

Unjuk Kerja Mesin Diesel Berbahan Bakar Campuran Biodiesel Jatropha- Jelantah 1:9

Wahyudi*¹, Muhammad Nadjib¹, Yogi Purnomo Aji²

¹Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

²Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta
Jalan Brawijaya, Tamantirto, Kasihan, Bantul, DI Yogyakarta, Indonesia, 55183

*Corresponding author: wahyudi@ft.umy.ac.id

Abstract

In the context of a rapidly growing industry and increasing energy needs, the dwindling sources of fossil fuels prompt the necessity for alternative fuels. This study focuses on the performance of diesel engines running on a blended biodiesel made from jatropha oil and waste cooking oil in a 1:9 ratio. The aim of this study is to investigate the effects of biodiesel fuel made from jatropha oil and waste cooking oil on diesel engine performance and fuel physical properties. The tests include an evaluation of the fuel's physical properties, injection characteristics, engine speed, generated power, and specific fuel consumption (SFC). Results indicate that although this blended biodiesel has higher density and viscosity compared to diesel, it offers promising calorific value and spray angle. Moreover, engines using this fuel showed relatively stable engine speeds and power outputs, along with efficient SFC at higher loads. The jatropha-waste cooking oil biodiesel blend shows potential as a sustainable and environmentally-friendly alternative fuel.

Keywords: biodiesel; jatropha; waste cooking oil; specific fuel consumption

Abstrak

Dalam konteks industri yang berkembang pesat dan meningkatnya kebutuhan energi, sumber bahan bakar fosil yang semakin terbatas memicu kebutuhan untuk bahan bakar alternatif. Penelitian ini berfokus pada unjuk kerja mesin diesel yang menggunakan campuran biodiesel dari minyak jatropha dan minyak jelantah dengan komposisi 1:9. Penelitian ini bertujuan untuk menginvestigasi pengaruh bahan bakar biodiesel yang terbuat dari minyak jatropha dan minyak jelantah terhadap kinerja mesin diesel dan sifat fisik bahan bakar. Pengujian mencakup evaluasi sifat fisik bahan bakar, karakteristik injeksi, kecepatan putar mesin, daya yang dihasilkan, dan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC). Hasil menunjukkan bahwa meskipun campuran biodiesel ini memiliki densitas dan viskositas yang lebih tinggi dibandingkan solar, namun memberikan nilai kalor dan sudut injeksi yang cukup baik. Selain itu, mesin dengan bahan bakar ini menunjukkan kecepatan putar mesin dan daya yang relatif stabil, serta SFC yang efisien pada beban yang lebih tinggi. Kombinasi biodiesel jatropha-jelantah ini menunjukkan potensi sebagai alternatif bahan bakar yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Keywords: biodiesel; jatropha; jelantah; konsumsi bahan bakar spesifik

1. Pendahuluan

Dalam beberapa dekade terakhir, industrialisasi dan perkembangan teknologi telah mendorong kebutuhan energi ke tingkat yang belum pernah terjadi sebelumnya. Mesin diesel, sebagai salah satu penggerak utama dalam sektor transportasi dan industri, memegang peranan penting dalam memenuhi kebutuhan ini [1]. Namun, bahan bakar fosil yang selama ini menjadi andalan mesin diesel menghadapi dua tantangan

utama. Pertama, ketersediaannya yang semakin terbatas karena merupakan sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui. Kedua, emisi gas buang dari bahan bakar fosil menjadi salah satu penyebab utama polusi udara dan perubahan iklim [2]. Oleh karena itu, ada kebutuhan mendesak untuk menemukan alternatif bahan bakar yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Biodiesel dari minyak nabati telah menjadi salah satu solusi yang menarik untuk menggantikan atau setidaknya



mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil [3]. Biodiesel memiliki beberapa kelebihan, termasuk biodegradabilitas yang lebih tinggi dan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah [4]. Akan tetapi, salah satu kekurangan utama biodiesel adalah bahwa banyak bahan baku yang digunakan—seperti minyak kelapa sawit dan minyak kedelai—adalah bahan pangan [5]. Ini menimbulkan masalah etika dan keberlanjutan, karena lahan yang seharusnya digunakan untuk produksi pangan dialihkan untuk produksi energi [6].

