

## Potensi *Biofuel* Sebagai Alternatif Substitusi Bahan Bakar Minyak

Rima Zidni Karimatan Nisak <sup>\*1)</sup>, Nasrul Ilminnafik <sup>\*2)</sup>, Setyo Pambudi <sup>\*3)</sup>, Dani Hari

Tunggal Prasetyo <sup>\*4)</sup>, Yanuar Alditya Nugraha <sup>\*5)</sup>

<sup>\*1)</sup>Politeknik Masamy Internasional, Banyuwangi

<sup>\*2,5)</sup>Universitas Jember, Jember

<sup>\*3)</sup>Institut Teknologi dan Bisnis Muhammadiyah, Banyuwangi

<sup>\*4)</sup>Universitas Panca Marga, Probolinggo

Email korespondensi : [rimazidni@polmain.ac.id](mailto:rimazidni@polmain.ac.id)

### Abstrak

*Biodiesel* merupakan *biofuel* cair yang berpotensi untuk menjadi alternatif substitusi bahan bakar minyak. Studi eksperimental ini bertujuan untuk memperoleh informasi karakteristik kinerja *biodiesel* dari biji nyamplung (*calophyllum inophyllum*) dan *ethanol* pada mesin *diesel* satu silinder. Pengujian dilakukan pada mesin *diesel* empat langkah, satu silinder, dengan sistem udara alami dan dihubungkan dengan generator yang berfungsi sebagai dynamometer. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk setiap putaran mesin, yaitu 1500, 1750, 2000, 2250, dan 2500 rpm dengan memberikan beban konstan sebesar 600, 900, 1200, dan 1500 W dalam setiap kenaikan putaran mesin. Hasil penelitian menginformasikan bahwa penambahan 10% *biodiesel* (B10) memiliki kinerja mesin terbaik ditunjukkan dengan peningkatan daya efektif, torsi, tekanan efektif rata-rata dan penurunan temperature gas buang, namun kebutuhan konsumsi bahan bakar menjadi lebih tinggi. Hasil ujuk kerja dan temperature gas buang yang lebih baik dari campuran bahan bakar B10 menunjukkan bahwa bahan bakar *biodiesel* memiliki potensi yang besar sebagai alternatif bahan bakar. Penggunaan *biodiesel* nyamplung sebagai substitusi bahan bakar minyak perlu diteliti lebih lanjut agar dapat diterapkan pada sektor industri dan transportasi.

**Kata Kunci:** *Biodiesel*, *ethanol*, mesin *diesel*, *nyamplung*

### Abstract

*Biodiesel* is a liquid biofuel with the potential to be an alternative to oil fuel. This experimental study aimed to obtain information on the performance characteristics of *biodiesel* from *nyamplung* seeds (*Calophyllum inophyllum*) and *ethanol* in a single-cylinder diesel engine. Tests were carried out on a four-stroke, single-cylinder diesel engine with a natural air system connected to a generator that functions as a dynamometer. The test was performed three times at each engine speed, namely 1500, 1750, 2000, 2250, and 2500 rpm, by providing a constant load of 600, 900, 1200, and 1500 W at each increase in engine speed. The research results indicate that adding 10% *biodiesel* (B10) has the best engine performance, as indicated by an increase in effective power, torque, average effective pressure, and a decrease in exhaust gas temperature; however, fuel consumption requirements are higher. The better performance results and exhaust gas temperature of the B10 fuel mixture indicate that *biodiesel* has excellent potential as an alternative fuel. Using *nyamplung* *biodiesel* as a fuel substitute requires further research for its application in the industrial and transportation sectors.

**Keywords:** *Biodiesel*, *ethanol*, *diesel engine*, *nyamplung*

## Pendahuluan

Konsumsi energi Indonesia 52,50% didominasi oleh bahan bakar fosil (*non-renewable energy sources*) (Kholiq, 2015). Menurut data Badan Pusat Statistik (2022) dari tahun 2011 sampai 2021 terjadi defisit produksi minyak mentah dan kondensat (gas bumi berupa cairan) sebesar 37% atau 88924,8 ribu barel. Defisit produksi fosil membuktikan bahwa cadangannya lambat laun akan habis, sehingga perlu dicari alternatif pengganti yang pengadaannya dapat terus berkesinambungan (*renewable energy sources*) sesuai Instruksi Presiden Indonesia nomor 1 Tahun 2006 mengenai percepatan penyediaan dan pemanfaatan bahan bakar nabati (*biofuel*) sebagai alternatif bahan bakar.

Indonesia dengan kekayaan sumber daya alamnya berpotensi menjadi sumber *biofuel* (Putrasari dkk., 2016). *Biofuel* adalah cairan yang berasal dari biomassa, terutama dari tumbuhan (nabati). Bentuk *biofuel* yang paling populer saat ini adalah *biodiesel* dan *bioethanol*. Beberapa jenis tumbuhan yang potensial untuk bahan baku *biofuel* dapat tumbuh dan berkembang di Indonesia, salah satunya adalah nyamplung (*calophyllum inophyllum*). Biji nyamplung ditawarkan sebagai bahan baku *biofuel* karena memiliki kandungan minyak yang tinggi (sekitar 40-70%) (Pambudi dkk., 2021; Suyono dkk., 2017) dan tidak berkompetisi dengan bahan pangan lain (Fajarsari, 2023; Uripno dkk., 2014).

