

Analisis Kinerja Mesin Diesel Empat Langkah Menggunakan Biodiesel dari *Multi-Feedstock*: Minyak Sawit, Zaitun, dan Canola

Eky Novianarenti¹⁾, Julian Wahyu Perdana²⁾, Edi Haryono³⁾, Imaniah Sriwijayasih⁴⁾

^{1,2,3}Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

⁴Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

E-mail: ekynovianarenti@ppns.ac.id

ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik fisik dan performa unjuk kerja mesin diesel empat langkah menggunakan biodiesel berbasis *multi-feedstock* (minyak kelapa sawit, minyak zaitun, dan minyak canola). Pengujian dilakukan terhadap berbagai campuran biodiesel, dengan fokus pada B100 dan B35. Hasil karakterisasi bahan bakar menunjukkan bahwa biodiesel B100 memenuhi standar mutu SNI, dengan titik nyala sebesar 147°C, densitas 879.24 kg/m³, viskositas 3.5775 cSt, angka setana 74.8, serta nilai kalor sebesar 9,519 kal/gr. Semakin tinggi prosentase biodiesel, karakteristik titik nyala, densitas, viskositas, dan angka setana meningkat, sementara nilai kalor cenderung menurun. Dari sisi performa mesin, daya dan torsi tertinggi dicapai oleh bahan bakar B100 dengan masing-masing 1,74 kW dan 1,53 Nm. Namun, konsumsi spesifik bahan bakar (gsfc) paling optimal diperoleh pada campuran B35 sebesar 439,603 gr/kWh. Dengan demikian, biodiesel B100 menunjukkan performa terbaik dalam hal daya dan torsi, sedangkan B35 lebih unggul dalam efisiensi bahan bakar.

Keywords: *biodiesel, diesel empat langkah, minyak kelapa sawit, minyak zaitun, unjuk kerja*

ABSTRACT

This study aims to evaluate the physical characteristics and performance of a four-stroke diesel engine using multi-feedstock biodiesel (palm oil, olive oil, and canola oil). Various biodiesel blends were tested, with a focus on B100 and B35. The fuel characterization results show that B100 biodiesel meets the Indonesian National Standard (SNI), with a flash point of 147°C, density of 879.24 kg/m³, viscosity of 3.5775 cSt, cetane number of 74.8, and a calorific value of 9.519 Cal/g. As the biodiesel blend percentage increases, flash point, density, viscosity, and cetane number also increase, while the calorific value tends to decrease. In terms of engine performance, the highest power and torque were achieved using B100, with values of 1.74 kW and 1.53 Nm, respectively. However, the most optimal specific fuel consumption (GSFC) was obtained with the B35 blend, at 439.603 g/kWh. Therefore, B100 shows the best performance in terms of power and torque, while B35 is more efficient in terms of fuel consumption.

Keyword: *biodiesel, four-stroke diesel engine, olive oil, palm oil, performance*

PENDAHULUAN

Mesin diesel dikenal luas dalam berbagai sektor industri dan transportasi karena efisiensinya yang tinggi, daya tahan yang kuat, serta tingkat keandalan yang lebih baik dibandingkan dengan jenis mesin penggerak lainnya. Sebagai mesin pembakaran dalam, proses pembakaran pada mesin diesel terjadi langsung di dalam silinder melalui kompresi udara

hingga mencapai suhu dan tekanan tinggi, kemudian bahan bakar diinjeksikan ke dalam ruang bakar. Keunggulan mesin diesel dalam menghasilkan daya besar dan konsumsi bahan bakar yang lebih hemat dibandingkan mesin bensin membuatnya menjadi pilihan utama untuk kendaraan berat maupun keperluan industri (Putra & Santoso, 2020; Zhang et al., 2021).

Seiring perkembangan teknologi otomotif, kendaraan bermesin besar mulai diproduksi secara masif, sehingga membutuhkan bahan bakar yang sesuai dengan karakteristik mesin. Penggunaan bahan bakar yang tidak sesuai, terutama yang memiliki angka setana rendah, dapat menyebabkan pembakaran tidak sempurna dan menimbulkan gejala knocking. Konsumsi bahan bakar juga dipengaruhi oleh suhu mesin, beban kerja, serta kualitas bahan bakar, termasuk nilai angka setananya (Susanto et al., 2021).