Jatropha adalah tanaman yang telah banyak dikenal sebagai sumber minyak nabati yang potensial untuk biodiesel. Kelebihan utama jatropha adalah bahwa tanaman ini dapat tumbuh di lahan yang kurang subur, sehingga tidak bersaing langsung dengan lahan untuk produksi pangan [7]. Namun, salah satu kelemahan dari minyak jatropha adalah viskositasnya yang lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar diesel standar, yang bisa mempengaruhi unjuk kerja mesin [8].

Minyak jelantah adalah minyak yang sudah digunakan dan biasanya dibuang sebagai limbah [9]. Penggunaan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel tidak hanya membantu mengurangi limbah, tetapi juga menawarkan solusi biaya-efektif [10]. Namun, minyak jelantah sering mengandung kotoran dan air, yang bisa mempengaruhi kualitas biodiesel.

Selama beberapa tahun terakhir, minyak jatropha dan minyak jelantah telah menarik perhatian para peneliti sebagai bahan baku potensial untuk produksi biodiesel [11]. Sejumlah penelitian telah dilakukan untuk mengkaji unjuk kerja, emisi, serta aspek lainnya dari biodiesel yang berasal dari kedua jenis minyak tersebut. Hasil-hasil dari penelitian tersebut menunjukkan bahwa kedua minyak ini memiliki potensi untuk menjadi alternatif bahan bakar yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Namun, sejauh ini, kombinasi dari kedua minyak ini belum

banyak dieksplorasi. Padahal, menggabungkan karakteristik unik dari minyak jatropha dan minyak jelantah dapat memberikan solusi yang lebih holistik dalam menghadapi tantangan yang ada di industri biodiesel saat ini [12].

Mengingat kelebihan dan kekurangan dari masing-masing bahan baku, ide untuk menggabungkan minyak jatropha dan minyak jelantah dalam komposisi 1:9 menjadi sebuah konsep yang menarik. Kombinasi ini diharapkan akan saling menguntungkan; minyak jatropha dapat meningkatkan kualitas minyak jelantah, sementara minyak jelantah dapat membantu menurunkan viskositas minyak jatropha. Dengan ini, diharapkan akan tercipta biodiesel yang tidak hanya lebih berkelanjutan tetapi juga memiliki performa yang lebih baik.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk melakukan pengujian komprehensif terhadap unjuk kerja mesin diesel yang berbahan bakar campuran biodiesel jatropha-jelantah dengan komposisi 1:9. Analisis ini akan meliputi evaluasi terhadap sifat fisik biodiesel, termasuk viskositas, densitas, dan nilai kalor. Selain itu, akan dilakukan juga pengukuran karakteristik injeksi bahan bakar dan konsumsi bahan bakar spesifik. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam pengembangan biodiesel yang lebih berkelanjutan dan lebih efisien.

2. Metode Penelitian

2.1. Bahan

Dalam studi ini, dua jenis minyak digunakan sebagai bahan baku untuk biodiesel: minyak jatropha dan minyak goreng bekas. Minyak jatropha diperoleh dari toko TEKUN JAYA Yogyakarta, sementara minyak goreng bekas didapatkan dari pasar setempat. Karakteristik fisik dari kedua jenis minyak dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1 Sifat fisik minyak nabati

Bahan Baku	Densitas (kg/m ³)	Viskositas (cSt)	Titik Nyala (°C)	Nilai Kalor (kal/g)
Minyak Jatropha	904,97	48,1	223,3	8867,0253
Minyak Jelantah	842,19	7,4	186,3	9527,6428

2.2. Proses Produksi Biodiesel

Untuk menghasilkan biodiesel, beberapa langkah ditempuh, termasuk esterifikasi, transesterifikasi, serta proses pencucian dan pengeringan. Karena kandungan asam lemak bebas pada minyak jatropha lebih dari 2%, diperlukan esterifikasi untuk menghindari reaksi penyabunan. Dalam sebuah reaktor, 1.000 mL minyak jatropha direaksikan dengan H₂SO₄ (1% v/v) dan metanol (20% v/v), dan diaduk selama satu jam pada 60°C.

Tahap berikutnya adalah transesterifikasi dari minyak jatropha, yaitu suatu reaksi antara trigliserida dan alkohol dengan bantuan katalis [13]. Transesterifikasi berlangsung selama satu jam pada 60°C menggunakan reaktor dengan kontrol temperatur. Minyak jatropha bereaksi dengan metanol dengan KOH sebagai katalisnya. Hasil dari proses ini adalah metil ester dan gliserol. Selanjutnya, proses pencucian dan pengeringan dilakukan pada biodiesel yang telah diseparasi. Biodiesel dicuci dengan air panas 15 ml sebanyak tiga kali dan dikeringkan pada 105°C selama 15 menit. Proses yang sama juga diterapkan pada minyak goreng bekas.

