

Analisis Pengaruh *Multi-Feedstock* Biodiesel Terhadap Performa *Diesel Engine* dengan Modifikasi Piston

Lely Pramesti¹, M. Faruq As'ary¹

¹Prodi Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jl. Teknik Kimia, Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

Email: lelypramesti@ppns.ac.id¹, faruqasry03@student.ppns.ac.id¹

Abstrak

Biodiesel muncul sebagai salah satu pilihan bahan bakar alternatif terbarukan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Biodiesel dapat dihasilkan dari minyak nabati maupun lemak hewani. Penelitian ini menggunakan *multi-feedstock* biodiesel berbahan baku minyak sawit, minyak jelantah dan lemak sapi yang dicampur dengan minyak solar (Pertamina Dex) dengan komposisi B20, B35 dan B100. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui pengaruh penggunaan *multi-feedstock* biodiesel terhadap performa motor diesel empat langkah dengan *piston chamber* yang dimodifikasi atau disebut LSCS *piston chamber*. Pengujian dilakukan pada beban tertentu dan putaran motor yang bervariasi. Dari hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai daya dan torsi tertinggi dihasilkan pada penggunaan B100, nilai daya sebesar 1,89 kW dan nilai torsi sebesar 17,19 Nm pada putaran maksimum 1050 rpm. Nilai tersebut merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan nilai daya dan torsi yang dihasilkan pada penggunaan solar, B20 atau B35. Sedangkan hasil pengujian konsumsi bahan bakar menunjukkan nilai GSFC (*Generator Specific Fuel Consumption*) terendah diperoleh pada penggunaan solar sebesar 345,65 gr/kWh pada putaran maksimum 1050 rpm. Hal ini mungkin terjadi karena pengaruh sifat fisik bahan bakar, salah satunya adalah nilai kalori. Pada hasil uji karakteristik, solar mempunyai nilai kalori yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalori *multi-feedstock* biodiesel B20, B35 dan B100.

Kata kunci: *Multi-feedstock*, Biodiesel, Performa, *Diesel Engine*, LSC *Piston Chamber*

Abstract

Biodiesel has emerged as a renewable alternative fuel option to reduce dependence on fossil fuels. Biodiesel can be produced from vegetable oils or animal fats. This research uses multi-feedstock biodiesel made from palm oil, waste cooking oil and beef tallow mixed with diesel oil (Pertamina Dex) with the composition B20, B35 and B100. The aim of this research is to determine the effect of using multi-feedstock biodiesel on the performance of a four-stroke diesel engine with a modified piston chamber or called LSCS piston chamber. Tests were carried out at load and varying rotation. Based on the test results that have been carried out, it shows that the highest power and torque values are produced when using B100, the power value is 1.89 kW and the torque value is 17.19 Nm at a maximum rotation of 1050 rpm. This value is the highest value compared to the power and torque values produced when using diesel oil, B20 or B35. Meanwhile, the fuel consumption test results show that the lowest GSFC (Generator Specific Fuel Consumption) value was obtained when using diesel oil as much as 345.65 gr/kWh at a maximum rotation of 1050 rpm. This occurs due to the influence of the physical properties of the fuel, one of which is the calorific value. In the characteristic test results, diesel oil has a higher calorific value compared to the multi-feedstock biodiesel B20, B35 and B100 calorific value.

Keywords: *Multi-feedstock*, Biodiesel, Performance, Diesel Engine, LSCS Piston Chamber

1. Pendahuluan

Konsumsi bahan bakar minyak bumi salah satunya adalah solar yang semakin meningkat dari tahun ke tahun di Indonesia ini tidak diimbangi dengan produksi minyak mentahnya (Purwanto, 2023). Jika hal tersebut dibiarkan maka lambat laun bukan tidak mungkin jika isu kelangkaan bahan bakar fosil menjadi masalah dan harus diselesaikan. Biodiesel menjadi salah satu solusi sebagai bahan bakar alternatif yang telah diteliti bertahun-tahun untuk mengurangi dan mencegah kelangkaan energi fosil (Devita, 2015). Biodiesel adalah *monoalkyl ester* yang berasal dari asam lemak baik dari minyak nabati atau dari lemak hewani sehingga dianggap ramah lingkungan (Dimawarnita et al., 2021). Sedangkan proses pembuatannya dengan mereaksikan trigliserida dalam minyak nabati atau lemak hewani dengan gugus alkohol seperti metanol untuk menghasilkan metil ester asam lemak atau *Fatty Acids Methyl Esters* atau biodiesel dan gliserol sebagai produk sampingannya (Daryono, 2020). Biodiesel dan gliserol ini akan dipisahkan untuk mendapatkan produk (Daryono dkk., 2021).

