Journal of Innovative and Creativity
Journal Homepage: https://joecy.org/index.php/joecy
e-mail: journaljoecy@gmail.com

Faculty of Education
University of Pahlawan Tuanku Tambusai
ISSN 2775-771X (Online)
ISSN 2962-570X (Printed)
5 (2) 2025, Page: 19005-19016

Analisis Performa Mesin Diesel Menggunakan Campuran Biodiesel dari Minyak Jelantah–Dexlite dengan Pengaturan Waktu Injeksi Bahan Bakar

M. Chalid Kurnia[1], Dori Yuvenda[2], Yolli Fernanda[3], Sri Rizki Putri Primandari[4], Muhammad Raihan[5]
[1,2,3,4,5]Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Corresponding Author: Dori Yuvenda, e-mail: doriyuvenda@ft.unp.ac.id

Published: Agust, 2025

ABSTRAK

Krisis energi dan peningkatan emisi gas rumah kaca akibat penggunaan bahan bakar fosil mendorong pengembangan energi alternatif yang ramah lingkungan. Biodiesel dari minyak jelantah menjadi salah satu solusi berkelanjutan karena ketersediaannya yang melimpah dan sifatnya yang terbarukan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mesin diesel generator Yanmar TF 105 MR-di yang menggunakan campuran biodiesel dari minyak jelantah (B30, B40, B50) dengan optimasi waktu injeksi bahan bakar (16°, 17°, 18°, dan 19° sebelum TMA) pada kecepatan konstan 2000 rpm dan beban 1000–4000 watt. Parameter yang diuji meliputi daya, torsi, konsumsi bahan bakar spesifik (SFC), dan efisiensi termal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran B30 dengan waktu injeksi 18° sebelum TMA memberikan performa terbaik, dengan efisiensi termal tertinggi dan nilai SFC yang lebih rendah dibandingkan campuran lainnya. Pengaturan waktu injeksi berpengaruh signifikan terhadap karakteristik pembakaran dan kinerja mesin, dimana waktu injeksi yang terlalu awal atau terlambat dapat menurunkan efisiensi dan meningkatkan konsumsi bahan bakar. Penelitian ini membuktikan bahwa optimasi waktu injeksi penting untuk mengkompensasi perbedaan sifat fisikokimia biodiesel, serta membuka peluang pemanfaatan minyak jelantah sebagai bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dan ekonomis.

Keywords: mesin diesel, biodiesel, minyak jelantah, waktu injeksi, performa mesin

ABSTRACT

The energy crisis and increasing greenhouse gas emissions due to the use of fossil fuels encourage the development of environmentally friendly alternative energy. Biodiesel from used cooking oil is one of the sustainable solutions due to its abundant availability and renewable nature. This study aims to analyze the performance of the Yanmar TF 105 MR-di diesel generator engine using biodiesel blends from used cooking oil (B30, B40, B50) with optimized fuel injection timing (16°, 17°, 18°, and 19° before TDC) at a constant speed of 2000 rpm and a load of 1000–4000 watts. The parameters tested include power, torque, specific fuel consumption (SFC), and thermal efficiency. The results showed that the B30 blend with an injection timing of 18° before TDC provided the best performance, with the highest thermal efficiency and lower SFC values compared to other blends. Injection timing significantly affects combustion characteristics and engine performance, where injection timing that is too early or too late can reduce efficiency and increase fuel consumption. This research proves that optimizing injection timing is important to compensate for differences in the physicochemical properties of biodiesel, as well as opening up opportunities for utilizing used cooking oil as an environmentally friendly and economical alternative fuel.
Keywords: diesel engine, biodiesel, waste cooking oil, injection timing, engine performance
Keywords: Economic Growth, Unemployment Rate, Linear Regression, Indonesia.