Kemudian, biodiesel dari jatropha dan dari minyak goreng bekas dicampur dengan rasio 1:9. Campuran ini diaduk selama satu jam pada 80°C dengan menggunakan alat pengaduk yang dilengkapi kontrol temperatur. Selanjutnya, campuran biodiesel ini dicampur dengan minyak solar pada tingkatan B5, B10, B15, dan B20.

2.3. Pengujian Karakteristik dan Performa Mesin Diesel

Setiap sampel diuji untuk menentukan karakteristik fisiknya, termasuk densitas, viskositas, nilai kalor, dan titik nyala. Selain itu, juga dilakukan uji injeksi untuk mengidentifikasi sudut injeksi bahan bakar. Evaluasi kinerja mesin diesel menggunakan mesin diesel Jiangdong. Beban diterapkan pada mesin dengan menggunakan lampu dari 1 hingga 5, masing-masing dengan daya 500 watt. Data yang diperoleh berupa kecepatan putar mesin, daya listrik, dan laju konsumsi bahan bakar. Konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) dihitung dari data-data tersebut.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1. Sifat Fisik Bahan Bakar

Syarat mutu biodiesel untuk viskositas adalah antara 2,3 cSt sampai 6 cSt, untuk densitas adalah antara 850 kg/m³ sampai 890 kg/m³, sedangkan untuk titik nyala bahan bakar minimal yaitu 100 °C [14]. Sifat fisik campuran biodiesel jarak – minyak goreng bekas dengan solar variasi B5, B10, B15 dan B20 dapat dilihat pada Tabel 2.

Densitas bahan bakar adalah massa bahan bakar per unit volume, biasanya diukur dalam kilogram per meter kubik (kg/m³). Densitas memiliki dampak langsung terhadap performa mesin dan efisiensi pembakaran. Bahan bakar dengan densitas yang lebih tinggi biasanya akan memiliki tingkat energi yang lebih tinggi per unit volume, sehingga dapat meningkatkan performa mesin [15]. Berdasarkan data yang diperoleh, densitas minyak jarak lebih tinggi (904,97 kg/m³) dibandingkan dengan minyak goreng bekas (842,19 kg/m³). Campuran biodiesel (B5, B10, B15, dan B20) menunjukkan

peningkatan densitas dari solar, dengan B20 memiliki densitas tertinggi sebesar 834,06 kg/m³. Ini mengindikasikan bahwa peningkatan fraksi biodiesel dalam

campuran menaikkan densitas bahan bakar, yang bisa berdampak pada efisiensi pembakaran.

Tabel 2. Perbandingan sifat fisik biodiesel variasi B5, B10, B15, B20 dan solar

Bahan Baku	Densitas (kg/m ³)	Viskositas (cSt)	Titik Nyala (°C)	Nilai Kalor (kal/g)
Solar	2,8	820,43	102,5	10545,1475
B5	3	829,50	107,6	10463,711
B10	3,4	830,70	109,3	10345,368
B15	3,6	833,23	113,9	10268,192
B20	3,8	834,06	117,4	10211,638
B100	6,26	853,33	195,7	9381,199

Viskositas adalah ukuran dari ketahanan aliran suatu cairan, biasanya diukur dalam centiStokes (cSt). Viskositas bahan bakar sangat penting karena mempengaruhi injeksi dan atomisasi bahan bakar di dalam mesin [16]. Minyak jarak memiliki viskositas yang cukup tinggi (48,1 cSt) dibandingkan dengan minyak goreng bekas (7,4 cSt). Biodiesel jatropha-jelantah dalam campuran dengan solar menunjukkan peningkatan viskositas yang berbanding lurus dengan konsentrasi biodiesel [17], dengan B20 memiliki viskositas 3,8 cSt.

Nilai kalor atau nilai energi dari bahan bakar menggambarkan sejauh mana bahan bakar dapat menghasilkan energi saat terbakar, biasanya diukur dalam kalori per gram (kal/g). Minyak goreng bekas memiliki nilai kalor yang lebih tinggi (9527,6428 kal/g) dibandingkan dengan minyak jarak (8867,0253 kal/g). Sementara itu, solar memiliki nilai kalor tertinggi (10545,1475 kal/g). Campuran biodiesel menunjukkan penurunan nilai kalor seiring dengan peningkatan kandungan biodiesel [16], namun masih dalam rentang yang dapat diterima untuk aplikasi mesin diesel.