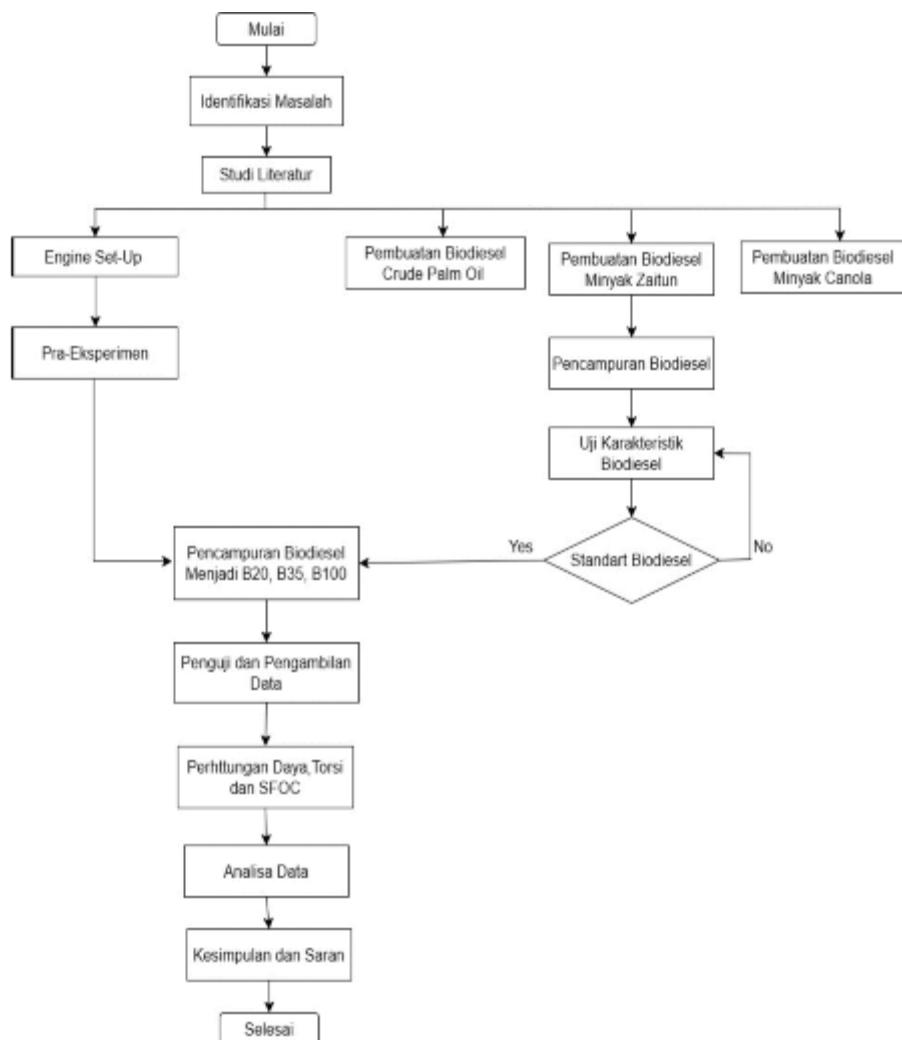
Perkembangan kendaraan bermesin besar menuntut penggunaan bahan bakar dengan karakteristik yang sesuai. Pemanfaatan bahan bakar berangka setana rendah sering menyebabkan ketidaksempurnaan pembakaran dan bahkan *knocking*. Selain angka setana, konsumsi bahan bakar juga dipengaruhi oleh beban mesin, suhu operasi, dan sifat fisik bahan bakar seperti viskositas dan energinya (Simsek, 2020).

Solar, sebagai bahan bakar utama untuk mesin diesel, merupakan hasil penyulingan minyak bumi yang tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi, tetapi juga sebagai pelumas bagi komponen mesin. Solar memiliki angka setana sekitar 45, namun karena berasal dari sumber daya fosil yang tidak terbarukan, penggunaannya perlu dikurangi seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi global (Kamajaya, 2016).