*Biodiesel* yang merupakan jenis *biofuel* cair hasil produksi biji nyamplung memenuhi standar ASTM (*american standart testing and material*) dan campurannya memiliki sifat fisikokimia yang relatif dekat dengan bahan bakar *diesel* (How dkk., 2018). Banyak penelitian tentang penggunaan *biodiesel* dalam mesin *diesel*, salah satunya dilakukan oleh Yamin dkk., (2009) yang meneliti kinerja mesin CI (*compression ignition*) menggunakan *biodiesel* dari minyak baru dan *biodiesel* dari limbah minyak. Hasil penelitian menunjukkan terjadi penurunan nilai kalor sebesar 13,43% dan 7,24%, serta peningkatan kepadatan bahan bakar sebesar 4,75% lebih tinggi dari bahan bakar *diesel*. Terjadi peningkatan torsi, daya, efisiensi termal dan pengurangan konsumsi bahan bakar spesifik baik pada beban penuh dan rendah.

*Biodiesel* memiliki angka setana yang tinggi, sifat pelumasan yang baik, non-toksitas, bebas dari aromatik dan sulfur, sehingga mengurangi polusi udara dan emisi gas rumah kaca (Gebremariam & Marchetti, 2018). Penggunaan langsung *biodiesel* dalam mesin *diesel* tanpa *pretreatment* atau modifikasi mesin dapat menyebabkan

masalah mesin yang serius. Berbagai metode telah dipertimbangkan untuk mengurangi viskositas dan kepadatan *biodiesel*, seperti pencampuran, pemanasan awal, pirolisis, dan mikroemulsi. Pencampuran alkohol (*ethanol* dan *methanol*) dapat digunakan dalam mesin *diesel* tanpa modifikasi (Kumar dkk., 2006). Kepadatan dan viskositas bahan bakar alkohol yang rendah dapat meningkatkan karakteristik semprotan dan proses pencampuran udara dengan bahan bakar, serta keberadaan oksigen dalam alkohol juga mendorong terjadinya pembakaran yang lebih baik, sehingga dapat menurunkan emisi CO, HC dan PM (Zaharin dkk., 2017). Banyak penelitian tentang penggunaan *ethanol* sebagai campuran *biodiesel* dalam mesin *diesel*, salah satunya dilakukan Nisak dkk., (2021) yang meneliti penggunaan *biodiesel* dari tumbuhan nyamplung dan *ethanol* sebagai campuran bahan bakar *petrodiesel* tanpa melakukan modifikasi pada alat uji mesin *diesel*. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan 20% *ethanol* dan 30% *biodiesel* memiliki kinerja mesin terbaik dan penurunan energi konsumsi spesifik hingga 4,19% dan peningkatan efisiensi termal efektif hingga 1,60%. Selain itu kualitas pembakaran yang lebih baik juga ditunjukkan dengan penurunan emisi CO hingga 28,75% dan *hydrocarbon* HC hingga 32,02%.

Berdasarkan kajian penelitian sebelumnya, penambahan *biodiesel* dan *ethanol* dapat meningkatkan kinerja mesin *diesel* dan mengurangi emisi gas buang yang berbahaya bagi kesehatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja mesin *diesel* meliputi : daya efektif, torsi, tekanan efektif rata-rata, konsumsi bahan bakar spesifik, dan temperature gas buang pada mesin *diesel* dengan menggunakan bahan bakar *biofuel* cair jenis *biodiesel* dari tumbuhan nyamplung dan *ethanol* kemurnian 99,5% sebagai campuran bahan bakar.

### Metode

Penelitian ini menggunakan bahan bakar *biofuel*. Jenis *biofuel* yang digunakan adalah *biodiesel*. *Biodiesel* yang digunakan diproduksi dari biji nyamplung (*calophyllum inophyllum*) dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi. Proses esterifikasi dilakukan untuk mengurangi nilai asam lemak bebas menggunakan pelarut *methanol* dan katalis  $H_2SO_4$  (T=60°C; t = 120 menit; rasio pelarut terhadap minyak 22:1 m/m; rasio katalis terhadap minyak 2% v/v). Proses transesterifikasi dilakukan menggunakan pelarut *methanol* dan KOH sebagai katalis (T = 60°C; t = 180 menit; rasio pelarut terhadap

minyak 6:1 m/m; rasio katalis terhadap minyak 1% b/b) (Rizwanul Fattah dkk., 2014). Sifat-sifat produk *biodiesel* (*metil ester* asam lemak) dari biji nyamplung memenuhi standar ASTM, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 1. (How dkk., 2014). Kepadatan dan viskositas *biodiesel* diturunkan dengan melakukan pencampuran bahan bakar menggunakan alkohol. *Ethanol* dengan kemurnian 99.5% yang diperoleh dari PT Energi Agro Nusantara, Mojokerto, Jawa Timur, Indonesia dipilih sebagai campuran bahan bakar.