Titik nyala atau *flash point* adalah suhu minimum di mana uap bahan bakar di atas permukaan cairan akan terbakar. Ini adalah indikator penting dari keamanan bahan bakar selama penyimpanan dan penggunaan [18]. Minyak jarak memiliki titik nyala yang lebih tinggi (223,3°C)

dibandingkan minyak goreng bekas (186,3°C) dan solar (102,5°C), menunjukkan sifat keamanan yang lebih baik. Campuran biodiesel menunjukkan peningkatan titik nyala seiring dengan kenaikan konsentrasi biodiesel, dengan B20 menunjukkan titik nyala 117,4°C. Ini menunjukkan bahwa penambahan biodiesel dapat meningkatkan keamanan bahan bakar dari aspek titik nyala.

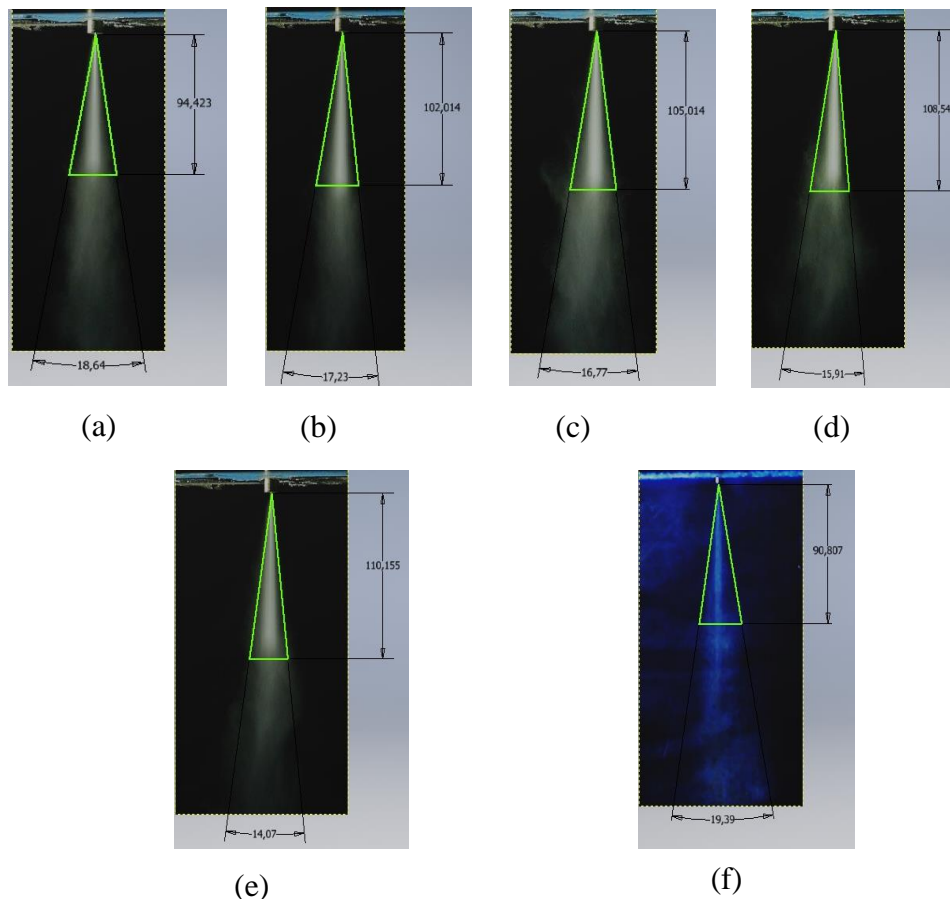
3.2. Sudut Injeksi Bahan Bakar

Bahan bakar yang diujikan pada pengujian ini menggunakan minyak solar murni, biodiesel campuran murni dan variasi B5, B10, B15, B20.

Sudut injeksi atau sudut semprotan bahan bakar adalah sudut di mana bahan bakar disemprotkan ke dalam ruang bakar mesin. Sudut injeksi mempengaruhi proses pencampuran antara udara dan bahan bakar, yang selanjutnya berdampak pada efisiensi pembakaran dan emisi [19]. Dalam konteks mesin diesel, sudut injeksi yang tepat dapat meningkatkan efisiensi termal dan mengurangi emisi gas buang. Berdasarkan data yang diperoleh (Gambar 1.), sudut semprotan untuk B100 adalah yang terkecil, sekitar 14,07°, sementara solar memiliki sudut semprotan yang terbesar, yaitu 19,39°. Secara umum, peningkatan konsentrasi biodiesel dalam campuran menurunkan sudut semprotan.