Biodiesel hadir sebagai alternatif bahan bakar terbarukan yang ramah lingkungan. Biodiesel dapat diproduksi dari minyak nabati seperti minyak kelapa sawit, minyak zaitun, dan minyak canola. Selain berasal dari sumber yang dapat diperbarui, biodiesel juga memiliki karakteristik emisi yang lebih rendah dan dapat meningkatkan performa mesin diesel (Rahman et al., 2019). Berdasarkan potensi tersebut, penelitian ini mengombinasikan ketiga jenis minyak nabati tersebut menjadi satu campuran yang dikenal sebagai *multi-feedstock biodiesel*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penggunaan biodiesel berbasis *multi-feedstock* terhadap performa mesin diesel empat langkah, melalui pengujian eksperimental dengan variasi campuran biodiesel sebesar 20% (B20), 35% (B35), dan 100% (B100), serta variasi putaran mesin 900 rpm, 950 rpm, dan 1000 rpm, dengan beban 1000-watt, 2000 watt, dan 3000 watt.

METODE PENELITIAN

Berikut adalah diagram alur tahap-tahap pelaksanaan penelitian.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Pembuatan biodiesel ini dilakukan untuk mendapatkan hasil *multi feedstock* biodiesel dari *Crude Palm Oil*, minyak zaitun dan minyak canola dengan perbandingan 1:1:1. Pembuatan bahan bakar ini dilakukan dengan mencampurkan *multi feedstock* biodiesel dengan minyak solar (Wahyono, S., 2021). Persentase pencampuran meliputi 20% *multi feedstock* biodiesel 80% minyak solar, 35% *multi-feedstock* biodiesel 65% minyak solar (B30) dan 100% *multi-feedstock biodiesel* (B100). Setelah bahan bakar campuran B20, B35 dan B100 telah dibuat selanjutnya dilakukan analisa karakteristik bahan bakar campuran. Analisa karakteristik dilakukan untuk mengetahui besar titik nyala, viskositas, densitas, angka setana dan nilai kalor dari masing masing persentase *multi-feedstock* biodiesel. Setelah dilakukan analisa karakteristik pencampuran bahan bakar, maka langkah selanjutnya yaitu pengujian terhadap *four stroke marine diesel engine*.

Untuk pembuatan B20, B35 dan B100 dari Minyak Kelapa Sawit, Minyak Canola, Minyak Zaitun. Untuk komposisi *multi- feedstock* dari ketiga jenis minyak biodisel tersebut melalui peroses esterifikasi, transesterifikasi setelah kedua peroses tersebut selesai lalu di

lanjutkan peroses pencucian/pemurnian. Proses esterifikasi dilakukan dengan memanaskan minyak nabati menggunakan *hot plate* hingga mencapai suhu diatas 55°C. Setelah suhu tercapai, minyak nabati dicampur dengan campuran *methanol* dengan H₂SO₄. Perbandingan antara minyak nabati dengan *methanol* sebesar 5: 1 dan digunakan H₂SO₄ sebesar 1% dari berat minyak nabati. Proses reaksi berlangsung selama 2 jam dengan RPM pengadukan konstan pada suhu 55°C. Setelah dilakukan proses reaksi, campuran didiamkan selama 24 jam agar alkil ester terpisah dengan minyak. Minyak yang telah dipisahkan dengan alkil ester selanjutnya dilakukan proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi dilakukan dengan mereaksikan hasil minyak pada tahap esterifikasi dengan menggunakan methanol dan NaOH.

Langkah–Langkah transesterifikasi sama dengan proses esterifikasi, yang membedakan adalah transesterifikasi dengan esterifikasi terdapat pada katalis yang digunakan pada proses transesterifikasi berupa katalis basa. Digunakan soda api sebesar 1,5% dari berat minyak sebagai katalis pada proses transesterifikasi. Campuran yang telah direaksikan kemudian didiamkan selama kurang lebih 24 jam agar tercipta lapisan antara gliserol dan biodiesel. Biodiesel kemudian dipisahkan dengan gliserol untuk dilakukan proses pencucian/pemurnian (Elgharbawy, A., 2021).

Pencucian/pemurnian biodiesel dilakukan untuk menghilangkan sisa – sisa alkohol dan katalis yang tidak sepenuhnya mengalami reaksi. Biodiesel dicampurkan dengan akuades yang bersuhu 60°C dengan perbandingan 1 : 1. Biodiesel dimurnikan dengan cara dipisahkan dengan akuades kemudian dipanaskan hingga suhu di atas 100°C untuk menguapkan sisa akuades pada biodiesel. Setelah *multi feedstock* biodiesel murni (B100) dibuat, selanjutnya dilakukan proses pembuatan bahan bakar B20 dan B35. B20 didapatkan dari pencampuran langsung *multi-feedstock* biodiesel (B100) sebesar 20% dan pertamina dex 80% dari volume keseluruhan. Untuk B35 didapatkan dari pencampuran langsung *multi-feedstock* biodiesel (B100) sebesar 35% dan pertamina dex 65% dari volume keseluruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