© The Author(s). 2021 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Atibution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit http://creativecommons.org/licenses/by/4.0

PENDAHULUAN

Peningkatan kebutuhan energi global dan dampak lingkungan dari penggunaan bahan bakar fosil telah mendorong pencarian sumber energi alternatif yang lebih ramah lingkungan. Ketergantungan pada bahan bakar fosil seperti solar tidak hanya mempercepat habisnya cadangan energi, tetapi juga menimbulkan emisi gas rumah kaca yang berkontribusi terhadap perubahan iklim

(IPCC, 2021; BP, 2022). Dalam konteks ini, biodiesel dari minyak jelantah muncul sebagai salah satu solusi potensial karena bersifat terbarukan, ramah lingkungan, dan memanfaatkan limbah rumah tangga yang melimpah (Setiyo et al., 2021).

Biodiesel dari minyak jelantah memiliki beberapa keunggulan, di antaranya biaya produksi yang rendah, ketersediaan bahan baku yang melimpah, serta kemampuan untuk mengurangi limbah berbahaya di lingkungan (Setiyo et al., 2021). Selain itu, pemanfaatan biodiesel dari minyak jelantah juga memberikan kontribusi positif dalam pengelolaan limbah dan pengurangan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil (Rahmawati et al., 2020). Namun, biodiesel memiliki kelemahan seperti viskositas tinggi dan angka setana rendah yang dapat memengaruhi kinerja mesin jika tidak dilakukan penyesuaian sistem, seperti pengaturan waktu injeksi bahan bakar (Setiyo et al., 2021).

Optimasi sistem pembakaran, termasuk pengaturan waktu injeksi, sangat berpengaruh terhadap efisiensi dan emisi pada mesin diesel berbahan bakar biodiesel (Rahmawati et al., 2020). Hal ini sejalan dengan penelitian (Yuvenda et al., 2019) yang menunjukkan bahwa pengaturan waktu injeksi pada mesin diesel dual fuel (diesel/CNG) dapat meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi emisi berbahaya seperti HC dan CO. Penelitian tersebut membuktikan bahwa waktu injeksi yang tepat dapat mengoptimalkan proses pembakaran, sehingga meningkatkan kinerja mesin dan mengurangi dampak lingkungan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi waktu injeksi terhadap kinerja mesin diesel berbahan bakar campuran biodiesel dari minyak jelantah dan dexlite. Fokus penelitian meliputi daya, torsi, efisiensi termal, dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC). Dengan mengeksplorasi optimasi waktu injeksi, penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi praktis untuk meningkatkan efisiensi mesin diesel berbahan bakar biodiesel sekaligus mendukung pemanfaatan energi terbarukan berbasis limbah.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan metode eksperimental untuk menganalisis performa mesin diesel yang menggunakan campuran biodiesel dari minyak jelantah dengan variasi waktu injeksi bahan bakar pada mesin diesel.

Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan terdiri dari campuran biodiesel yang dibuat dari minyak jelantah dan dexlite. Minyak jelantah diperoleh dari sisa penggorengan rumah tangga dan diolah menjadi biodiesel melalui proses transesterifikasi dengan menggunakan metanol dan katalis NaOH. Proporsi campuran yang digunakan dalam pengujian ini adalah B30 (30% biodiesel dan 70% dexlite), B40 (40% biodiesel dan 60% dexlite), dan B50 (50% biodiesel dan 50% dexlite). Untuk mentukan perentase campuran bahan bakar biodiesel minyak jelantah dan dexlite dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\text{Volume Biodiesel } (V_{Biografi}) = \left(\frac{x}{100}\right) \text{x } V_{Total} \quad (1)$$

$$\text{Volume Dexlite } (V_{Dex}) = \left(\frac{100-x}{100}\right) \text{x } V_{Total} \quad (2)$$

Objek Uji dan Variabel Penelitian

Objek yang digunakan dalam pengujian adalah mesin diesel tipe Yanmar TF150-MR-DI. Mesin ini merupakan mesin diesel satu silinder, empat langkah, sistem injeksi langsung, berpendingin udara, dan memiliki kapasitas silinder 418 cc dengan spesifikasi mesin ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Spesifikasi mesin Yanmar 105 MR-di