Sudut injeksi bahan bakar juga berkaitan erat dengan sifat fisik bahan bakar, terutama densitas dan viskositas. Densitas yang lebih tinggi biasanya akan menghasilkan sudut semprotan yang lebih besar karena massa bahan bakar yang disemprotkan menjadi lebih besar. Sementara itu, viskositas yang lebih tinggi akan menyebabkan sudut semprotan yang lebih kecil karena hambatan aliran yang lebih besar [20]. Ini tampak dari data yang diperoleh, di mana biodiesel dengan densitas dan viskositas yang lebih tinggi (B100) memiliki sudut semprotan yang lebih kecil dibandingkan solar.

Dapat dilihat dari data bahwa B100 memiliki densitas dan viskositas yang lebih tinggi dibandingkan solar, tetapi sudut semprotannya lebih kecil. Ini bisa menjadi indikator bahwa viskositas memainkan peran yang lebih dominan dalam menentukan sudut semprotan dalam kasus ini. B20, B15, B10, dan B5, yang memiliki densitas dan viskositas antara B100 dan solar, menunjukkan sudut semprotan yang juga berada dalam rentang tersebut. Ini menegaskan bahwa sifat fisik bahan bakar, khususnya densitas dan viskositas, adalah faktor penting yang mempengaruhi sudut semprotan dan oleh karenanya harus dipertimbangkan dalam desain dan operasi mesin diesel.



Gambar 1. Sudut injeksi sampel bahan bakar (a) B5 (b) B10 (c) B15 (d) B20 (e) B100 (f) Solar Murni

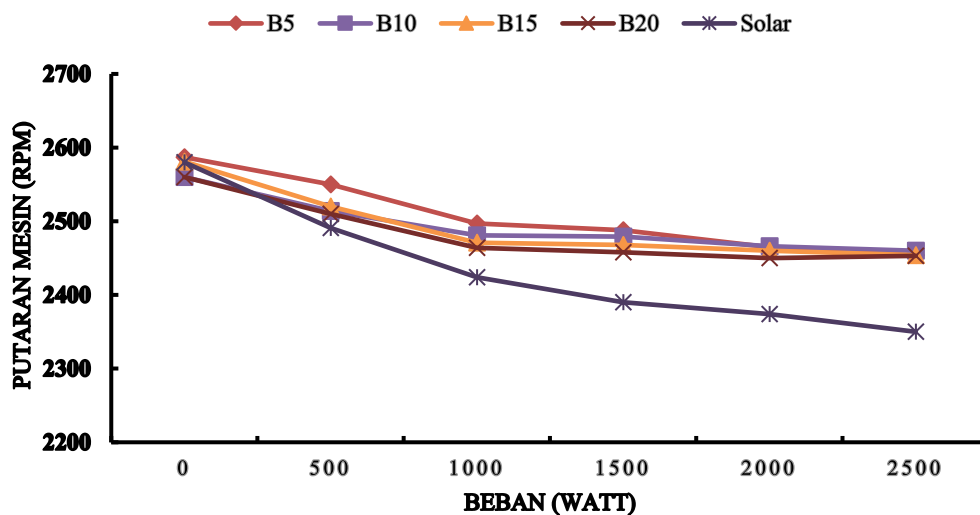
3.3. Daya keluaran

Pengujian daya ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan daya yang dihasilkan bahan bakar tersebut pada mesin