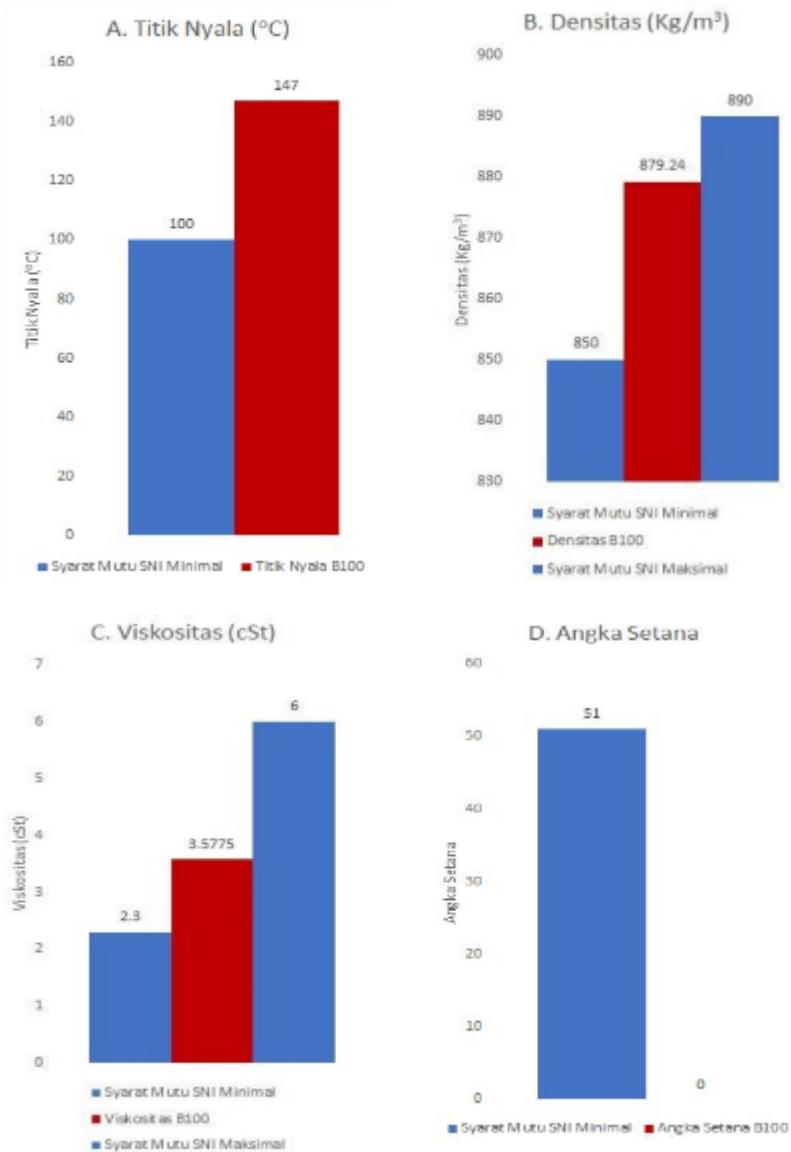
Hasil pengujian karakteristik yang dilakukan pada *multi-feedstock* biodiesel biodiesel dengan variasi B20, B35, dan B100 dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Tabel hasil uji karakteristik *multi-feedstock* Biodiesel (Minyak kelapa sawit, minyak zaitun, minyak canola)

Bahan bakar	Titik Nyala (°C)	Densitas (kg/m ³)	Viskositas (cSt)	Angka setana	Nilai kalor (Cal/g)
Pertamina Dex	35	820-860	2.0-4.5	53 (min)	
B20	62	830.4	2.2938	74.8	10.666
B15	66	841.24	2.5725	74.7	10.402
B100	147	879.24	3.5775	74.8	9.519

Berdasarkan Tabel 1. Semakin tinggi kadar campuran *pertamina dex* dalam biodiesel, semakin mendekati sifat-sifat pertamina dex yang dihasilkan. Titik nyala atau *flash point* adalah suhu terendah yang diperlukan oleh bahan bakar untuk dapat terbakar. Nilai *flash point* yang tinggi menandakan bahwa biodiesel sulit terbakar. Bahan bakar yang memiliki titik nyala tinggi akan

lebih mudah untuk ditangani dan disimpan. Namun, titik nyala yang tinggi juga akan mempengaruhi proses pembakaran pada ruang bakar dan karakteristik pembakaran yang terjadi akan memengaruhi konsumsi bahan bakar dan daya motor pada motor diesel yang menggunakan biodiesel tersebut.