Beberapa penelitian terkait biodiesel memberikan informasi tentang karakteristik bahan baku pembuatan biodiesel dan bagaimana performa motor diesel jika menggunakan biodiesel tersebut sebagai bahan bakarnya. Penelitian Bhikuning, (2013), menggunakan biodiesel dari *virgin coconut oil* yang diujikan pada motor diesel Dong Feng ZS1110, Hutomo, (2014) menggunakan biodiesel dari minyak biji nyamplung dan pengujian pada motor diesel Nissan DWE-47-

50–HS–AV, Pramesti et al., (2013) menggunakan minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel dan melakukan pengujian *durability* pada motor diesel empat langkah Shanhai R 180, Affandi et al., (2013), menggunakan lemak sapi dari limbah industri makanan sebagai biodiesel. Beberapa penelitian yang disebutkan sebelumnya jika ditarik kesimpulan rata-rata hanya menggunakan bahan baku dari satu jenis minyak nabati atau minyak hewani. Hal ini dikhawatirkan dapat menyebabkan isu kelangkaan pada salah satu jenis bahan baku tersebut, sebagai contoh pada suatu negara hanya dapat menanam kedelai maka jika terdapat kondisi buruk akibat pergantian musim sehingga kedelai tersebut tidak dapat dipanen maka pembuatan biodiesel dengan bahan baku tersebut terpaksa harus dihentikan sementara. Oleh karena itu menggunakan beberapa jenis bahan baku biodiesel baik dari minyak nabati maupun hewani dengan persentase tertentu akan menjadi alternatif (Hadiyanto et al., 2018). Istilah yang umum diberikan untuk beberapa jenis bahan baku tersebut adalah *multi-feedstock*. Pada penelitian ini menggunakan minyak sawit, minyak jelantah dan lemak sapi sebagai bahan baku pembuatan *multi-feedstock* biodiesel.

Sebagai bahan bakar alternatif maka seharusnya biodiesel harus memenuhi standar yang ditetapkan seperti standar SNI yang berlaku di Indonesia. Oleh karena itu pengujian karakteristik terhadap biodiesel yang dihasilkan harus dilakukan sebelum biodiesel tersebut diujikan pada motor diesel. Menurut Ginanjar et.al., (2019), analisis berdasarkan *properties* atau sifat-sifat fisika bahan bakar sangat berpengaruh terhadap performa *engine*, salah satunya nilai kalori akan berpengaruh terhadap kebutuhan bahan bakar. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menganalisis performa motor diesel, meliputi daya, torsi dan GSFC dengan menggunakan motor diesel empat langkah dan dengan bahan bakar dari *multi-feedstock* biodiesel yang dicampur solar dengan persentase B20, B35 dan B100. Tidak hanya itu modifikasi terhadap *piston chamber* atau yang dikenal dengan *Lateral Swirl Combustion System* (LSCS) juga dilakukan untuk mengetahui performa motor diesel. Pada penelitian Nugroho, (2017) pengujian motor diesel empat langkah dengan variasi beban dan putaran motor hingga maksimum pada 1500 rpm serta menggunakan LSCS *piston chamber* menghasilkan daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan piston standar atau *flat piston*. Poernomo et al., (2017) pada penelitiannya menyimpulkan bahwa emisi gas buang pada motor diesel dengan LSCS *piston chamber* menghasilkan konsentrasi emisi gas buang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan *flat piston*. Jika dihubungkan dengan performa motor diesel, konsumsi bahan bakar merupakan faktor terpenting pengukuran gas buang karena mempengaruhi emisi karbon yang dihasilkan.