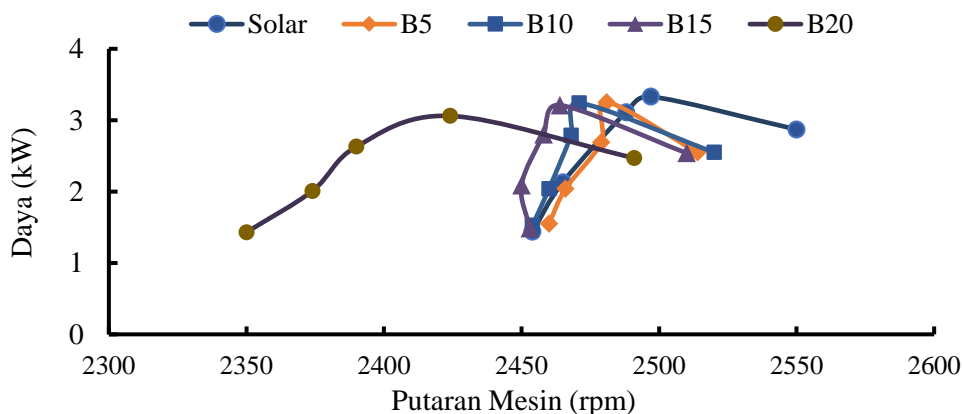
diesel. Pengambilan data daya listrik yang dihasilkan menggunakan alat amperemeter untuk mengukur arus dan voltmeter untuk mengukur tegangan pada alternator.

Berdasarkan data yang diperoleh sebagaimana tersaji pada Gambar 2, kecepatan putar mesin menurun seiring dengan peningkatan beban pada semua jenis bahan bakar yang diuji. Misalnya, untuk solar murni, kecepatan putar mesin berkurang dari 2550 rpm pada beban 500 Watt menjadi 2454 rpm pada beban 2500 Watt. Hal serupa juga terjadi pada biodiesel B5, B10, B15, dan B20. Kecenderungan ini adalah fenomena umum dalam mesin diesel karena mesin harus bekerja lebih keras untuk memenuhi beban yang lebih tinggi, sehingga kecepatan putar mesin akan menurun.

Daya yang dihasilkan mesin juga menunjukkan perubahan seiring dengan peningkatan beban (Gambar 3). Pada umumnya, daya mengalami peningkatan sampai beban tertentu dan kemudian menurun. Contohnya pada solar murni, daya naik dari 2,87 kW pada 500 Watt menjadi puncak 3,33 kW pada 1000 Watt, dan kemudian menurun ke 1,44 kW pada 2500 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa mesin diesel memiliki rentang optimal beban untuk performa daya terbaiknya.



Gambar 2. Grafik putaran mesin terhadap beban



Gambar 3. Grafik daya terhadap putaran mesin

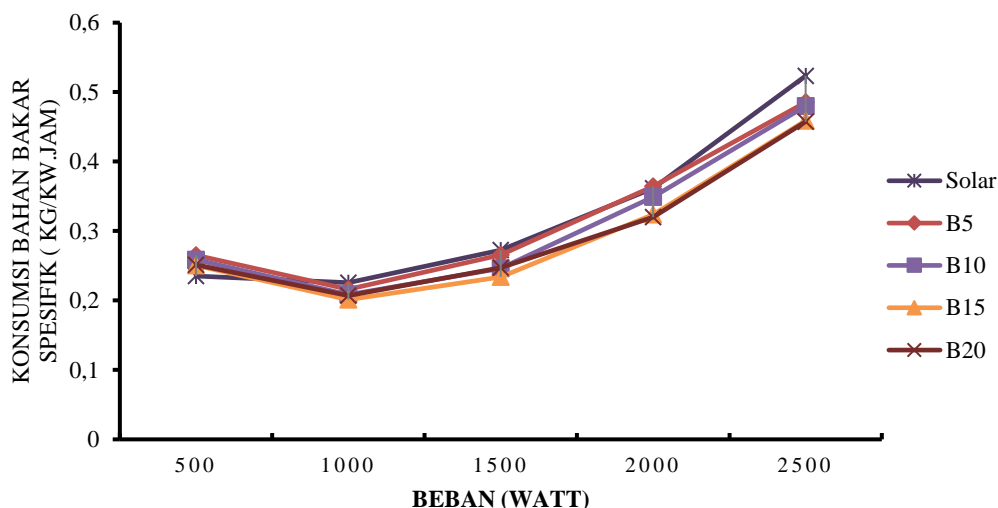
Daya tidak selalu berbanding lurus dengan kecepatan putar mesin. Meski kecepatan putar mesin menurun seiring peningkatan beban, daya yang dihasilkan mesin tidak selalu menurun secara linier. Ini mengindikasikan bahwa efisiensi mesin juga dipengaruhi oleh faktor lain selain kecepatan putar mesin, seperti efisiensi pembakaran.