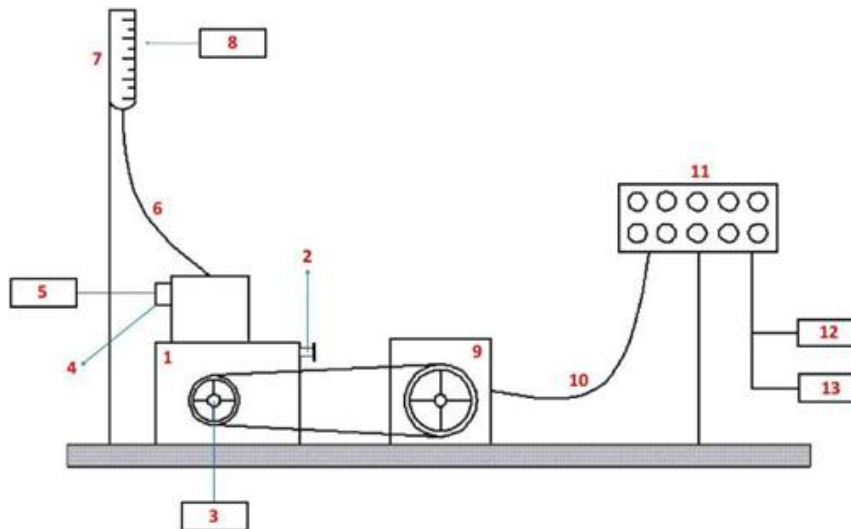
Tabel 1. Sifat-sifat produk *biodiesel* (*metil ester* asam lemak) dari biji nyamplung (How dkk., 2018)

<i>Properties</i>	<i>Units</i>	<i>Petrodiesel</i>	<i>CIB10*</i>	<i>Test Method</i>
<i>Cetane Number</i>	-	52,4	52,7	ASTM D6980
<i>Density @40°C</i>	Kg/m <sup>3</sup>	825,6	829,6	ASTM D1298
<i>Caloric Value</i>	MJ/Kg	45,21	44,8	ASTM 240
<i>Flash Point</i>	°C	71,5	72,5	ASTM D93
<i>Oxydation Stability</i>	hr	>100,0	63,5	EN ISO14112
<i>Kinematic Viscosity @40°C</i>	mm <sup>2</sup> /s	2,985	3,271	ASTM D445

\*) CIB10 : 10% *Biodiesel calophyllum inophyllum* + 90% *Petrodiesel*

Komposisi campuran bahan bakar dalam penelitian ini menggunakan B0 (100% *petrodiesel*), B10 (90% *petrodiesel* dan 10% *biodiesel*) dan B10E10 (80% *petrodiesel*, 10% *biodiesel* dan 10% *ethanol*). Proses pencampuran bahan bakar menggunakan *magnetic stirrer* dengan rasio % (v/v). Masing-masing campuran bahan bakar diamati selama 24 jam untuk memastikan kestabilan campuran.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental. Penelitian menggunakan mesin *diesel* model MDX-170 Matsumoto, silinder tunggal, empat langkah dan sistem udara alami. Mesin *diesel* dihubungkan dengan generator 1 fasa model SD-3 Daiho menggunakan transmisi sabuk. Bahan bakar masuk kedalam saluran bahan bakar mesin *diesel* diukur menggunakan *buret*. Untuk mengukur voltase (V) dan arus listrik (A) yang dihasilkan *electrical generator* digunakan *digital multimeter* dan *digital clampmeter*. Suhu gas buang hasil pembakaran mesin *diesel* diukur menggunakan termokopel tipe-k. Gambar 1. menunjukkan skema pengaturan eksperimental.



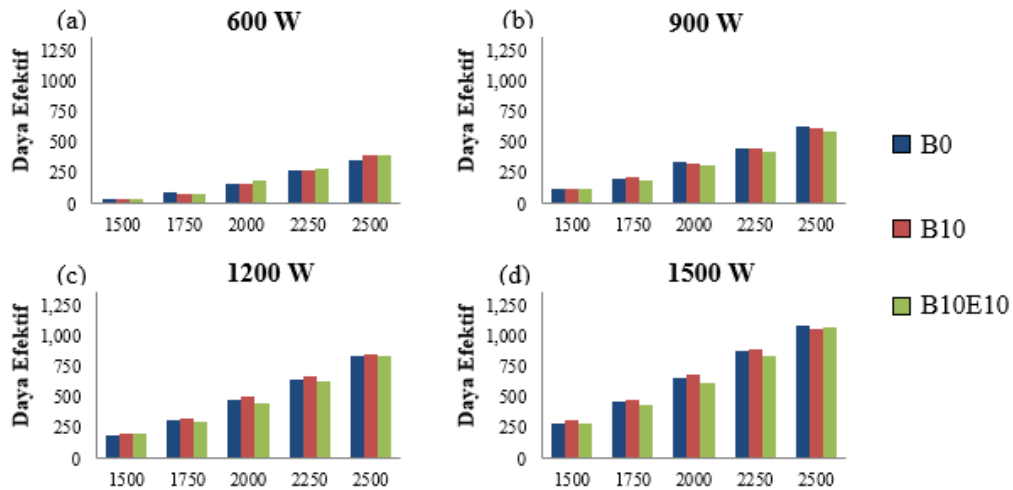
Gambar 1. Skema Pengaturan Eksperimental