1.	Jenis Mesin	Motor diesel horizontal 4 (empat) langkah berpendingin air
2.	Sistem Pembakaran	Pengabutan langsung (direct injection)
3.	Jumlah Silinder	1 (satu) silinder
4.	Saat Pengabutan	17^0 sebelum TMA
5.	Diameter x Panjang Langkah	88 mm x 96 mm
6.	Volume Silinder	583 cc
7.	Daya Kontinyu	9.5 dk / 2400rpm
8.	Daya Maksimum Sesaat	10.5 dk / 2400rpm
9	Torsi Maksimum	4.23 kg.m / 1600rpm
10.	Perbandingan Kompresi	17.9
11.	Arah Putaran Poros	Berlawanan dengan arah putaran jarum jam
12.	Pemakaian Bahan Bakar	186 gr / dk.jam
13.	Pompa Bahan Bakar	Tipe Bosch
14.	Tekanan Injektor	200 kg/cm^2
15.	Sistem Pelumasan	Pelumasan paksa menggunakan pompa & katup regulator hidrolik (pompa jenis trochoidal)
16.	Kapasitas Tangki Bahan Bakar	11 liter
17.	Kapasitas Minyak Pelumas	2.8 liter
18.	Jenis Minyak Pelumas	SAE 40 kelas CC atau CD
19.	Sistem Pendingin	Radiator
20.	Kapasitas Tangki Pendingin	2.3 liter
21.	Cara Menghidupkan	Manual
22.	Dimensi Mesin (P x L x T)	695 mm x 348.5 mm x 530 mm
23.	Lampu	5000 watt
24	Berat kosong	106 Kg
25.	Ukuran Kemasan (P x L x T)	910 mm x 500 mm x810 mm
26.	Berat Kotor	151 kg

Varibel penelitian dengan melakukan pengaturan waktu injeksi yang dapat disesuaikan pada mesin dengan menambah atau mengurangi shim plate pada rumah pompa injeksi. Waktu injeksi yang digunakan dalam penelitian adalah 16°, 17°, 18°, dan 19° sebelum titik mati atas (BTDC). Variabel Penelitian yang dilakukan dalam penelitian ditunjukkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Variabel Penelitian

Variabel Bebas				Variabel Terikat
Putaran (RPM)	Beban (Watt)	Bahan Bakar	Waktu Injeksi (BTDC)	Peforma Mesin Diesel
2000	1000, 2000, 3000, 4000	1. Dexlite 2. Campuran Biodiesel (B30, B40, B50,)	16°, 17°, 18°, 19°	1. Daya 2. Torsi 3. Specific fuel consumption 4. Efesiensi Thermal

Prosedur Penelitian

Langkah-langkah kerja pengujian sebagai berikut:

1. Melakukan pencampuran bahan bakar (biodiesel dan dexlite) sesuai komposisi sebelum pengambilan data.
2. Menghubungkan slang dari stand buret ke ruang pembakaran mesin diesel.
3. Menyalakan mesin dengan memutar poros engkol menggunakan bahan bakar awal (dexlite) sebanyak 50 ml, kemudian memanaskan mesin hingga habis.
4. Mengganti bahan bakar dengan campuran baru (masing-masing 50 ml), lalu melakukan pengambilan data untuk setiap jenis bahan bakar.
5. Menyetel waktu injeksi bahan bakar ke variasi 16°, 17°, 18°, dan 19° sebelum titik mati atas (BTDC).
6. Menyalakan lampu beban dengan variasi 1000, 2000, 3000, dan 4000 watt, lalu menyetel putaran mesin ke 2000 rpm.
7. Mengukur waktu konsumsi bahan bakar untuk 20 ml menggunakan stopwatch.
8. Mencatat tegangan (voltase) yang terbaca pada voltmeter.
9. Mencatat arus (ampere) dari amperemeter.
10. Melakukan prosedur yang sama pada semua jenis bahan bakar dan variasi waktu injeksi.

Parameter Pengukuran

1. Daya efektif(Power)

   Pengukuran daya melibatkan pengukuran tegangan listrik (V) dan arus listrik (I) yang keluar dari generator karena pergerakan oleh putaran poros mesin yang dinyatakan dalam watt.