Dengan dasar adanya sumber penelitian terdahulu, maka pada penelitian ini ditujukan untuk mengetahui pengaruh *multi-feedstock* biodiesel terhadap performa motor diesel empat langkah dengan *piston chamber* yang dimodifikasi atau disebut LSCS *piston chamber*. Performa yang dianalisis yaitu daya, torsi dan GSFC dengan metode eksperimental.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Pra-eksperimen dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari motor diesel dengan bahan bakar solar. Dari hasil evaluasi pada pra-eksperimen ditentukan bahwa beban yang dapat mewakili karakteristik motor diesel dicapai pada 2000 Watt dengan putaran maksimum 1050 rpm. Spesifikasi motor diesel yang digunakan adalah motor diesel empat langkah dengan putaran maksimum 2600 rpm pada tabel 1.

Sedangkan untuk pembuatan *multi-feedstock* biodiesel dilakukan dengan proses esterifikasi masing-masing bahan baku yaitu minyak sawit, minyak jelantah dan lemak sapi. Kemudian dilakukan transesterifikasi yaitu mereaksikan trigliserida dari minyak dengan alkohol menggunakan metanol dan katalis basa menghasilkan metil ester dan gliserol (Daryono, 2022). Beberapa tahap pembuatan dilakukan sehingga didapatkan biodiesel, kemudian dengan perbandingan 1:1:1 biodiesel yang dihasilkan dari masing-masing bahan baku akan dicampur menjadi *multi-feedstock* biodiesel. Pembuatan B20, B35 dan B100 merupakan komposisi dari perbandingan persentase antara *multi-feedstock* biodiesel dan solar dapat dilihat pada gambar 1.

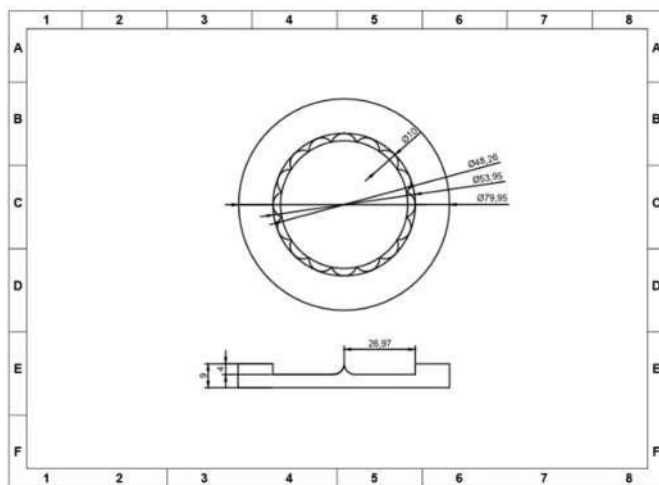
Tabel 1. Spesifikasi Motor Diesel dan Generator

SPECIFICATION			
Diesel Engine		Generator	
Type	4 Cycle, Dong Feng R180A Hopper	Type	AC. Synchronous Generator STC-5
Daya Maksimum	8 HP / 2600 rpm	Power	5kW / 6.3 kVA
Berat	78 kg	Voltage	380/660V
Kapasitas Tanki Bahan Bakar	5,88 liter	Arus Listrik	5,5 A/ 3 Phase
Perbandingan Kompresi Pembakaran	21:01	Speed	1500 rpm



Gambar 1. Multi-Feedstock Biodiesel (B20, B35, B100)

Sebagai bahan bakar, biodiesel yang dihasilkan harus melalui uji laboratorium untuk mengetahui karakteristiknya. Masing-masing *multi-feedstock* biodiesel B20, B35 dan B100 melalui tahap pengujian dengan metode tertentu. Pada penelitian ini tidak hanya melakukan uji bahan bakar pada motor diesel saja namun dilakukan modifikasi pada *piston chamber*. Pembuatan LSCS *piston chamber* pada bengkel reparasi mesin diesel dan laboratorium CNC PPNS sesuai dengan konfigurasi pada gambar 2. Ukuran diameter dalam ditentukan dan dibuat memiliki kedalaman tertentu semacam *piston bowl* sesuai gambar 2 b. Selanjutnya pengujian bahan bakar B20, B35 dan B100 diujikan pada motor diesel sesuai spesifikasi tabel 1 dengan variasi putaran 900 rpm, 950 rpm, 1000 rpm dan 1050 rpm dan pada beban 2000 Watt.



