentu dan memiliki satuan Nm. Torsi suatu mesin dapat diperoleh dari hasil pengujian menggunakan alat uji dinamometer.

### 1.2. Daya Mesin

Pada mesin pembakaran dalam umumnya memiliki dua yaitu daya poros dan daya indikator. Daya tersebut dipengaruhi oleh putaran mesin dan torsi. Dalam prakteknya, medan yang digunakan adalah daya poros. Daya poros atau daya efektif ( $\dot{W}$ ) adalah daya yang dihasilkan oleh mesin pada poros keluarannya atau biasa disebut dengan daya kuda yang dihitung dengan persamaan:

$$\dot{W} = \frac{2\pi \times N \times \tau}{60000} \quad (1)$$

dimana  $N$  adalah putaran mesin (rpm), dan  $\tau$  adalah torsi (Nm).

### 1.3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Konsumsi bahan bakar merupakan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh setiap unit daya yang dihasilkan per jam operasi. Secara tidak langsung konsumsi bahan bakar spesifik merupakan indikasi efisiensi mesin dalam menghasilkan daya dari pembakaran bahan bakar. Konsumsi bahan bakar spesifik (gr/kWh) dapat didefinisikan sebagai berikut:

$$sfc = \frac{\dot{m}_f}{\dot{W}} \times 3619080 \quad (2)$$

dimana  $\dot{m}_f$  adalah aliran massa bahan bakar ke dalam ruang bakar (kg/s).

### 1.4. Efisiensi Termal

Efisiensi termal dari mesin pembakaran internal didefinisikan sebagai rasio antara energi keluaran dan energi kimia yang terkandung dalam bahan bakar saat pembakaran di ruang bakar. Efisiensi termal dapat didefinisikan sebagai:

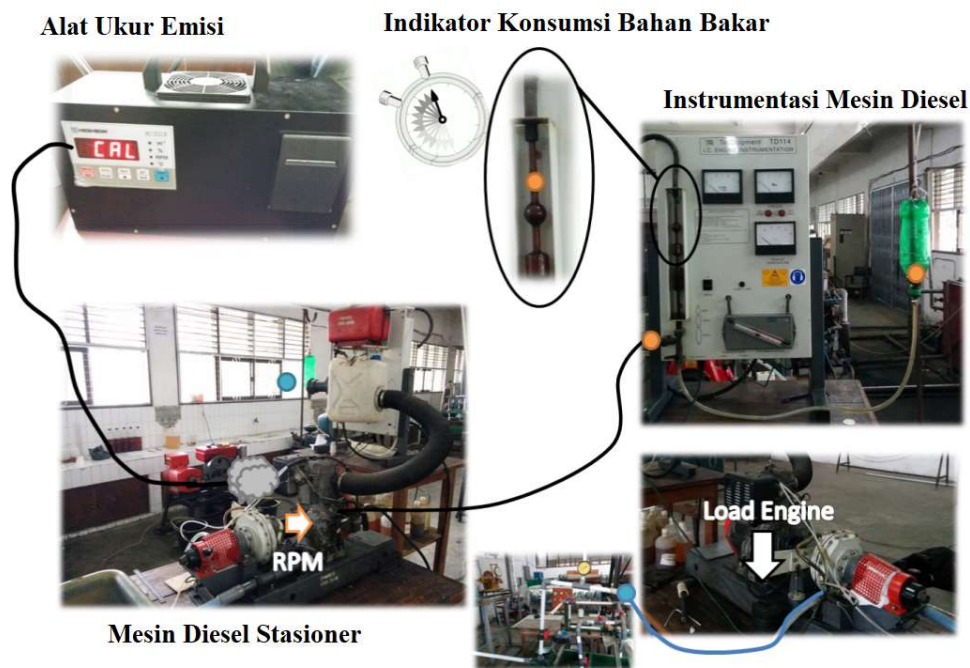
$$\eta_t = \frac{\dot{W}}{\dot{m}_f \times Q_{HV} \times \eta_c} \quad (3)$$

dimana  $Q_{HV}$  adalah nilai kalor (kJ/kg), dan  $\eta_c$  adalah efisiensi pembakaran (0,97).