Besarnya daya poros dihitung dengan menggunakan rumus berikut: (Yuvenda, D., & Sudarmanta, B., 2015)

$$Ne = \frac{v\ x\ I\ x\ \cos\theta}{0{,}746\ x\ \eta mg\ x\ \eta t}$$

Dimana :

Ne : daya efektif (hp)

v : tegangan listrik (volt)

I : arus listrik (ampere)

$\cos\theta$: faktor daya = 1 (konstan)

ηmg : efesiensi mekanis generator = 0,95

ηt : efesiensi transmisi = memakai belt nilainya 0,91

1 hp : 0,746 Kwatt

2. Torsi (Torque)

Torsi dari mesin berguna untuk mengatasi hambatan sewaktu berkendara, ataupun terperosok. Torsi mesin dihitung dengan menggunakan rumus berikut: (Yuvenda, D., & Sudarmanta, B., 2015)

$$Mt = \frac{72610\ .Ne}{n}\ (kg\ .cm)$$

Dimana :

Mt : torsi momen (moment torque)

Ne : daya efektif

n : RPM

3. Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (Specific Fuel Consumption/SFC)

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) adalah besarnya konsumsi bahan bakar per satuan daya yang dihasilkan mesin dalam satu jam. SFC menunjukkan efisiensi pemakaian bahan bakar oleh mesin dalam menghasilkan tenaga. Satuan yang digunakan adalah kg/kWh. Rumus yang digunakan untuk menghitung SFC adalah sebagai berikut: (Yuvenda, D., & Sudarmanta, B., 2015)

$$Scf = \frac{3600\ .\left(\rho bb\ x\ \frac{v}{t}\right)}{Ne\ .s}$$

Dimana :

Sfc : bahan bakar spesifik

Ne : daya efektif (hp)

v : volume bahan bakar

ρbb : massa jenis bahan bakar (kg/liter)

t : waktu konsumsi bahan bakar (s)

s : pengali penyesuaian satuan

4. Efisiensi Termal (Thermal Efficiency)

Efisiensi termal merupakan perbandingan antara energi yang berguna (dalam bentuk daya efektif yang dihasilkan mesin) dengan energi total yang masuk ke mesin dari bahan bakar. Semakin tinggi efisiensi termal, semakin besar proporsi energi dari bahan bakar yang diubah menjadi tenaga gerak, tidak hilang saat panas atau menyala. Rumus efisiensi termal yang digunakan adalah: (Yuvenda, D., & Sudarmanta, B., 2015)

$$\eta th = \frac{Ne}{mbb\ x\ Qdiesel}\ x\ 100\%$$

Dimana:

ηth : efisiensi termal

Ne : daya efektif (hp)

mbb : masflowrate bahan bakar yang dikonsumsi engine (kg/s)

Qdiesel : nilai kalor

Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut:

1. Engine generator set (Yanmar TF 105MR-di)
2. Generator
3. Lampu 5000 watt
4. Gelas ukur berukuran 50 ml
5. Stopwatch
6. RPM tester (tachometer)

Adapun bahan yang dibutuhkan dalam penelitian adalah dexlite dengan kandungan sulfur maksimal 1200 rpm dan bahan bakar biodiesel (FAME) minyak jelantah.

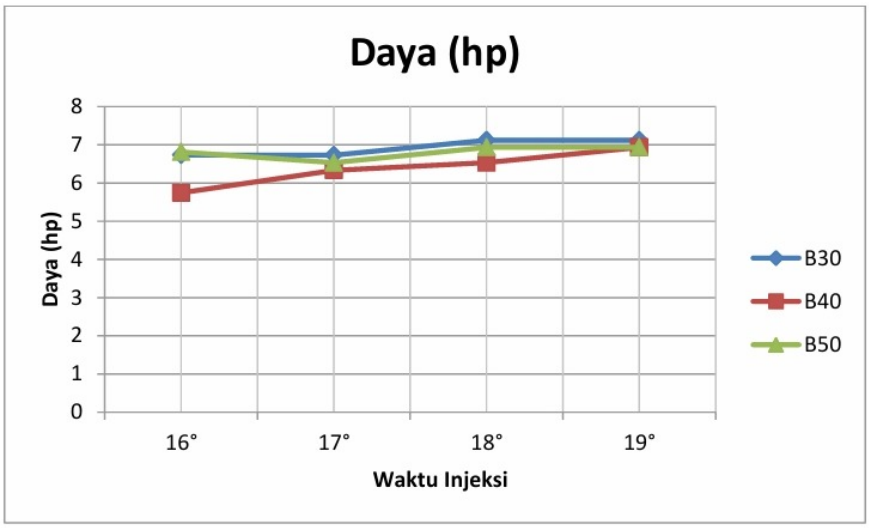
Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengujian kemudian direkapitulasi dan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Analisis dilakukan secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan pengaruh masing-masing campuran biodiesel dan waktu injeksi terhadap nilai daya, torsi, efisiensi termal, dan konsumsi bahan bakar spesifik. Hasil yang paling optimal dipilih berdasarkan kriteria performa mesin terbaik dan emisi gas buang yang minimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Mesin