Keterangan :

1. Mesin *diesel*
2. Tuas pengatur putaran mesin (rpm)
3. *Tachometer digital*
4. Saluran gas buang mesin
5. Termokopel tipe-k
6. Saluran masuk bahan bakar
7. *Buret*
8. *Stopwatch*
9. Generator
10. Kabel *output* generator
11. Beban lampu (W)
12. *Digital clampmeter* (A)
13. *Digital multimeter* (V)

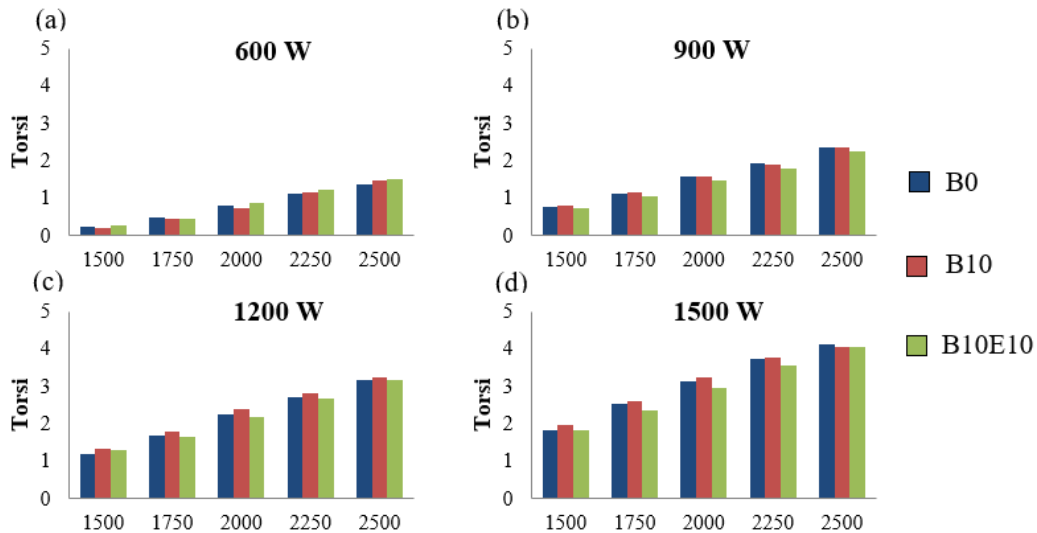
Data eksperimen diambil pada variasi putaran mesin 1500, 1750, 2000, 2250, dan 2500 rpm. Beban dibiarkan konstan sebesar 600, 900, 1200, dan 1500 W dalam setiap kenaikan putaran mesin pada pengujian bahan bakar B0, B10, dan B10E10. Pengambilan data dilakukan sebanyak 3 kali pengulangan. Data yang diambil meliputi : waktu konsumsi bahan bakar (s), tegangan listrik (V), arus listrik (I), dan temperature gas buang mesin *diesel*.

## Hasil dan Pembahasan



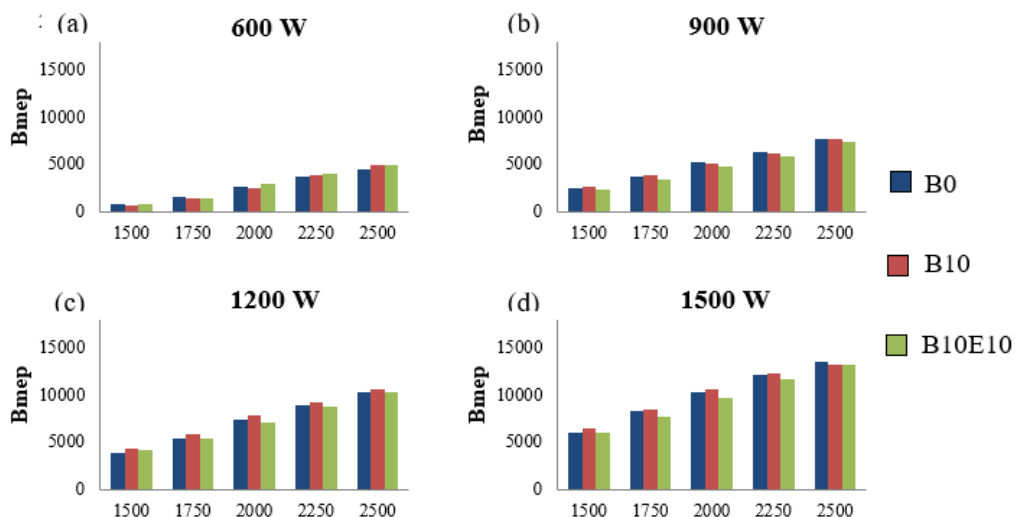
Gambar 2. Pengaruh komposisi bahan bakar pada daya efektif dengan variasi putaran (rpm) dan beban (W)