a



b

Gambar 2 a dan b. Konfigurasi LSCS *Piston Chamber*

3. Hasil dan Diskusi

3.1. Properti Bahan Bakar

Tabel 2. Hasil Uji Karakteristik Bahan Bakar

Bahan Bakar	Titik Nyala (°C)	Densitas (kg/m ³)	Viskositas (cSt)	Angka Setana	Nilai Kalori (cal/g)
Pertamina Dex/Solar	55	820 - 860	2,0 – 4,5	53 (min)	10711
B20	59	819,56	2,3	70,8	10694
B35	64	828,56	2,5	74,8	10461
B100	134	878,88	3,7	74,8	9413
Standar SNI Biodiesel	130	850-890	2,3-6,0	51	-

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian karakteristik biodiesel disimpulkan bahwa densitas, viskositas,

angka setana dan nilai kalori bahan bakar yang diuji dipengaruhi oleh persentase biodiesel dalam campuran. Pada B100 yaitu biodiesel murni tanpa campuran solar atau Pertamina Dex dihasilkan karakteristik yang menyerupai biodiesel yang sesuai standar SNI. Pada tabel 2 menunjukkan titik nyala B100 sebesar 134°C memenuhi dari syarat minimum SNI yaitu sebesar 130°C, densitas biodiesel B100 didapatkan angka sebesar 878,88 kg/m³ yang masih berada pada rentang persyaratan standar SNI yaitu antara 850-890 kg/m³, begitu juga dengan viskositas B100 yang memenuhi persyaratan SNI dengan nilai 3,7 cSt, hal itu karena angka 3,7 masih dalam rentang 2,3-6,0 cSt. Sedangkan angka setana pada biodiesel hasil pengujian didapatkan nilai 74,8. Nilai tersebut jauh melebihi standar minimum biodiesel SNI yakni 51. Menurut Dunn, (2005), dengan angka setana tinggi efeknya dapat mengurangi waktu *ignition delay*, sehingga proses pembakaran dapat dikatakan lebih sempurna dan unjuk kerja atau performa motor diesel akan lebih baik dan lebih ramah lingkungan. Sedangkan nilai kalori tertinggi didapatkan pada hasil uji karakteristik bahan bakar solar, hal ini juga terjadi pada penelitian Rezeika et.al., (2018).

3.2. Performa Motor Diesel dengan LSCS Piston Chamber

Sesuai dengan tujuan penelitian ini yaitu mengetahui pengaruh *multi-feedstock* biodiesel terhadap performa motor diesel empat langkah dengan *piston chamber* yang dimodifikasi atau disebut *LSCS piston chamber*, dibutuhkan parameter-parameter untuk melakukan perhitungan terkait daya, torsi dan GSFC sesuai dengan hasil yang ditunjukkan pada variabel terikat. Berikut adalah beberapa persamaan yang digunakan untuk mencari besaran daya yang sesuai spesifikasi motor diesel dan generator tiga *phase* sesuai spesifikasi yang tercantum pada tabel 1, mencari torsi dan menghitung kebutuhan kebutuhan GSFC.

$$P = \sqrt{3} \times V \times I \times \cos \phi \quad (1)$$

$$T = \frac{P \times 60 \times 1000}{2 \pi \times \rho \times N} \quad (2)$$

$$FCR = \frac{V}{t} \quad (3)$$

$$gsfc = \frac{FCR}{P} \quad (4)$$

Keterangan:

P = Daya (kW)

V = Tegangan (V)

I = Arus listrik (A)

$\cos \phi$ = Faktor daya atau rasio antara daya aktif dan daya semu

T = Torsi (Nm)