Daya efektif merupakan salah satu indikator utama dalam mengevaluasi performa mesin diesel. Daya ini menunjukkan seberapa besar energi pembakaran bahan bakar yang berhasil dikonversi menjadi kerja mekanis pada poros output. Dalam penelitian ini, pengaruh variasi waktu injeksi bahan bakar terhadap daya mesin dianalisis pada tiga jenis campuran biodiesel: B30, B40, dan B50, dengan beban konstan sebesar 4000 watt dan putaran mesin tetap 2000 rpm. Grafik hubungan antara waktu injeksi bahan bakar dan daya mesin diesel pada kondisi beban penuh ditunjukkan pada gambar 1.



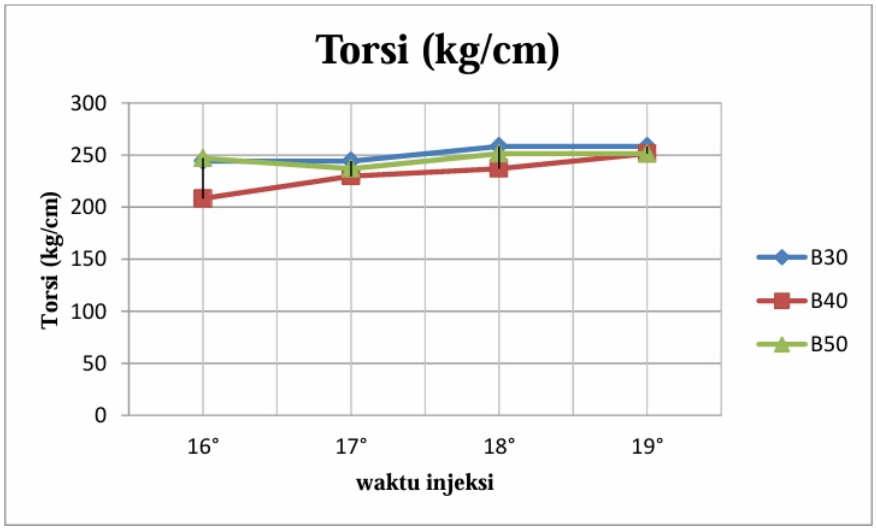
Gambar 1. Grafik Daya Mesin terhadap Variasi Waktu Injeksi (16°–19° BTDC) pada Beban 4000 W untuk Bahan Bakar B30, B40, dan B50

Dari gambar 1 terlihat bahwa waktu injeksi berpengaruh signifikan terhadap output daya mesin, pengujian menunjukkan bahwa daya tertinggi dicapai pada campuran bahan bakar B30 dengan waktu injeksi 18° sebelum titik mati atas (BTDC), yaitu sebesar 7,12 HP. Kondisi ini terjadi karena pembakaran berlangsung optimal tepat setelah piston mencapai TMA, sehingga tekanan pembakaran dimanfaatkan sepenuhnya untuk menghasilkan tenaga. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi B30 dan waktu injeksi 18° sangat efektif dalam mengubah energi kimia bahan bakar menjadi energi mekanik, menghasilkan performa mesin yang maksimal..