Daya Efektif dengan variasi putaran (rpm) dan beban (W) ditunjukkan pada Gambar 2. Daya efektif merupakan daya yang diberikan untuk mengatasi beban. Daya efektif ini dipengaruhi oleh putaran poros engkol akibat dorongan piston yang dihasilkan karena adanya pembakaran bahan bakar dengan udara. Hasil penelitian menunjukkan nilai rata-rata daya efektif tertinggi diperoleh bahan bakar B10, yaitu 1,92% lebih tinggi dari B0 dan 4,04% lebih tinggi dari B10E10. Menurut Adaileh & AlQdah, (2012) penambahan *biodiesel* dapat meningkatkan jumlah oksigen yang masuk dalam ruang bakar karena *biodiesel* mencangkup sekitar 10% (dalam berat) oksigen yang dapat digunakan dalam pembakaran terutama di zona kaya bahan bakar, sehingga memungkinkan terjadinya pembakaran lebih baik. Penambahan *ethanol* dalam bahan bakar B10E10 memiliki nilai rata-rata daya efektif lebih rendah, meskipun *ethanol* merupakan jenis bahan bakar oksigenat. *Ethanol* memiliki nilai kalor yang lebih rendah dan kalor laten penguapan yang lebih tinggi dari bahan bakar *biodiesel* yang menyebabkan penundaan pengapian lebih lama dan mempengaruhi pembakaran dalam mesin, sehingga mengakibatkan pengurangan torsi dan daya mesin (Kandasamy dkk., 2019). Hasil penelitian ini sejalan dengan yang dilaporkan dalam literature (Kandasamy dkk., 2019; Noorollahi dkk., 2018).



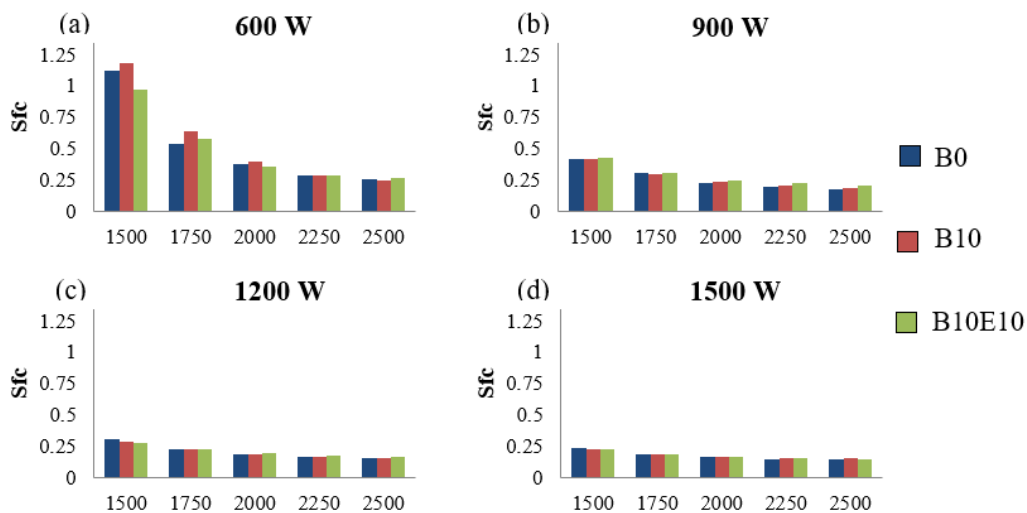
Gambar 3. Pengaruh komposisi bahan bakar pada torsi dengan variasi putaran (rpm) dan beban (W)

Torsi (Nm) dengan variasi putaran (rpm) dan beban (W) ditunjukkan pada Gambar 3. Torsi merupakan ukuran kemampuan mesin untuk menghasilkan kerja. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata nilai torsi tertinggi diperoleh bahan bakar B10, yaitu 2,15% lebih tinggi dari bahan bakar B0 dan 4,26% lebih tinggi dari B10E10. *Biodiesel* memiliki kepadatan bahan bakar lebih tinggi dari bahan bakar *petrodiesel* dan *ethanol*, sehingga campuran bahan bakar B10 memiliki laju aliran bahan bakar yang lebih besar untuk volume yang sama dan menghasilkan nilai rata-rata torsi yang paling tinggi (Adaileh & AlQdah, 2012). Hasil penelitian ini sejalan dengan yang dilaporkan dalam literature (Aydın & Ögüt, 2017; Kandasamy dkk., 2019; Noorollahi dkk., 2018).