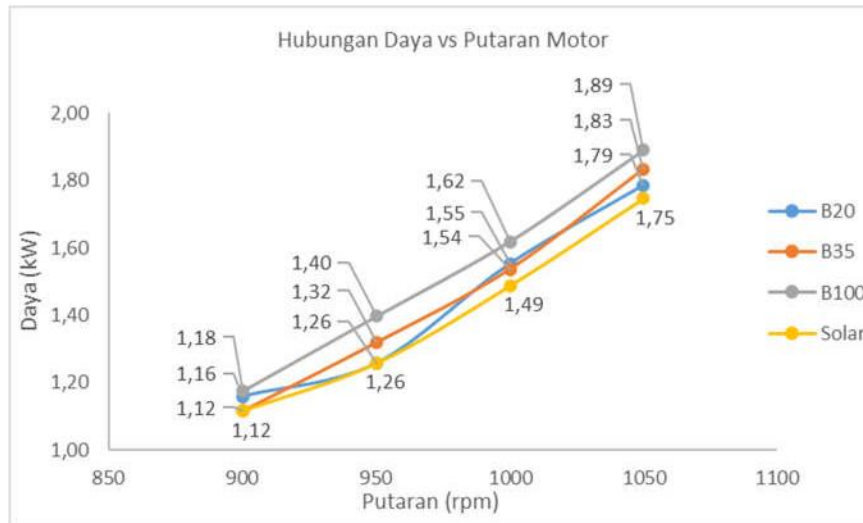
N = Kecepatan putaran motor (rpm)

FCR = Laju bahan bakar (gr/h)

V = Volume bahan bakar (m³)

t = Waktu untuk menghabiskan bahan bakar (s)

GSFC = *Generator Specific Fuel Consumption* (g/kWh)

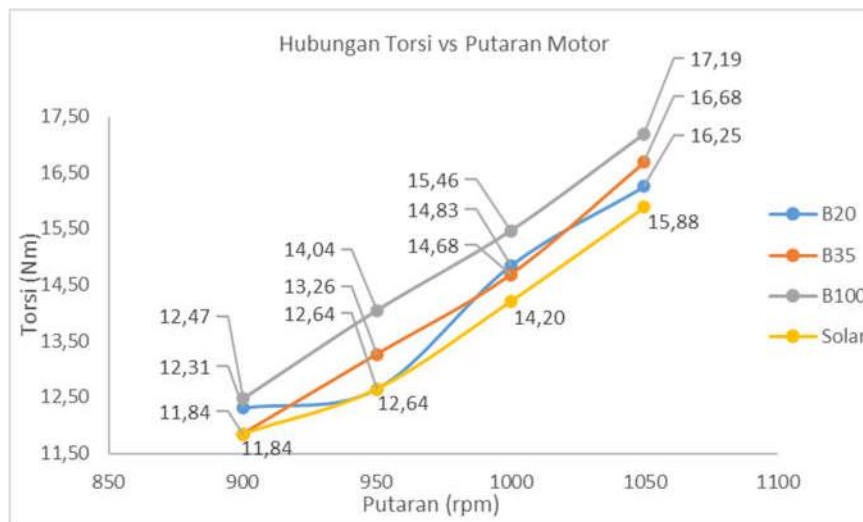


Gambar 3. Nilai Daya pada Variasi Putaran Setiap Bahan Bakar

Dari pengolahan beberapa data hasil uji performa motor diesel pada gambar 3 menunjukkan hubungan antara daya yang dihasilkan terhadap variasi putaran motor. Pada gambar tersebut menunjukkan model atau tren grafik yang berbeda sesuai dengan variasi bahan bakar yang digunakan. Penggunaan B100 menghasilkan nilai daya tertinggi pada setiap variasi putaran motor, nilai daya tertinggi dicapai pada saat putaran maksimum 1050 rpm yaitu sebesar 1,89 kW. Variasi putaran atau rpm pada beban yang sama memiliki pengaruh besar dalam naiknya tegangan dan arus listrik yang dihasilkan pada saat pengukuran. Semakin besar putaran motor (rpm) akan menghasilkan nilai tegangan dan arus yang besar pula. Maka sesuai dengan persamaan 1, nilai daya juga akan mengalami peningkatan seiring meningkatnya tegangan dan arus yang dihasilkan pada saat pengujian.

Bahan bakar B100 ini merupakan bahan bakar dengan persentase 100% *multi-feedstock* biodiesel tanpa dicampur dengan solar. Dengan angka setana 74,8 pada B100 yang melebihi standar minimum biodiesel SNI yakni 51 menunjukkan performa bahan bakar tersebut dikatakan lebih baik dibandingkan penggunaan solar, B20 maupun B35. Hal ini berkorelasi dengan Dunn, (2005) yang menjelaskan bahwa angka setana tinggi berakibat dapat mengurangi waktu *ignition delay*, sehingga proses pembakaran dapat dikatakan lebih sempurna dan unjuk kerja.