Data kecepatan putar mesin dan daya yang dihasilkan juga bisa berkaitan dengan sifat fisik bahan bakar dan sudut injeksi [11]. Sebagai contoh, bahan bakar dengan densitas dan viskositas yang lebih tinggi, seperti B100, biasanya memerlukan lebih banyak energi untuk memompa dan menyemprotkan bahan bakar, yang dapat mempengaruhi kecepatan putar mesin dan daya yang dihasilkan. Selain itu, sudut

injeksi yang optimal juga dapat meningkatkan efisiensi pembakaran, sehingga mesin dapat menghasilkan lebih banyak daya pada kecepatan putar yang sama.

3.4. Konsumsi bahan bakar spesifik

Konsumsi Bahan Bakar Spesifik (SFC) adalah ukuran efisiensi mesin yang menunjukkan jumlah bahan bakar yang dibutuhkan untuk menghasilkan sejumlah daya selama satu jam. Biasanya diukur dalam kg/kW.jam. SFC adalah salah satu parameter terpenting dalam analisis performa mesin karena memberikan gambaran tentang efisiensi penggunaan bahan bakar. Mesin dengan SFC yang lebih rendah dianggap lebih efisien karena membutuhkan lebih sedikit bahan bakar untuk menghasilkan daya yang sama.



Gambar 4. Grafik konsumsi bahan bakar spesifik terhadap beban

Berdasarkan data sebagaimana disajikan pada Gambar 4, tampak bahwa SFC umumnya meningkat seiring dengan peningkatan beban. Misalnya, untuk solar murni, SFC meningkat dari 0,23 kg/kW.jam pada beban 500 Watt menjadi 0,52 kg/kW.jam pada beban 2500 Watt. Namun, biodiesel (B5, B10, B15, B20) cenderung memiliki SFC yang sedikit lebih rendah pada beban yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar murni,

menunjukkan efisiensi yang relatif lebih baik dalam penggunaan bahan bakar [11].

Data SFC yang diukur bisa dipengaruhi oleh berbagai faktor termasuk sifat fisik dan sudut injeksi bahan bakar. Dalam konteks ini, densitas dan viskositas bahan bakar bisa mempengaruhi sejauh mana bahan bakar bisa disemprotkan secara efisien ke dalam ruang bakar, yang pada akhirnya mempengaruhi SFC. Misalnya, bahan bakar dengan viskositas yang lebih tinggi seperti biodiesel jatropha mungkin

memerlukan lebih banyak energi untuk injeksi, yang bisa mempengaruhi SFC.

4. Kesimpulan

Dalam era industri yang terus berkembang dan meningkatnya kebutuhan energi, sumber bahan bakar fosil yang terbatas dan isu-isu lingkungan menjadi pertimbangan utama dalam pencarian bahan bakar alternatif. Biodiesel dari minyak nabati, termasuk kombinasi jatropha dan minyak jelantah, menunjukkan potensi sebagai pengganti atau pelengkap bagi bahan bakar fosil dalam mesin diesel.

Penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa kombinasi biodiesel jatropha-jelantah memiliki sifat fisik yang berbeda dari solar murni. Meskipun densitas dan viskositas dari kombinasi ini lebih tinggi, namun nilai kalor dan sudut injeksi menunjukkan karakteristik yang cukup baik. Selain itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin diesel yang menggunakan campuran biodiesel ini memiliki kecepatan putar mesin dan daya yang relatif stabil pada berbagai beban, serta menunjukkan konsumsi bahan bakar spesifik (SFC) yang efisien, khususnya pada beban yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa campuran biodiesel dari jatropha dan minyak jelantah memiliki potensi untuk menggantikan atau setidaknya mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Ini tidak hanya akan membantu dalam mengatasi krisis energi yang sedang berlangsung tetapi juga akan memiliki dampak positif terhadap lingkungan. Namun, lebih banyak penelitian diperlukan untuk lebih memahami dan memaksimalkan potensi campuran bahan bakar ini.

Referensi

[1] Winangun, K., Setiyawan, A., Sudarmanta, B., Buntoro, G.A., Pangestu, R.E., Nurgito, A. dkk., 2023. Penggunaan bahan bakar

terbarukan (biodiesel-hydrogen) pada mesin Diesel Dual Fuel untuk mendukung Energy Transition di Indonesia. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 12, 96-103.