Gambar 4. Pengaruh komposisi bahan bakar pada Bmep dengan variasi putaran (rpm) dan beban (W)

Tekanan efektif rata-rata atau *brake measure efektif pressure* (Bmep) dengan variasi putaran (rpm) dan beban (W) ditunjukkan pada Gambar 4. Bmep adalah tekanan tetap rata-rata teoritis yang bekerja sepanjang volume langkah piston sehingga menghasilkan daya efektif (Daryanto & Setyabudi, 2015). Hasil penelitian menunjukkan rata-rata Bmep tertinggi diperoleh campuran bahan bakar B10, yaitu 2,15% lebih tinggi dari B0, dan 4,26% lebih tinggi dari B10E10. Campuran bahan bakar B10 memiliki nilai rata-rata Bmep lebih tinggi, karena penambahan *biodiesel* meningkatkan viskositas dan kepadatan bahan bakar, sehingga laju aliran massa bahan bakar B10 dalam ruang bakar menjadi lebih besar dari bahan bakar B0 dan B10E10. Kenaikan jumlah bahan bakar dalam ruang bakar menyebabkan perubahan AFR (*air fuel ratio*) ke arah campuran kaya bahan bakar. Semakin banyak bahan bakar yang diledakkan diruang bakar, maka tekanan ekspansi yang dihasilkan juga semakin besar (Arizal Sita Ahmad & Bambang Sudarmanta, 2017).

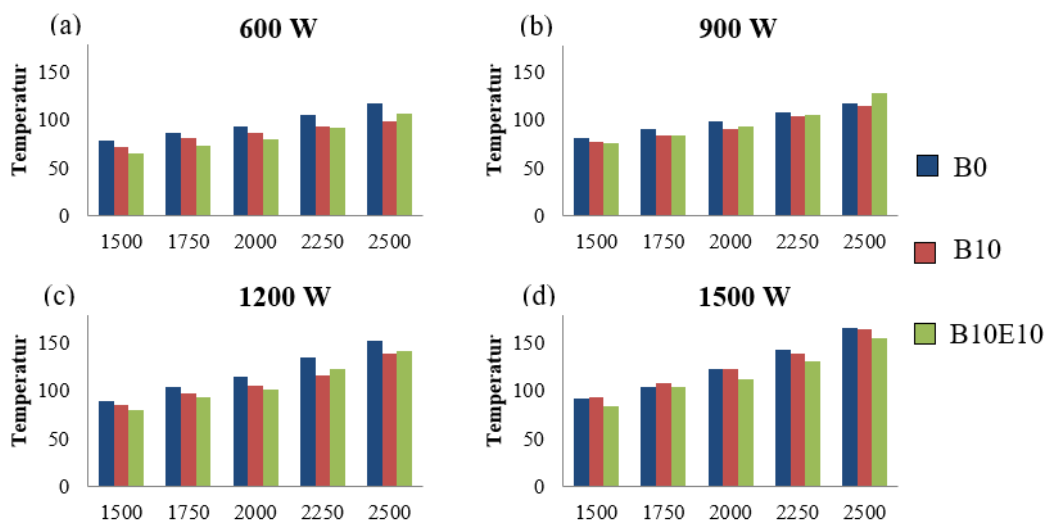


Gambar 5. Pengaruh komposisi bahan bakar pada Sfc dengan variasi putaran (rpm) dan beban (W)

Konsumsi bahan bakar spesifik atau *specific fuel consumption* (Sfc) dengan variasi putaran (rpm) dan beban (W) ditunjukkan pada Gambar 5. Sfc didefinisikan sebagai rasio antara laju aliran massa bahan bakar dan daya efektif yang diperoleh dari mesin, biasanya tergantung pada sistem injeksi bahan bakar, nilai kalor, viskositas, dan kepadatan bahan bakar (Krishna dkk., 2019). Sfc dapat digunakan sebagai variabel untuk menunjukkan seberapa efektif sistem pembangkit untuk mengubah sejumlah bahan bakar



menjadi energi mekanik (Ambarita, 2017). Hasil penelitian menunjukkan rata-rata Sfc tertinggi diperoleh diperoleh bahan bakar B10, yaitu 5,22% lebih tinggi dari bahan bakar B0 dan 1,17% lebih tinggi dari B10E10. Campuran bahan bakar B10 memiliki viskositas dan kepadatan bahan bakar yang lebih tinggi dari campuran bahan bakar B0 dan B10E10. Hasil penelitian ini sejalan dengan yang dilaporkan dalam literature (Ilminnafik dkk., 2022,). Viskositas dan kepadatan yang tinggi menyebabkan semakin besar laju aliran massa bahan bakar dalam ruang bakar, sehingga konsumsi bahan bakar lebih tinggi (Adaileh & AlQdah, 2012). Konsumsi bahan bakar B10E10 lebih rendah dari B0, hal ini terjadi karena penambahan 10% *ethanol* sebagai campuran bahan bakar dapat menurunkan viskositas dan kepadatan bahan bakar, sehingga meningkatkan karakteristik semprotan dan proses pencampuran udara dengan bahan bakar. Keberadaan oksigen yang tinggi dalam *ethanol* juga mendorong terjadinya pembakaran yang lebih baik (Zaharin dkk., 2017).