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah dengan melakukan proses eksperimental di laboratorium. Tahapan yang dilakukan adalah persiapan bahan bakar dan alat uji serta alat ukur, pengujian nilai kalor bahan bakar dan pengujian kinerja mesin diesel stasioner empat Langkah. Pengujian dilakukan dengan menggunakan minyak solar, B10 (10%

dimetil ester biodiesel CPO-90% minyak solar), dan B30 (30% dimetil ester biodiesel-70% minyak solar). Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari mesin diesel stasioner empat silinder, kalorimeter bom untuk mengetahui nilai kalor bahan bakar dan *auto logic gas analyzer* untuk mengetahui komposisi emisi gas buang. Pada penelitian ini dilakukan pengujian unjuk kerja mesin dengan variasi bahan bakar (minyak solar, B10, dan B30), variasi putaran mesin 1000 rpm, 1400 rpm, 1800 rpm, 2200 rpm, 2600 rpm dan 2800 rpm serta variasi beban 10 kg dan 25 kg.



**Gambar 1.** Skema eksperimental

Spesifikasi alat uji mesin diesel yang digunakan dapat dilihat pada tabel 1.

**Tabel 1.** Spesifikasi mesin diesel uji

Mesin	Diesel
Tipe	4 langkah
Diameter / Panjang Langkah	88,9 mm /79,37 mm
Rasio Kompresi	22 : 1
Jumlah Silinder	4
Kapasitas Mesin	1760 cc
Kapasitas Tangki	10 liter
<i>Tachometer</i>	0 - 5000 rpm
<i>Torque Meter</i>	0 - 100 Nm
<i>Exhaust Temperature Meter</i>	0 -1200 °C

### 3. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil dan analisa pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan akan diuraikan sebagai berikut.

#### 3.1. Nilai Kalor Bahan Bakar

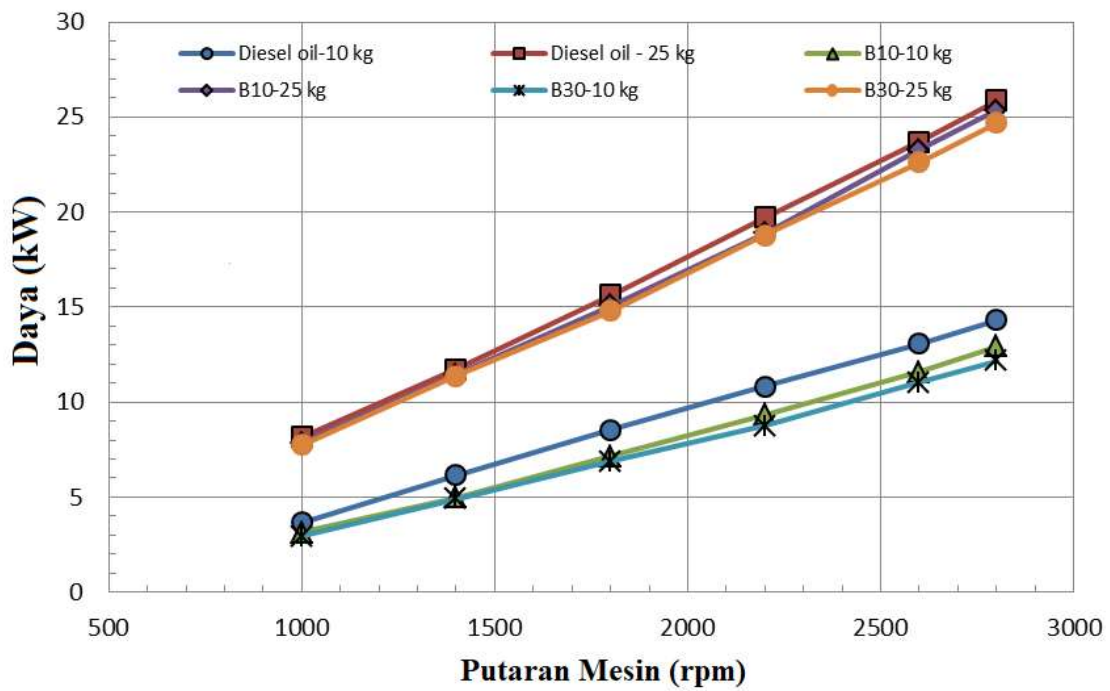
Hasil pengujian dengan menggunakan bom kalorimeter diperoleh nilai kalor maksimum terdapat pada minyak solar sebesar 44754,6476 kJ/kg. Nilai kalor minimum diperoleh pada B30, yaitu 41483,9039 kJ/kg. Nilai kalor bahan bakar menunjukkan energi yang dihasilkan selama proses pembakaran bahan bakar per satuan massa. Nilai kalor dipengaruhi oleh komposisi bahan bakar. Semakin tinggi konsentrasi biodiesel dalam suatu campuran, semakin rendah nilai kalor bahan bakar. Nilai kalor B30 yang paling rendah disebabkan oleh meningkatnya kadar oksigen dalam struktur bahan bakar. Jadi untuk mendapatkan energi yang sama, jumlah B30 yang dibutuhkan lebih signifikan.