Gambar 2. Perbandingan Karakteristik. (a) Perbandingan Titik Nyala (b) Perbandingan Densitas (c) Perbandingan Viskositas (d) Perbandingan Angka Setana

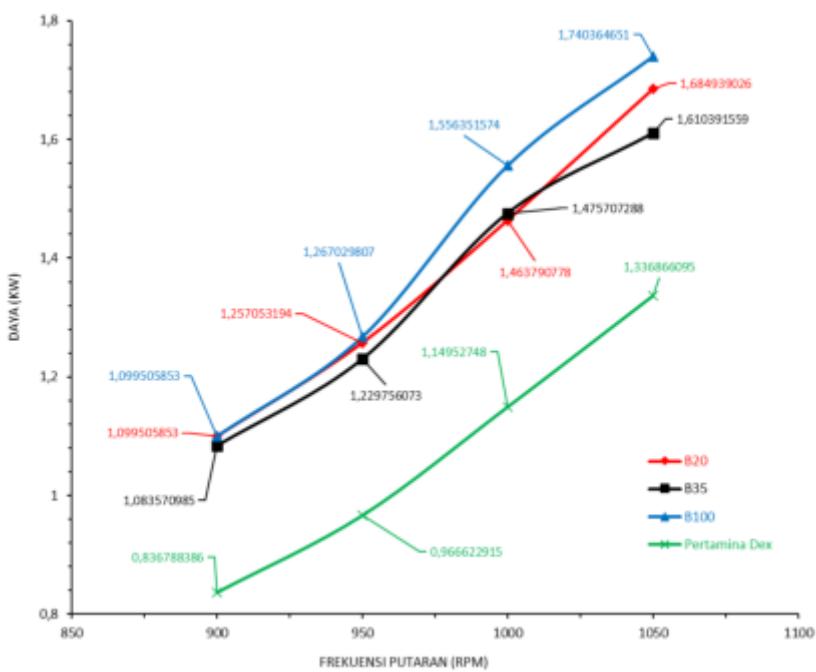
Pada Gambar 2 (a) menunjukkan perbandingan karakteristik biodiesel (B100) dengan komposisi minyak kelapa sawit, minyak Zaitun dan minyak canola telah memenuhi syarat mutu untuk biodiesel berdasarkan standard SNI 7182 nilai flash point biodiesel minimal sebesar 130°C, lalu untuk biodiesel B100 memiliki titik nyala sebesar 147°C. Dapat disimpulkan

bahwa titik nyala biodiesel B100 yaitu 17°C diatas syarat mutu SNI biodiesel. Titik nyala B20, B35 dan B100 lebih tinggi dari pertamina dex sehingga semakin aman untuk penyimpanannya jika dilihat pada Tabel 1. Besar kecilnya massa bahan bakar yang diinjeksikan ke ruang bakar tergantung dari nilai densitas bahan bakar tersebut, semakin besar densitas maka semakin besar massa yang diinjeksikan selain itu densitas semakin tinggi saat persentase biodiesel bertambah (Devarajan, Y., 2022; Shaah, M. A. H., 2021; Demirbas, A., 2016).

Pada Gambar 2 (b) densitas atau massa jenis *multi-feedstock* biodiesel B100 dengan komposisi minyak kelapa sawit, minyak zaitun dan minyak canola memenuhi syarat mutu SNI biodiesel. Syarat mutu dalam SNI biodiesel ditentukan bahwa biodiesel harus memiliki massa jenis antara 850 kg/m³ – 890 kg/m³, sedangkan pada biodiesel B100 menghasilkan densitas atau massa jenis dengan nilai sebesar 879,24 kg/m³. Sehingga dapat disimpulkan bahwa densitas atau massa jenis biodiesel B100 masih diantara rentan nilai syarat mutu SNI biodiesel (Ajala, O. E., 2015; Vonortas, A., 2014).