Gambar 6. Pengaruh komposisi bahan bakar pada Sfc dengan variasi putaran (rpm) dan beban (W)

Temperatur gas buang dengan variasi putaran (rpm) dan beban (W) ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil penelitian menunjukkan rata-rata nilai temperatur gas buang terendah diperoleh bahan bakar B10E10, yaitu 2,02% lebih rendah dari B10, dan 7,76% lebih rendah dari B0. Hasil penelitian ini sejalan dengan yang dilaporkan dalam literature (de Oliveira dkk., 2015; Motamedifar & Shirneshan, 2018). Penambahan *biodiesel* dalam bahan bakar B10 mampu menurunkan temperature gas buang 5,85% lebih rendah dari B0, hal ini terjadi karena *biodiesel* memiliki angka setana yang lebih tinggi dari

*petrodiesel*. Angka setana yang tinggi dapat menghasilkan penundaan pengapian yang lebih rendah, sehingga mampu menurunkan temperature gas buang (Elkelawy dkk., 2019). Penurunan temperature gas buang dapat ditingkatkan dengan penambahan *ethanol* dalam campuran bahan bakar B10E10. Penurunan temperature ini ditunjukkan dari nilai rata-rata temperature gas buang bahan bakar B10E10 lebih rendah 7,76% dari bahan bakar B0, hal ini terjadi karena efek pendinginan yang disebabkan kalor laten tinggi dari penguapan *ethanol* (de Oliveira dkk., 2015).

### Simpulan dan Saran

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengeksplorasi potensi bahan bakar *biodiesel* dari tumbuhan nyamplung dan *ethanol* pada unjuk kerja mesin *diesel*. Berdasarkan hasil eksperimen diperoleh kesimpulan bahwa penambahan 10% *biodiesel* sebagai campuran bahan bakar (B10) mampu meningkatkan kinerja mesin seperti daya efektif, torsi dan tekanan efektif rata-rata lebih baik dari bahan bakar B0 dan B10E10, namun kebutuhan konsumsi bahan bakar menjadi lebih tinggi. Dari sisi temperature gas buang campuran bahan bakar B10 dan B10E10 memiliki temperature gas buang lebih baik dari bahan bakar B0. Hasil ujuk kerja dan temperature gas buang yang lebih baik dari campuran bahan bakar B10 menunjukkan bahwa bahan bakar *biodiesel* yang merupakan jenis *biofuel* cair memiliki potensi yang besar sebagai alternatif substitusi bahan bakar minyak.

### Daftar Pustaka

- Adaileh, W. M., & AlQdah, K. S. (2012). Performance of Diesel Engine Fuelled by a Biodiesel Extracted From A Waste Coking Oil. *Energy Procedia*, 18, 1317–1334. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2012.05.149>
- Ambarita, H. (2017). Performance and emission characteristics of a small diesel engine run in dual-fuel (diesel-biogas) mode. *Case Studies in Thermal Engineering*, 10, 179–191. <https://doi.org/10.1016/j.csite.2017.06.003>
- Arizal Sita Ahmad, & Bambang Sudarmanta. (2017). Studi eksperimen unjuk kerja mesin diesel sistem dual fuel dengan variasi tekanan penginjeksian pada injektor mesin yanmar TF 55R-Di. *JURNAL TEKNIK ITS*, 4, 2301–9271.
- Aydın, F., & Öğüt, H. (2017). Effects of using ethanol-biodiesel-diesel fuel in single cylinder diesel engine to engine performance and emissions. *Renewable Energy*, 103, 688–694. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.10.083>
- Daryanto, & Setyabudi, I. (2015). *Teknik Motor Diesel* (Cetakan kedua). Alfabeta.