**Tabel 2.** Hasil uji nilai kalor bahan bakar

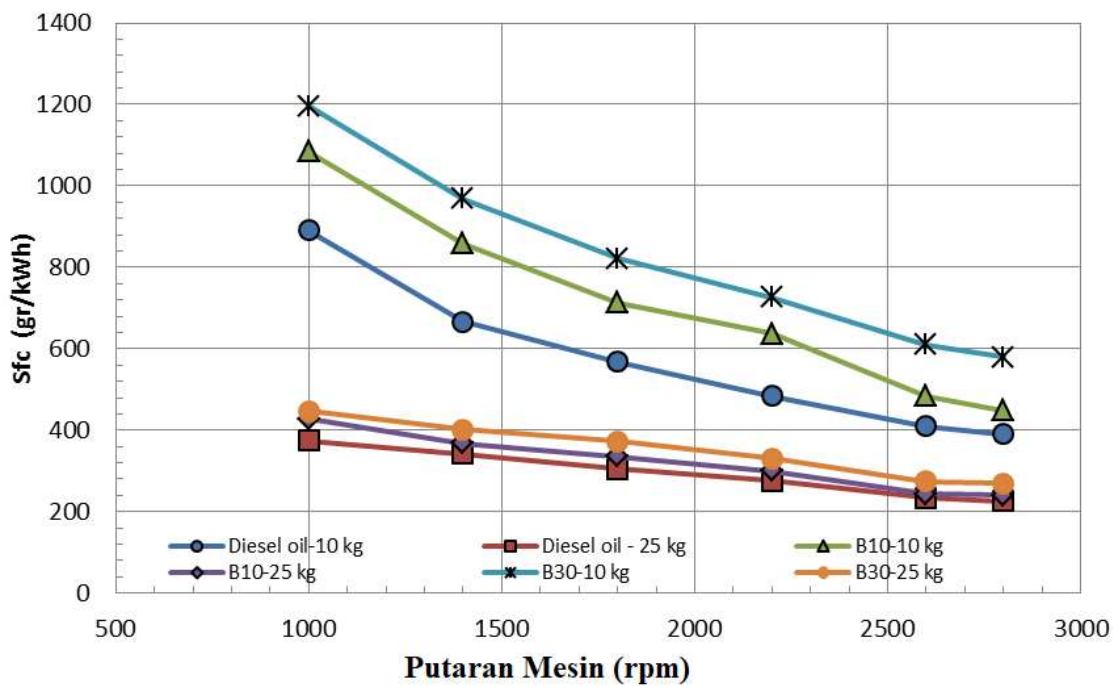
Bahan Bakar	Nilai Kalor (kJ/kg)
Solar	44754,6476
B10	42194,9352
B30	41483,9039