Selain tren peningkatan daya pada pemakaian B100 terhadap variasi putaran, pada gambar 3 dapat dilihat tren grafik pada saat pemakaian solar atau Pertamina Dex menghasilkan daya yang lebih rendah terutama pada putaran 1000 dan 1050 dibandingkan pada saat pemakaian *multi-feedstock* biodiesel B20, B35 dan B100.



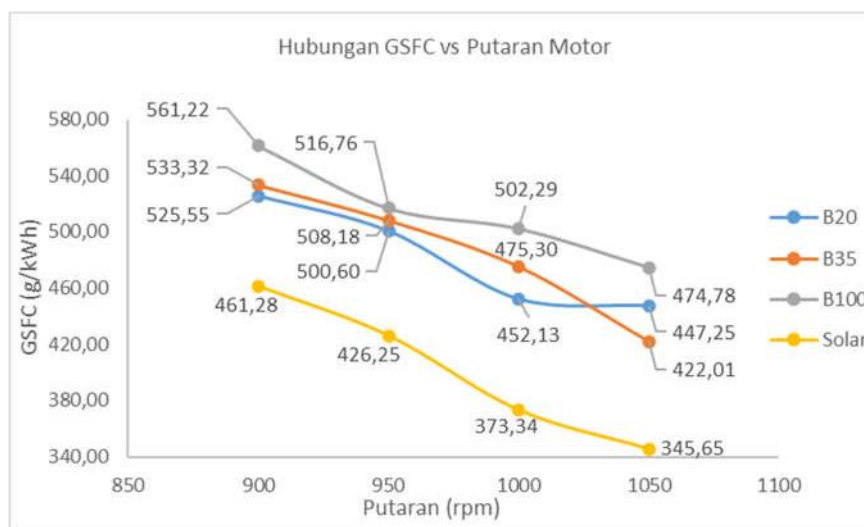
Gambar 4. Nilai Torsi pada Variasi Putaran Setiap Bahan Bakar

Gambar 4 menunjukkan hubungan antara torsi yang dihasilkan pada pengujian terhadap variasi putaran motor. Nilai tersebut didapatkan dengan perhitungan menggunakan persamaan 2. Torsi tertinggi dihasilkan oleh B100 pada setiap variasi putaran motor, nilai torsi tertinggi dihasilkan pada saat putaran maksimum 1050 rpm yaitu sebesar 17,19 Nm. Menurut persamaan 2, torsi sangat erat kaitannya dengan hasil besaran daya yang didapatkan pada perhitungan sesuai

persamaan 1 yaitu berbanding lurus. Sehingga dengan variasi putaran yang sama, semakin besar daya yang dihasilkan maka nilai torsi yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Pada grafik hubungan torsi terhadap putaran, tren peningkatan torsi pada setiap pemakaian jenis bahan bakar solar, B20, B35 dan B100 juga menyerupai grafik hubungan daya terhadap putaran. Terlihat pemakaian solar atau Pertamina Dex juga menghasilkan torsi yang lebih rendah terutama pada putaran 1000 dan 1050 dibandingkan pada saat pemakaian *multi-feedstock* biodiesel B20, B35 dan B100.

Pengujian pengaruh *multi-feedstock* biodiesel terhadap performa diesel *engine* tidak hanya menghasilkan nilai daya dan torsi saja, GSFC atau *Generator Specific Fuel Consumption* juga dianalisis dengan perhitungan menggunakan persamaan 3 dan 4. FCR didapatkan dari pengukuran lama waktu untuk menghabiskan bahan bakar saat pengujian dengan beban berlangsung. Sedangkan GSFC dihitung sesuai persamaan 4. Pada gambar 5 adalah grafik hubungan antara GSFC pada variasi *multi-feedstock* biodiesel terhadap variasi putaran.