- de Oliveira, A., de Morais, A. M., Valente, O. S., & Sodr , J. R. (2015). Combustion characteristics, performance and emissions from a diesel power generator fuelled by B7-ethanol blends. *Fuel Processing Technology*, 139, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.08.010>
- Elkelawy, M., Alm-Eldin Bastawissi, H., Esmail, K. K., Radwan, A. M., Panchal, H., Sadasivuni, K. K., Ponnamma, D., & Walvekar, R. (2019). Experimental studies on the biodiesel production parameters optimization of sunflower and soybean oil mixture and DI engine combustion, performance, and emission analysis fueled with diesel/biodiesel blends. *Fuel*, 255, 115791. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115791>
- Fajarsari, I. M. (2023). *The Minset Of MSM Actors Towards Online Loan Application (Using The Rubicon Model Perspective)*. 2(7).
- Gebremariam, S. N., & Marchetti, J. M. (2018). Economics of biodiesel production: Review. *Energy Conversion and Management*, 168, 74–84. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.002>
- How, H. G., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., & Teoh, Y. H. (2014). An investigation of the engine performance, emissions and combustion characteristics of coconut biodiesel in a high-pressure common-rail diesel engine. *Energy*, 69, 749–759. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.03.070>
- How, H. G., Masjuki, H. H., Kalam, M. A., Teoh, Y. H., & Chuah, H. G. (2018). Effect of Calophyllum Inophyllum biodiesel-diesel blends on combustion, performance, exhaust particulate matter and gaseous emissions in a multi-cylinder diesel engine. *Fuel*, 227, 154–164. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.04.075>
- Ilminnafik, N., Nisak, R. Z. K., Kustanto, M. N., & Iwananda, A. (2022). *Performance and Emissions of a Diesel Power Generator Fuelled by Biodiesel Calophyllum Inophyllum – Ethanol Blends*. 54(04). <https://repository.unej.ac.id/handle/123456789/109245>
- Kandasamy, S. K., Selvaraj, A. S., & Rajagopal, T. K. R. (2019). Experimental investigations of ethanol blended biodiesel fuel on automotive diesel engine performance, emission and durability characteristics. *Renewable Energy*, 141, 411–419. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.04.039>
- Kholiq, I. (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK*, 19(2).
- Krishna, S. M., Abdul Salam, P., Tongroon, M., & Chollacoop, N. (2019). Performance and emission assessment of optimally blended biodiesel-diesel-ethanol in diesel engine generator. *Applied Thermal Engineering*, 155, 525–533. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.04.012>
- Kumar, M., Kerihuel, A., Bellettre, J., & Tazerout, M. (2006). Ethanol animal fat emulsions as a diesel engine fuel – Part 2: Engine test analysis. *Fuel*, 85(17–18), 2646–2652. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2006.05.023>
- Mofijur, M., Rasul, M. G., & Hyde, J. (2015). Recent Developments on Internal Combustion Engine Performance and Emissions Fuelled With Biodiesel-Diesel-

- Ethanol Blends. *Procedia Engineering*, 105, 658–664. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.05.045>
- Motamedifar, N., & Shirneshan, A. (2018). *Effects of using diesel-ethanol-biodiesel blends and air swirl*. 7.
- Nisak, R. Z. K. N., Ilminnafik, N., & Junus, S. (2021). Performance and Emissions of Mixed Ethanol-Biodiesel Calophyllum Inophyllum Fueled Diesel Engine. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 9(8), 1124–1128. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2021/16982021>
- Noorollahi, Y., Azadbakht, M., & Ghobadian, B. (2018). The effect of different diesterol (diesel–biodiesel–ethanol) blends on small air-cooled diesel engine performance and its exhaust gases. *Energy*, 142, 196–200. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.10.024>
- Pambudi, S., Ilminnafik, N., Junus, S., & Kustanto, M. N. (2021). Experimental Study on the Effect of Nano Additives  $\gamma\text{Al}_2\text{O}_3$  and Equivalence Ratio to Bunsen Flame Characteristic of Biodiesel from Nyamplung (Calophyllum Inophyllum). *Automotive Experiences*, 4(2), 51–61. <https://doi.org/10.31603/ae.4569>
- Prasetyo, D. H. T., Prasmana, A., Rahman1, F., Ilham, L., Hamdani, W., & Prasetyo, B. A. (2023). Uji Performa dan Konsumsi Bahan Bakar RON 90 dengan Penambahan Bioetanol dari Tetes Tebu. *J-Proteksion: Jurnal Kajian Ilmiah dan Teknologi Teknik Mesin*, 7(2). <http://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/J-Proteksion/article/view/9009>
- Putrasari, Y., Praptijanto, A., Santoso, W. B., & Lim, O. (2016). Resources, policy, and research activities of biofuel in Indonesia: A review. *Energy Reports*, 2, 237–245. <https://doi.org/10.1016/j.egy.2016.08.005>
- Rizwanul Fattah, I. M., Kalam, M. A., Masjuki, H. H., & Wakil, M. A. (2014). Biodiesel production, characterization, engine performance, and emission characteristics of Malaysian Alexandrian laurel oil. *RSC Adv.*, 4(34), 17787–17796. <https://doi.org/10.1039/C3RA47954D>
- Suyono, S., Hartanti, N. U., Wibowo, A., & Narto, N. (2017). Biodisel dari Mangrove Jenis Nyamplung (Calophyllum inophyllum) sebagai Alternatif Pengganti Bahan Bakar Minyak Fossil. *Biosfera*, 34(3), 123. <https://doi.org/10.20884/1.mib.2017.34.3.505>
- Uripno, B., Kolopaking, L. M., Slamet, R. M., & Amanah, S. (2014). Implementation Of Demonstration Plots DME Nyamplung (Calophyllum inophyllum L) In Buluagung And Patutrejo Villages. *International Journal of Science and Engineering*, 7(1), 81–90. <https://doi.org/10.12777/ijse.7.1.81-90>
- Yamin, J. A. A., Sakhnini, N., Sakhrieh, A., & Hamdan, M. (2009). Performance of CI engines using Biodiesel as fuel. *GCREEDER International Conference*, 1–13.
- Zaharin, M. S. M., Abdullah, N. R., Najafi, G., Sharudin, H., & Yusaf, T. (2017). Effects of physicochemical properties of biodiesel fuel blends with alcohol on diesel engine performance and exhaust emissions: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79, 475–493. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.035>