#### 3.2. Performansi Mesin Diesel

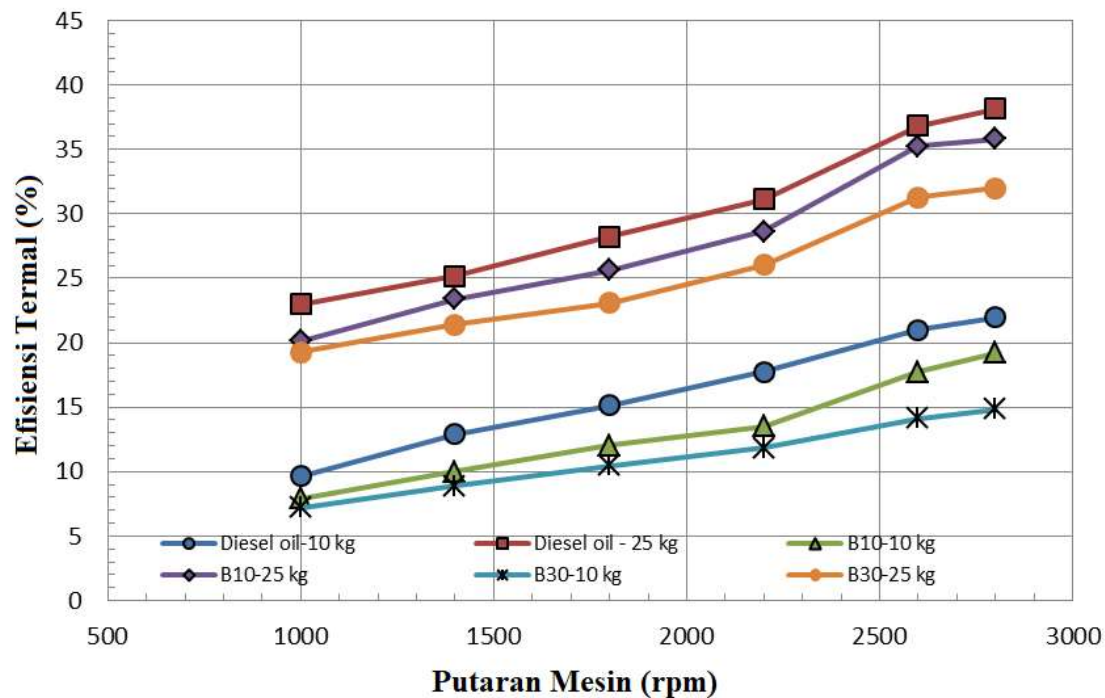
Hasil pengujian menunjukkan bahwa torsi maksimum sebesar 88,2 Nm terjadi pada saat mesin menggunakan minyak solar pada 2.800 rpm dan 25 kg. Torsi minimum diperoleh 28 Nm dengan B30 dan beban 10 kg pada 1000 rpm. Torsi minimum dihasilkan saat mesin menggunakan B30 karena torsi dipengaruhi oleh energi yang dihasilkan oleh pembakaran bahan bakar. Nilai kalor bahan bakar mempengaruhi hasil pembakaran bahan bakar. Nilai kalor B30 merupakan yang paling rendah jika dibandingkan dengan nilai kalor minyak solar dan B10.



Gambar 2. Daya mesin yang dihasilkan untuk setiap bahan bakar yang diuji



Gambar 3. Konsumsi bahan bakar spesifik setiap bahan bakar yang diuji



Gambar 4. Efisiensi termal dari setiap pengujian bahan bakar

### 3.2.1 Daya

Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya maksimum sebesar 25,86 kW terjadi pada saat mesin diesel menggunakan minyak solar pada 2800 rpm dan beban 25 kg. Daya minimum yang diperoleh 2,93 kW dengan B30 untuk beban 10 kg pada 1000 rpm. Daya mesin yang dihasilkan dipengaruhi oleh torsi. Saat torsi semakin besar maka daya mesin yang dihasilkan juga semakin besar begitu juga sebaliknya. Hal ini disebabkan perubahan daya sebanding dengan torsi. Faktor lain yang memungkinkan penurunan daya mesin di B10 dan B30 adalah karena pengaturan waktu injeksi yang tidak memadai. Hal ini dikarenakan angka setana biodiesel lebih tinggi dari minyak solar, sehingga diperlukan waktu tunda pengapian yang lebih singkat. Sehingga diperlukan upaya memajukan timing injeksi untuk mendapatkan daya yang optimal.

### 3.2.2 Konsumsi Bahan Bakar Spesifik

Dari hasil didapatkan sfc maksimum sebesar 1196,06 gr/kWh saat menggunakan B30 pada putaran 1000 rpm dan beban 10 kg. Sfc minimum yang diperoleh adalah 225,39 gr/kWh pada 2800 rpm bila menggunakan minyak solar untuk beban 25 kg. Rata-rata sfc yang dihasilkan dari pengujian yang dilakukan adalah 508,38 gr/kWh. Secara umum, konsumsi bahan bakar spesifik saat mesin menggunakan B10 dan B30 mengalami peningkatan. Nilai kalor B10 menyebabkan hal tersebut, dan B30 lebih rendah dari minyak solar karena adanya oksigen dalam biodiesel, yang mengakibatkan campuran udara-bahan bakar menjadi miskin (*lean mix*) sehingga campuran udara-bahan bakar yang dibutuhkan harus dibuat campuran kaya (*rich mix*). Kondisi ini membuat bahan bakar yang dibutuhkan lebih banyak dibandingkan saat mesin menggunakan minyak solar.