Torsi Mesin

Torsi adalah gaya puntir yang dihasilkan oleh mesin pada poros engkol akibat tekanan pembakaran dalam silinder. Parameter ini menjadi sangat penting untuk mengetahui seberapa besar kemampuan mesin dalam menggerakkan beban. Dalam penelitian ini, pengaruh variasi waktu injeksi bahan bakar terhadap torsi mesin dianalisis pada tiga jenis campuran biodiesel B30, B40, dan B50 dengan kondisi beban tetap sebesar 4000 watt dan kecepatan mesin 2000 rpm.

Untuk menggambarkan kecenderungan torsi terhadap waktu injeksi, gambar 2 berikut menyajikan hubungan antara sudut injeksi (dalam derajat sebelum TMA) dan output torsi yang dihasilkan oleh masing-masing bahan bakar.

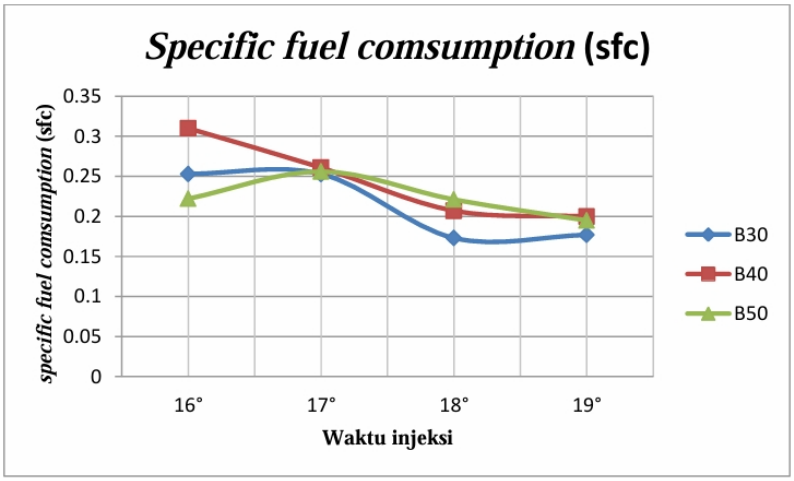


Gambar 2. Grafik Torsi Mesin terhadap Variasi Waktu Injeksi (16°–19° BTDC) pada Beban 4000 W untuk B30, B40, dan B50

Gambar 2 menunjukkan bahwa campuran B30 menghasilkan torsi paling tinggi dan paling stabil di antara ketiga jenis bahan bakar. Hasil torsi paling tinggi dicatat pada campuran B30 dengan waktu injeksi 18° BTDC, yaitu sebesar 258,4 kg·cm. Peningkatan ini disebabkan oleh tekanan pembakaran yang terjadi pada saat posisi piston berada di titik paling efektif untuk menghasilkan gaya puntir maksimal. Torsi yang tinggi ini menunjukkan bahwa mesin memiliki kemampuan lebih besar dalam menggerakkan beban, sehingga sangat cocok untuk aplikasi yang membutuhkan tenaga dorong tinggi.

Specific Fuel Consumption (SFC)

Specific Fuel Consumption (SFC) atau konsumsi bahan bakar spesifik merupakan indikator penting dalam mengukur efisiensi pembakaran mesin. Nilai SFC menunjukkan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi untuk menghasilkan satu satuan daya dalam satu jam. Nilai SFC yang lebih rendah menunjukkan efisiensi pembakaran yang lebih baik. Dalam penelitian ini, dilakukan analisis terhadap pengaruh variasi waktu injeksi bahan bakar terhadap SFC mesin diesel pada beban penuh (4000 watt), dengan tiga jenis bahan bakar: B30, B40, dan B50.