Gambar 5. Nilai GSFC pada Variasi Putaran Setiap Bahan Bakar

Gambar 5 menunjukkan hubungan antara GSFC yang dibutuhkan pada pengujian terhadap variasi putaran motor. Berbeda dengan grafik pada gambar 3 dan 4, nilai tertinggi baik daya dan torsi dihasilkan pada saat penggunaan *multi-feedstock* biodiesel B100. Pada gambar 5 terlihat bahwa penggunaan bahan bakar solar (Pertamina Dex) hanya membutuhkan konsumsi bahan bakar yang cenderung sedikit, ditunjukkan oleh nilai GSFC yang rendah pada setiap variasi putaran motor. Nilai GSFC terendah terlihat pada saat putaran maksimum 1050 rpm yaitu sebesar 345,65 g/kWh dan berangsur-angsur meningkat ketika putaran dikurangi.

Sesuai dengan persamaan 4, konsumsi bahan bakar akan berbanding terbalik dengan besaran daya. Semakin besar daya yang dihasilkan maka konsumsi bahan bakar akan semakin rendah atau sedikit sehingga GSFC juga akan semakin kecil. Perhitungan GSFC juga mempertimbangkan lama waktu dalam menghabiskan bahan bakar, dengan volume bahan bakar yang sama. Semakin cepat waktu yang diperlukan untuk menghabiskan bahan bakar maka FCR atau laju bahan bakar semakin besar. Menurut persamaan 4, konsumsi bahan bakar (FCR) akan berbanding terbalik dengan besaran daya

(P). Sehingga dari hasil pengolahan data pada saat penggunaan B100 didapatkan FCR yang besar yaitu sebesar 897,35 gr/h dan dibagi dengan daya tertinggi 1,89 kW maka membutuhkan GSFC sebesar 474,78 gr/kWh yang mana lebih banyak atau lebih besar dibandingkan dengan kebutuhan GSFC saat menggunakan bahan bakar solar yaitu sebesar 345,65 gr/kWh pada kondisi putaran yang sama yaitu putaran maksimum 1050 rpm.

Selain itu menurut Ginanjar et.al., (2019), sifat-sifat fisika bahan bakar sangat berpengaruh terhadap performa *engine* salah satunya adalah nilai kalori. Nilai kalori akan berpengaruh terhadap kebutuhan bahan bakar, dimana semakin tinggi nilai kalori maka semakin sedikit bahan bakar yang digunakan. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian karakteristik variasi bahan bakar yang digunakan. Solar mempunyai nilai kalori yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalori *multi-feedstock* biodiesel B20, B35 dan B100.

4. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan pada bab sebelumnya dapat ditarik kesimpulan bahwa 1). *Multi-feedstock* biodiesel yang dihasilkan dari proses kimia yang dilakukan memiliki karakteristik menyerupai biodiesel yang sesuai standar SNI sehingga dapat digunakan sebagai bahan bakar dalam pengujian performa motor diesel empat langkah sesuai

spesifikasinya. 2) Dari hasil pengujian yang dilakukan menunjukkan bahwa nilai daya dan torsi tertinggi dihasilkan pada penggunaan B100, nilai daya sebesar 1,89 kW dan nilai torsi sebesar 17,19 Nm pada putaran maksimum 1050 rpm. Nilai tersebut merupakan nilai tertinggi dibandingkan dengan nilai daya dan torsi yang dihasilkan pada penggunaan solar, B20 atau B35. Sesuai dengan persamaan 2 daya berbanding lurus dengan torsi, sehingga dengan variasi putaran yang sama, semakin besar daya yang dihasilkan maka nilai torsi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Sehingga pada penelitian ini disimpulkan penggunaan B100 menghasilkan performa yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan variasi bahan bakar lain pada beban dan putaran motor yang sama. Sedangkan hasil pengujian konsumsi bahan bakar menunjukkan nilai GSFC (*Generator Specific Fuel Consumption*) terendah diperoleh pada penggunaan solar sebesar 345,65 gr/kWh pada putaran maksimum 1050 rpm. Hal ini terjadi karena pengaruh sifat fisik bahan bakar, salah satunya adalah nilai kalori. Pada hasil uji karakteristik, solar mempunyai nilai kalori yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai kalori *multi-feedstock* biodiesel B20, B35 dan B100.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terimakasih disampaikan kepada pihak-pihak yang terkait dalam penelitian ini sehingga *output* penelitian ini dapat dihasilkan beberapa luaran termasuk untuk seminar Master 2023 ini.