- [2] Afandi, J. dan Wibawa, A., 2022. Implementasi Energi Terbarukan dan Urgensinya Dalam Lingkungan Hidup Society 5.0. *Jurnal Inovasi Teknologi Dan Edukasi Teknik*, 2, 44-49.
- [3] Deshmukh, G.K., Rehman, A. and Gupta, R., 2021. Combustion and Emission Characteristics of a Compression-Ignition Engine fuelled with Transesterified-Jatropha Biodiesel-Diesel Blends. *International Journal of Renewable Energy Research (IJRER)*, 11, 899-907.
- [4] Xu, H., Ou, L., Li, Y., Hawkins, T.R. and Wang, M., 2022. Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Biodiesel and Renewable Diesel Production in the United States. *Environmental Science & Technology, American Chemical Society*, 56, 7512-7521.
- [5] Ramos, M., Dias, A.P.S., Puna, J.F., Gomes, J. and Bordado, J.C., 2019. Biodiesel Production Processes and Sustainable Raw Materials. *Energies, Multidisciplinary Digital Publishing Institute*. 12, 4408.
- [6] Brahma, S., Nath, B., Basumatary, B., Das, B., Saikia, P., Patir, K. et al., 2022. Biodiesel production from mixed oils: A sustainable approach towards industrial biofuel production. *Chemical Engineering Journal Advances*, 10, 100284, 1-31.
- [7] Snehi, S.K., Srivastava, A. and Raj, S.K., 2022. Chapter 11 - Diversity of geminiviruses occurring on jatropha (*Jatropha curcus*), a biodiesel crop. In: Gaur RK, Sharma P, and Czosnek H, editors. *Geminivirus: Detection, Diagnosis and Management*, Academic Press. p. 159-69.
- [8] Wahyudi, W., Nadjib, M., Bari, M.F. and Permana, F.W., 2019. Increasing of quality biodiesel of *Jatropha* seed

- oil with biodiesel mixture of waste cooking oil. *Journal of Biotech Research*, 10, 183-189.
- [9] Park, S.H., Khan, N., Lee, S., Zimmermann, K., DeRosa, M., Hamilton, L. et al., 2019. Biodiesel Production from Locally Sourced Restaurant Waste Cooking Oil and Grease: Synthesis, Characterization, and Performance Evaluation. *ACS Omega*, American Chemical Society, 4, 7775–7784.
- [10] Suzihaque, M.U.H., Alwi, H., Kalthum Ibrahim, U., Abdullah, S. and Haron, N., 2022. Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review. *Materials Today: Proceedings*, 63, S490–S495.
- [11] Abed, K.A., 2018. Effect of waste cooking-oil biodiesel on performance and exhaust emissions of a diesel engine. *Egyptian Journal of Petroleum*, 27, 985-989.
- [12] Wahyudi, W. and Krisdiyanto, K., 2022. Correlation between the properties in *Jatropha* and used cooking oil biodiesel. *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing, 2499.
- [13] Prasetyo, D.H.T. and Wahyudi, D., 2022. Pengaruh rasio ekuivalen dan komposisi bahan bakar terhadap karakteristik api dengan menggunakan bahan bakar biodiesel kesambi. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 11, 282-292.
- [14] Biodiesel SNI 7182_2015. Standar Nasional Indonesia.
- [15] Bukkarapu, K.R., Rahul, T.S., Kundla, S. and Vardhan, G.V., 2017. Effects of blending on the properties of diesel and palm biodiesel. 16.
- [16] Acharya, N., Nanda, P., Panda, S. and Acharya, S., 2017. Analysis of properties and estimation of optimum blending ratio of blended mahua biodiesel. *Engineering Science and Technology, an International Journal*, 20, 511–517.
- [17] Mariono, M., Wahyudi, W. and Nadjib, M., 2023. Effect of Density and Viscosity on Injection Characteristic of *Jatropha* - waste Cooking Oil Biodiesel Mixture. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 7, 44–52.
- [18] Carareto, N.D., Kimura, C.Y., Oliveira, E.C., Costa, M.C. and Meirelles, A.J., 2012. Flash points of mixtures containing ethyl esters or ethylic biodiesel and ethanol. *Fuel*, 96, 319–326.
- [19] Hakim, L., Ilminnafik, N., Jatisukanto, G., Kustanto, M.N. and Sanata, A., 2022. Karakteristik spray diesel dan campuran biodiesel nyamplung pada ruang chamber dengan variasi temperatur ambient. *Turbo : Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 11, 89-94.
- [20] Rafdi, M.H.A., Ilminnafik, N., Djumhariyanto, D., Setyawan, D.L., Sutjahjono, H., Sanata, A. dkk., 2022. Uji variasi temperatur dan campuran bahan bakar terhadap karakteristik spray. *Dinamika Teknik Mesin*, 12, 78–83.