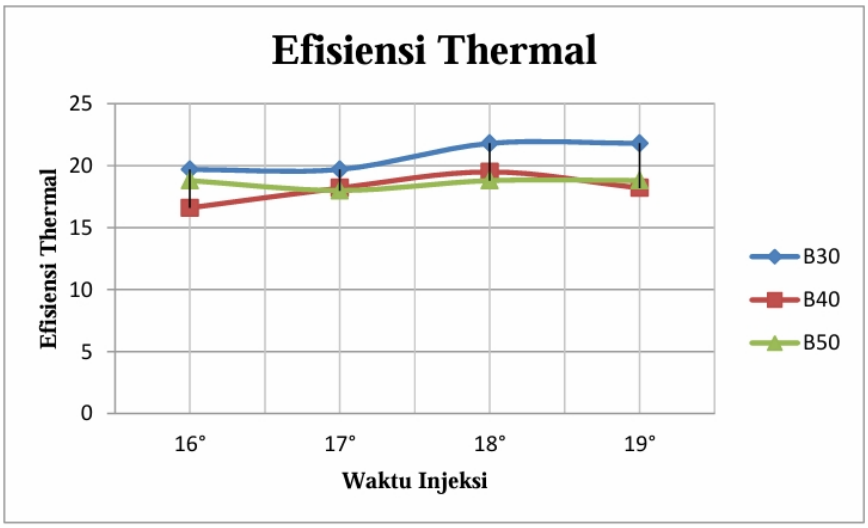


Gambar 3. Grafik SFC terhadap Variasi Waktu Injeksi (16°–19° BTDC) pada Beban 4000 W untuk B30, B40, dan B50

Dari grafik pada gambar 3, Konsumsi bahan bakar spesifik terendah ditemukan pada campuran B30 pada waktu injeksi 18°, yaitu sebesar 0,173 kg/HP·jam. Ini berarti pembakaran pada kondisi tersebut berlangsung sangat efisien karena bahan bakar memiliki waktu yang cukup untuk bercampur dengan udara sebelum terbakar. Rendahnya nilai SFC menunjukkan efisiensi pembakaran yang tinggi, yang berdampak pada penghematan konsumsi bahan bakar dan peningkatan kinerja mesin secara keseluruhan.

Efisiensi Termal

Efisiensi termal merupakan ukuran seberapa besar energi kimia dari bahan bakar yang berhasil dikonversikan menjadi energi mekanik yang berguna. Dalam konteks mesin diesel berbahan bakar campuran biodiesel, efisiensi ini sangat dipengaruhi oleh karakteristik bahan bakar dan waktu injeksi. Penelitian ini mengamati pengaruh waktu injeksi (16°, 17°, 18°, dan 19° BTDC) terhadap efisiensi termal pada tiga jenis campuran biodiesel: B30, B40, dan B50, dengan beban maksimum 4000 watt dan putaran mesin tetap 2000 rpm. Hubungan antara waktu injeksi dan efisiensi termal ditampilkan pada gambar 4 berikut.



Gambar 4. Grafik Efisiensi Termal terhadap Variasi Waktu Injeksi pada Beban 4000 W untuk Bahan Bakar B30, B40, dan B50

Berdasarkan grafik pada gambar 4 tersebut, Efisiensi termal tertinggi dicapai pada campuran B30 dengan waktu injeksi 18° BTDC, yaitu sebesar 21,8%. Efisiensi ini menunjukkan bahwa sebagian besar energi panas dari bahan bakar berhasil dikonversi menjadi tenaga mekanis. Campuran B30 yang masih dominan dexlite memiliki waktu pengapian yang lebih cepat, sehingga menghasilkan pembakaran yang lebih sempurna dan efisien. Hal ini memperkuat bahwa waktu injeksi yang tepat sangat penting dalam memaksimalkan efisiensi energi mesin diesel.

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja mesin diesel menggunakan campuran biodiesel dari minyak jelantah dengan bahan bakar dexlite melalui variasi waktu injeksi bahan bakar. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran B30 dengan waktu injeksi 18° sebelum titik mati atas (BTDC) memberikan performa paling optimal, ditunjukkan oleh daya dan efisiensi termal tertinggi serta konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) terendah. Sebaliknya, campuran B50 dengan waktu injeksi 16° BTDC menunjukkan penurunan performa yang signifikan akibat tingginya viskositas dan rendahnya nilai kalor.