Pada Gambar 2(c) viskositas *multi-feedstock* biodiesel B100 dengan komposisi minyak kelapa sawit, minyak zaitun dan minyak canola memenuhi syarat mutu SNI biodiesel. Untuk syarat mutu SNI biodiesel berada pada rentan 2,3 cSt - 6 cSt lalu pada biodiesel B100 menghasilkan viskositas sebesar 3,5775 cSt. Sehingga dapat disimpulkan bahwa viskositas biodiesel B100 masih berada pada rentan nilai syarat mutu SNI biodiesel. Viskositas berpengaruh pada kemampuan atomisasi bahan bakar. Viskositas yang tinggi mengakibatkan atomisasi yang rendah sehingga memperlambat proses pembakaran. Viskositas semakin tinggi dengan bertambahnya persentase biodiesel (Méndez Ibars, R., 2018; McVetty, P. B., & Duncan, R. W., 2014).

Pada Gambar 2(d) angka setana pada *multi-feedstock* biodiesel B100 dengan komposisi minyak kelapa sawit, minyak zaitun dan minyak canola tidak bisa ditentukan memenuhi syarat mutu SNI biodiesel atau tidak. Hal ini disebabkan karena tidak munculnya nilai pada pengujian angka setana karena kemungkinan ada diluar range alat pengujian. Untuk range alat pengujian ada pada 20 – 100 sehingga kemungkinan angka setana biodiesel B100 dapat dibawah 20 atau diatas 100. Angka setana menunjukkan rantai hidrokarbon yang terdapat pada bahan bakar, semakin tinggi angka setana maka bahan bakar semakin mudah untuk bereaksi sehingga lebih cepat dalam melakukan pembakaran (Giakoumis, E. G., 2018; Kumbhar, V., 2022). Bahan bakar campuran biodiesel dengan pertamina dex lebih baik daripada hanya pertamina dex saja, hal ini ditunjukkan besar angka setana yang lebih tinggi dari pertamina dex.



Gambar 3. Grafik Frekuensi putaran vs daya

Pada gambar 3 merupakan grafik daya pada beban pengujian 3000-Watt untuk keempat bahan bakar yang diuji untuk variasi RPM 900, RPM 950, RPM 1000 dan RPM 1050. Pada pengujian ini bahan bakar yang menghasilkan daya paling tinggi yaitu B100, dalam pengambilan data di dapatkan daya sebesar 1,740364651 kW pada rpm 1050. Untuk bahan bakar B20 daya yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan B35 yang mana B20 menghasilkan daya sebesar 1,684939026 kW sedangkan untuk bahan bakar B35 menghasilkan daya sebesar 1,610391559 kW di rpm 1050 dari keempat bahan bakar pertamina dex yang menghasilkan daya paling rendah yaitu 1,336866095 kW di RPM 1050.

KESIMPULAN

Untuk karakteristik titik nyala, densitas, viskositas, angka setana dan nilai kalor memenuhi standar mutu SNI. Pada penelitian ini *multi-feedstock* biodiesel yang memenuhi standar SNI adalah B100. Pada karakteristik titik nyala mendapatkan hasil pengujian 147°C, densitas mendapatkan hasil pengujian 879,24 kg/m³, viskositas mendapatkan hasil pengujian 3,5775. Dan angka setana mendapatkan hasil pengujian 74,8 bahwa semakin besar persentase *multi-feedstock* biodiesel maka semakin besar nilai karakteristik tersebut. Pada nilai kalor mendapatkan hasil pengujian 9,519 kal/gr menunjukkan bahwa semakin bertambahnya campuran *multi-feedstock* biodiesel maka nilai kalor akan semakin turun. Nilai daya dan torsi terbesar pada pengujian ini yaitu bahan bakar B100 yaitu 1,74 Kw dan 1,53 Nm sedangkan

untuk nilai gsfc mendapatkan hasil pengujian yang paling optimal untuk bahan bakar B35 yaitu 439,603 gr/kWh. Hasil unju kerja yang paling optimal untuk daya dan torsi yaitu B100 sedangkan untuk hasil pengujian gsfc didapatkan bahan bakar paling optimal yaitu B35.