6. Daftar Pustaka

- Affandi, R. D. N., Toni Rizki Aruan, Taslim, & Iriany. (2013). Produksi Biodiesel Dari Lemak Sapi Dengan Proses Transesterifikasi Dengan Katalis Basa NaOH. *Jurnal Teknik Kimia USU*, 2(1), 1–6.
- Bhikuning, A. (2014). Analisa Performa Mesin dengan Biodiesel Terbuat dari Virgin Coconut Oil pada Mesin Diesel. *Jurnal Energi Dan Manufaktur*, 6(2), 123–128.
- Daryono, E. D. (2020). Proses Interesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel dengan Co-solvent Meil Ester. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, 4 (1): 1-8
- Daryono, E. D., Wardana, I. N. G., Cahyani, C. & Hamidi, N. (2021). Biodiesel Production Process Without Glycerol by Product with Base Catalyst: Effect of Reaction Time and Type of Catalyst on Kinetic Energy and Solubility. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 1053 012058.
- Daryono, E., Rahman, & Zukhriyah. (2022). Penggunaan Metanol Sisa Reaksi Sebagai Reaktan Pada Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel. *Jurnal Teknologi*, 14(2), 155–162.
- Devita, L. (2015). Biodiesel Sebagai Bioenergi Alternatif Dan Prospektif. *Agrica Ekstensia*, 9(2), 23–26.
- Dimawarnita, F., Arfiana, A. N., Mursidah, S., Maghfiroh, S. R., & Suryadarma, P. (2021). Produksi Biodiesel Berbasis Minyak Nabati Menggunakan Aspen Hysys. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 31(1), 98–109.
<https://doi.org/10.24961/j.tek.ind.pert.2021.31.1.98>
- Dunn, R.O. (2005). Effect of antioxidants on the oxidative stability of methyl soyate (biodiesel). *Renewable Energy*, p.1071 - 1085.
- Ginanjar, T., Junaidi, Lubis, G. S., & Simanjuntak, Y. M. (2019). Analisa Kebutuhan Bahan Bakar Boiler dengan Melakukan Uji Kalori pada Pabrik Kelapa Sawit PT. Sentosa Prima Agro. *Jurnal Teknologi Rekayasa Teknik Mesin*, 1(1), 1–6.
- Hadiyanto, H., Yuliandaru, I., & Hapsari, R. (2018). Production of Biodiesel from Mixed Waste Cooking and Castor Oil. *MATEC Web of Conferences*, 156, 3–6. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201815603056>
- Hutomo, A.P. & Sutjahjo, D.H. (2014). Proses Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Biji Nyamplung Dan Uji Kinerja Pada Mesin Diesel. *JTM. Volume 02 Nomor 02*, 179-185
- Nugroho, Ary Setyo (2017) Analisa Studi Komparasi Unjuk Kerja Lscs Piston Chamber Dan Flat Piston Chamber Four Stroke Small Marine Diesel. Diploma thesis, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.
- Poernomo, H., & Haryono, E. (2017). Studi Komparasi Eksperimental Emisi Gas Buang Lscs Piston Chamber dan Flat Piston Chamber Four Stroke Small Marine Diesel Engine pada Beban Konstan 1000. *Inovtek Polbeng*, 7(2).
- Pramesti, L., Fathallah, A. Z. M., & Ariana, I. M. (2013). Analisa Pengaruh Angka Iodin Pada Biodiesel Dari Waste Cooking Oil Terhadap Laju Keausan Dan Terbentuknya Carbon Deposit Pada Komponen Small Marine Diesel Engine. *Seminar Nasional Pascasarjana XIII – ITS*.
- Purwanto, A., & Nugroho, S. D. (2023). Analisa Teknis Unjuk Kerja Motor Diesel Kapal Nelayan Berbahan Bakar Multi Feedstock Biodiesel. *Inovtek Polbeng*, 13(1), 70. <https://doi.org/10.35314/ip.v13i1.3284>
- Rezeika, S. H., Ulfin, I., & Ni'mah, Y. L. (2018). Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Katalis NaOH dengan Variasi Waktu Reaksi Transesterifikasi dan Uji Performanya dengan Mesin Diesel. *Akta Kimia Indonesia*, 3(2), 175. <https://doi.org/10.12962/j25493736.v3i2.3098>