Dengan demikian, penggunaan biodiesel dari minyak jelantah sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel dinyatakan layak, selama pengaturan waktu injeksi disesuaikan dengan karakteristik bahan bakar. Pengaturan waktu injeksi terbukti menjadi parameter krusial dalam mengoptimalkan pembakaran dan meningkatkan efisiensi mesin.

Implementasi hasil penelitian ini dapat diterapkan pada sistem mesin diesel skala kecil hingga menengah tanpa perlu modifikasi besar, serta mendorong pemanfaatan minyak jelantah sebagai energi terbarukan berbasis limbah. Selain itu, penelitian ini mendukung pengembangan kebijakan energi alternatif dan program pemberdayaan masyarakat melalui pengumpulan dan pemanfaatan limbah minyak jelantah. Untuk pengembangan lebih lanjut, diperlukan studi lanjutan terhadap

dampak jangka panjang pada emisi dan keausan mesin, serta integrasi teknologi injeksi modern untuk meningkatkan efisiensi dan kekurangan penggunaan biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

Aziz, A. (2015). Studi pemanfaatan minyak jelantah menjadi biodiesel. Jurnal Teknik Mesin, 3(2), 291–297.

Atabani, A. E., Silitonga, A. S., Badruddin, I. A., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., Mekhilef, S. (2012). A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(4), 2070–2093.

BP Statistical Review of World Energy. (2022). Statistical Review. Retrieved from: https://www.bp.com

Hoekman, S. K., Broch, A., Robbins, C., Ceniceros, E., Natarajan, M. (2012). Review of biodiesel composition, properties, and specifications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 16(1), 143–169.

IPCC. (2021). Sixth Assessment Report: Climate Change 2021. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Kalam, M. A., & Masjuki, H. H. (2013). Biodiesel from waste cooking oil: Characteristics, engine performance and emissions. Energy Education Science and Technology Part A: Energy Science and Research, 32(2), 173–190.

Kumar, N., Dinesha, P., & Ravindra, B. C. (2020). Effect of injection timing on performance and emission characteristics of diesel engine using biodiesel blends. Journal of Cleaner Production, 276, 123–136.

Moffjur, R., Luthfi, A., & Mahfud, M. (2021). Analisa performa mesin diesel menggunakan campuran biodiesel B20–B50. Jurnal Teknik Mesin, 9(1), 1–10.

Muchtar, R. (2016). Pemanfaatan limbah minyak goreng menjadi biodiesel. Jurnal Teknik Kimia, 12(1), 15–20.

Silitonga, A. S., Mahlia, T. M. I., Masjuki, H. H., & Ong, H. C. (2021). Potensi minyak jelantah sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel. Renewable Energy, 50, 1245–1263.

Yasin, M. H. M., Mamat, R., Yusop, A. F., & Rahim, R. (2022). The effect of waste cooking oil biodiesel on diesel engine performance and emissions with optimized injection timing. Fuel, 310, 122–134.

Yusaf, T., Najafi, G., Yusaf, K., & Mamat, R. (2015). Effect of injection timing on the performance and emissions of a diesel engine using biodiesel-diesel blends. Renewable Energy, 76, 362–368.

GIMNI – Gabungan Industri Minyak Nabati Indonesia. (2019). Data Konsumsi Minyak Goreng Nasional. (Sumber dikutip di skripsi sebagai data tahunan migor).

Setiyo, M., Purnomo, MH, Widhiyanuriyawan, D., & Widodo, T. (2021). Minyak goreng bekas sebagai bahan bakar alternatif: Analisis produksi, karakteristik, dan kinerja – Sebuah tinjauan. Jurnal Internasional Penelitian Energi Terbarukan (IJRER), 11 (3), 1107–1117.

Rahmawati, S., Widodo, T., & Hadiyanto. (2020). Pengaruh waktu injeksi terhadap unjuk kerja dan emisi mesin diesel DI berbahan bakar biodiesel minyak jelantah. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, 8 (1), 18–23.

Yuvenda, D., Sudarmanta, B., Wahjudi, A., & da Silva, J. (2019). Characterization of Engine Performance, Combustion Process and Emission of Diesel/CNG Dual Fuel Engines with Pilot Injection Timing Variation at Low Load. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 588, 012005.