DAFTAR PUSTAKA

- Ajala, O. E., Aberuagba, F., Odetoye, T. E., & Ajala, A. M. (2015). Biodiesel: sustainable energy replacement to petroleum-based diesel fuel—a review. *ChemBioEng Reviews*, 2(3), 145-156.
- Demirbas, A., Bafail, A., Ahmad, W., & Sheikh, M. (2016). Biodiesel production from non-edible plant oils. *Energy Exploration & Exploitation*, 34(2), 290-318.
- Devarajan, Y., Munuswamy, D. B., Subbiah, G., Vellaiyan, S., Nagappan, B., Varuvel, E. G., & Thangaraja, J. (2022). Inedible oil feedstocks for biodiesel production: A review of production technologies and physicochemical properties. *Sustainable Chemistry and Pharmacy*, 30, 100840.
- Elgharbawy, A. (2021). Transesterification processes for biodiesel production from vegetable oils and fats: A critical review. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 66(1), 5098–5107. <https://doi.org/10.4067/S0717-97072021000105098>
- Giakoumis, E. G., & Sarakatsanis, C. K. (2018). Estimation of biodiesel cetane number, density, kinematic viscosity and heating values from its fatty acid weight composition. *Fuel*, 222, 574-585.
- Kamajaya. (2016). *Teknologi Mesin Diesel*. Yogyakarta: Andi Publisher.
- Kirom, M. H. S., Shah, M., & Haryono, E. (2020). Analisa Unjuk Kerja Two Stroke Marine Diesel Engine Berbahan Bakar Campuran Minyak Solar dan Biodiesel Minyak Kelapa pada Beban Simulator Full Load. In *Proceedings Conference on Marine Engineering and its Application* (Vol. 3, No. 1, pp. 172-176).
- Kumbhar, V., Pandey, A., Sonawane, C. R., El-Shafay, A. S., Panchal, H., & Chamkha, A. J. (2022). Statistical analysis on prediction of biodiesel properties from its fatty acid composition. *Case Studies in Thermal Engineering*, 30, 101775.
- Méndez Ibars, R. (2018). Synthesis and properties of biodiesel obtained from fatty waste materials.
- McVetty, P. B., & Duncan, R. W. (2014). Canola, rapeseed, and mustard: for biofuels and bioproducts. In *Industrial Crops: Breeding for BioEnergy and Bioproducts* (pp. 133-156). New York, NY: Springer New York.
- Prasetyo, J. (2018). Studi Pemanfaatan Minyak Jelantah sebagai Bahan Baku Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Ilmiah Teknik Kimia*, 2(2), 45-54.
- Putra, D. A., & Santoso, H. (2020). Performance Evaluation of Diesel Engine Using Biodiesel from Palm Oil. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 25(2), 101–110.
- Purwandari, V. D. (2020). Analisis Unjuk Kerja Two Stroke Marine Diesel Engine dengan Bahan Bakar Campuran Solar dan Biodiesel Minyak Kelapa Sawit, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- Rahman, M. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., & Abedin, M. J. (2019). Biodiesel from Vegetable Oils: A Comparative Study of Engine Performance and Emission. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 95, 91–100.
- Shaah, M. A. H., Hossain, M. S., Allafi, F. A. S., Alsaedi, A., Ismail, N., Ab Kadir, M. O., & Ahmad, M. I. (2021). A review on non-edible oil as a potential feedstock for biodiesel: physicochemical properties and production technologies. *RSC advances*, 11(40), 25018-25037.
- Simsek, S. (2020). Effects of biodiesel obtained from Canola, safflower oils and waste oils on the engine performance and exhaust emissions. *Fuel*.
- Susanto, R., Haryono, S., & Setiawan, D. (2021). Analysis of Cetane Number Influence on Diesel Engine Combustion and Fuel Consumption. *Jurnal Energi dan Konversi*, 8(1), 45–53.
- Vonortas, A., & Papayannakos, N. (2014). Comparative analysis of biodiesel versus green diesel. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 3(1), 3-23.
- Wahyudi dkk (2019). Unjuk Kerja Mesin Diesel Berbahan Bakar Campuran Biodiesel Jarak dan Biodiesel Jelantah. *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, 3(1), 36-41.
- Wahyono, S., Wahyudi, S., & Wibawa, B. M. (2021). Multi-feedstock biodiesel production from palm oil, soybean oil, canola oil, and sunflower oil: A comparative study on fuel characteristics. *International Journal of Technology*, 12(3), 4804. <https://ijtech.eng.ui.ac.id/article/view/4804>
- Zhang, X., Wang, Y., & Li, J. (2021). High-performance diesel engine combustion characteristics with alternative fuel blends. *Journal of Combustion Technology*.