### 3.2.3 Efisiensi Termal

Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi termal maksimum diperoleh 38,14% saat mesin menggunakan minyak solar pada 2800 rpm dan beban 25 kg. Efisiensi termal minimum adalah 7,19% pada 1000 rpm dan untuk beban 10 kg saat mesin menggunakan B30. Rata-rata efisiensi termal yang dihasilkan adalah 20,85%. Sebagaimana diketahui bahwa efisiensi termal mesin pembakaran dalam dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti tenaga mesin, laju aliran bahan bakar ke ruang bakar, dan nilai kalor bahan bakar. Ketiga parameter tersebut secara bersamaan mempengaruhi pencapaian efisiensi termal suatu mesin.

### 3.2.4 Emisi Gas Buang

Berdasarkan hasil pengujian diketahui bahwa pada saat mesin menggunakan B10 dan B30, penurunan emisi gas buang CO (karbon monoksida) berkisar antara 8,09% - 9,31%. Emisi gas buang CO terjadi karena kekurangan oksigen, sehingga proses pembakaran berlangsung tidak sempurna karena banyak atom karbon yang tidak mendapatkan oksigen yang cukup untuk membentuk gas CO. Emisi CO<sub>2</sub> (karbon dioksida) meningkat sekitar 18,85%-34,74%. Hal ini menjadi argumentasi bahwa biodiesel memiliki kelebihan atom oksigen sehingga biodiesel merupakan bahan bakar teroksigenasi yang dapat mengikat molekul CO menjadi CO<sub>2</sub>. Penurunan emisi gas buang UHC (*Unburned Hydro Carbon*) berkisar antara 19,28%-24,4%. Proses pembakaran yang tidak sempurna menyebabkan emisi UHC. Biodiesel B10 dan B30 yang memiliki ikatan OH dalam susunan molekulnya, membuat proses pembakaran bahan bakar di ruang bakar menjadi lebih baik. Tingkat emisi gas buang NO<sub>x</sub> mengalami peningkatan jika mesin menggunakan B10 dan B30 berkisar 39,24%-99,58%. Hal ini disebabkan karena titik nyala biodiesel lebih rendah dari minyak solar yang mengakibatkan masa penyalaan lebih singkat sehingga pembakaran berlangsung lebih awal yang pada akhirnya akan berdampak pada peningkatan temperatur dan tekanan pada ruang bakar. Kondisi terakhir ini berdampak pada peningkatan konsentrasi NO<sub>x</sub> pada gas buang.

### 3.3. Analisa Regresi dan Korelasi Parameter

Nilai korelasi antara ketiga parameter performansi tersebut adalah signifikan. Korelasi daya mesin dengan konsumsi bahan bakar spesifik adalah -0,83. Hal ini menunjukkan bahwa jika daya mesin meningkat maka konsumsi bahan bakar spesifik menurun dan sebaliknya. Korelasi yang terjadi antara daya mesin dengan efisiensi termal berkisar antara 0,94, yang berarti bila daya mesin meningkat maka efisiensi termal juga akan meningkat dan sebaliknya. Nilai korelasi antara parameter konsumsi bahan bakar spesifik dengan efisiensi termal adalah -0,90, yang berarti dengan peningkatan konsumsi bahan bakar spesifik akan menurunkan efisiensi termal dan sebaliknya. Dengan menggunakan analisis regresi berganda diperoleh persamaan regresi yang melibatkan parameter efisiensi termal (Y), daya mesin (X<sub>1</sub>), dan konsumsi bahan bakar spesifik (X<sub>2</sub>), yaitu:

$$Y = 17,5928 + 0,8123 X_1 - 0,014 X_2$$

Koefisien determinasi yang diperoleh adalah 93,5%, hal ini menyatakan bahwa pengaruh daya mesin dan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap efisiensi termal untuk mesin diesel yang diuji adalah 93,5%.

#### 4. KESIMPULAN

Pengujian biodiesel dari dimetil ester terhadap kinerja mesin diesel stasioner telah dilakukan. Pengujian yang dilakukan meliputi uji nilai kalor bahan bakar dan uji performansi mesin diesel. Tampak bahwa nilai kalor suatu bahan bakar dipengaruhi oleh komposisi unsur-unsur penyusun bahan bakar tersebut. Semakin tinggi konsentrasi biodiesel dalam campuran bahan bakar, semakin rendah nilai kalor bahan bakar tersebut. Daya maksimum sebesar 25,86 kW terjadi pada saat mesin beroperasi pada 2800 rpm dan beban 25 kg menggunakan minyak solar. Daya minimum diperoleh 2,93 kW dengan beban B30 dan 10 kg pada 1000 rpm. Konsumsi bahan bakar spesifik minimum diperoleh 225,39 gr/kWh pada 2800 rpm dengan minyak solar untuk beban 25 kg. Efisiensi termal maksimum adalah 38,14% dengan menggunakan minyak solar pada 2800 rpm dan beban 25 kg. Emisi gas buang saat mesin menggunakan B10 dan B30 mengalami penurunan untuk CO dan UHC serta meningkat untuk CO<sub>2</sub> dan NO<sub>x</sub>. Hasil analisis regresi menunjukkan bahwa koefisien determinasi adalah 93,5% yang menyatakan bahwa pengaruh daya mesin dan konsumsi bahan bakar spesifik terhadap efisiensi termal adalah 93,5%.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. McCaffery *et al.*, “Real-world NO<sub>x</sub> emissions from heavy-duty diesel, natural gas, and diesel hybrid electric vehicles of different vocations on California roadways,” *Sci. Total Environ.*, vol. 784, p. 147224, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.147224.
- [2] A. G. Olabi, D. Maizak, and T. Wilberforce, “Review of the regulations and techniques to eliminate toxic emissions from diesel engine cars,” *Sci. Total Environ.*, vol. 748, p. 141249, 2020, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.141249.
- [3] J. Yuan and X. Luo, “Regional energy security performance evaluation in China using MTGS and SPA-TOPSIS,” *Sci. Total Environ.*, vol. 696, 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.133817.
- [4] S. N. Gebremariam and J. M. Marchetti, “Economics of biodiesel production: Review,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 168, pp. 74–84, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.05.002.
- [5] X. Zhou and C. Feng, “The impact of environmental regulation on fossil energy consumption in China: Direct and indirect effects,” *J. Clean. Prod.*, vol. 142, pp. 3174–3183, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.10.152.
- [6] S. Dharma, H. C. Ong, H. H. Masjuki, A. H. Sebayang, and A. S. Silitonga, “An overview of engine durability and compatibility using biodiesel–bioethanol–diesel blends in compression-ignition engines,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 128, pp. 66–81, 2016, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.08.072>.
- [7] J. M. Marchetti, “A summary of the available technologies for biodiesel production based on a comparison of different feedstock’s properties,” *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 90, no. 3, pp. 157–163, 2012, doi: 10.1016/j.psep.2011.06.010.
- [8] F. Yaşar, “Comparison of fuel properties of biodiesel fuels produced from different oils to determine the most suitable feedstock type,” *Fuel*, vol. 264, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2019.116817.
- [9] T. B. Sitorus, F. Ariani, and Z. Lubis, “Efek Bahan Bakar Biodiesel Dari Minyak Kedelai Terhadap Emisi Gas Buang Dan Temperatur Ruang Bakar Mesin Diesel,” *Simetris J. Tek. Mesin, Elektro dan Ilmu Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 1083–1090,



- 2018, doi: 10.24176/simet.v9i2.2569.
- [10] D. Singh *et al.*, “A comprehensive review of biodiesel production from waste cooking oil and its use as fuel in compression ignition engines: 3rd generation cleaner feedstock,” *J. Clean. Prod.*, vol. 307, no. May 2020, p. 127299, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2021.127299.
- [11] T. N. Verma *et al.*, “A comprehensive review of the influence of physicochemical properties of biodiesel on combustion characteristics, engine performance and emissions,” *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 8, no. 4, pp. 510–533, 2021, doi: 10.1016/j.jtte.2021.04.006.
- [12] W. W. Pulkhabek, “Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, 2nd Ed.,” *J. Eng. Gas Turbines Power*, vol. 126, no. 1, pp. 198–198, 2004, doi: 10.1115/1.1669459.
- [13] John B. Heywood., “Internal combustion engine fundamentals,” *Choice Rev. Online*, vol. 26, no. 02, pp. 26-0943-26–0943, 1988, doi: 10.5860/choice.26-0943.
- [14] Q. Tong *et al.*, “Experimental studies of combustion and emission characteristics of diesel engine fueled with diesel/cyclopentanone blend,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 6756–6768, 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.09.155.
- [15] Q. Ma, Q. Zhang, J. Liang, and C. Yang, “The performance and emissions characteristics of diesel/biodiesel/alcohol blends in a diesel engine,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 1016–1024, 2021, doi: 10.1016/j.egyr.2021.02.027.