

Pengaruh Variasi Pembebanan Terhadap Performansi Mesin Diesel Single-Fuel Berbahan Bakar Dexlite Dan Liquefied Petroleum Gas

Andinusa Rahmandhika¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Malang

E-mail: ¹⁾andinusa@umm.ac.id

Abstrak

Liquefied Petroleum Gas (LPG) merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan sangat disayangkan jika tidak dimanfaatkan. Dengan melakukan modifikasi pada mesin diesel ternyata LPG dapat dimanfaatkan sebagai pengganti bahan bakar minyak. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja mesin diesel dengan bahan bakar single-fuel menggunakan Dexlite dan LPG 3 kg. Metode dalam penelitian ini adalah penelitian eksperimental. Data diambil sebanyak tiga kali pada masing-masing percobaan dengan variasi beban yang berbeda, kemudian diolah untuk mendapatkan nilai putaran mesin, torsi, daya, SFC, dan efisiensi termal. Hasil penelitian menunjukkan nilai torsi maksimum pada dexlite dan LPG yaitu 22,4375 N.m. Nilai daya maksimum pada dexlite dan LPG yaitu 3,9924 kW. Nilai SFC minimum pada dexlite yaitu 1,3089 kg/kW.jam sedangkan LPG 0,9481 kg/kW.jam. Nilai efisiensi termal maksimum pada dexlite yaitu 64,03% sedangkan LPG 80,8%. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa nilai torsi dan daya pada setiap bahan bakar memiliki nilai yang sama, hal ini dikarenakan putaran mesin dan beban yang sama. Namun, pada nilai SFC dan efisiensi termal pada setiap bahan bakar memiliki nilai yang berbeda, dimana nilai SFC LPG 3 kg lebih rendah daripada Dexlite dan nilai efisiensi termal LPG 3 kg lebih tinggi daripada Dexlite.

Kata Kunci: daya, dexlite, *Liquefied Petroleum Gas*, mesin diesel, SFC

Abstract

Liquefied Petroleum Gas (LPG) is an environmentally friendly alternative fuel, it would be a shame if it were not utilized. By making modifications to the diesel engine, it turns out that LPG can be used as a substitute for fuel oil. This research aims to determine the performance of a single-fuel diesel engine using Dexlite and 3 kg LPG. The method in this research is experimental research. Data was taken three times in each experiment with different load variations, then processed to obtain values for engine speed, torque, power, SFC and thermal efficiency. The research results show that the maximum torque value for dexlite and LPG is 22.4375 N.m. The maximum power value for dexlite and LPG is 3.9924 kW. The minimum SFC value for dexlite is 1.3089 kg/kW.hour while LPG is 0.9481 kg/kW.hour. The maximum thermal efficiency value for dexlite is 64.03% while for LPG it is 80.8%. The results of this research show that the torque and power values for each fuel have the same value, this is because the engine speed and load are the same. However, the SFC value and thermal efficiency of each fuel have different values, where the SFC value of 3 kg LPG is lower than Dexlite and the thermal efficiency value of 3 kg LPG is higher than Dexlite.

Keywords: power, dexlite, *Liquefied Petroleum Gas*, diesel engine, SFC

1. PENDAHULUAN

Dalam sejarah manusia, kemajuan budaya yang besar selalu dikaitkan dengan peningkatan energi terutama bahan bakar, konsumsi energi saat ini berhubungan langsung dengan taraf hidup masyarakat dan tingkat industrialisasi negara [1-3]. Eksplorasi energi lebih terfokus pada energi minyak bumi yang merupakan sumber daya tak terbarukan, sementara menggunakan energi terbarukan relatif sedikit [4, 5]. Dengan adanya masalah tersebut memaksa para peneliti berkonsentrasi menemukan energi alternatif untuk mengurangi penggunaan energi fosil [6].

Salah satu permasalahannya adalah kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM) akibat kelangkaan minyak, oleh karena itu Bahan Bakar Gas (BBG) dapat digunakan sebagai energi alternatif [7]. Salah satu bahan bakar gas (BBG) adalah bahan bakar *Liquefied Petroleum Gas* (LPG) yang digunakan sebagai bahan bakar alternatif pada mobil bermesin pembakaran dalam [8, 9]. LPG merupakan campuran dari beberapa variabel, yang terpenting adalah propana (C_3H_8) dan butana (C_4H_{10}) atau kombinasi keduanya [10]. Keuntungan menggunakan LPG dibandingkan BBM adalah lebih murah, dapat mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang yang ramah lingkungan [11, 12].

Pada masa saat ini masih terdapat 433 daerah di Indonesia yang masih belum dialiri listrik [13]. Salah satu solusi dari masalah tersebut yaitu memanfaatkan mesin diesel yang mampu mensuplai listrik ketika listrik utama padam serta dapat menghidupkan listrik pada daerah yang masih belum dialiri listrik [14]. Mesin diesel adalah alat yang menghasilkan aliran listrik [15, 16].

Setelah ditinjau dari beberapa aspek seperti lingkungan dan ketersediaan sumber energi, mesin diesel dengan bahan bakar LPG merupakan suatu alternatif yang menjanjikan [17]. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menyatakan bahwa mesin diesel berbahan bakar LPG dapat meningkatkan torsi dan daya, menurunkan konsumsi bahan bakar, meningkatkan efisiensi termal, dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan asap kotor [18-20].

Namun dari beberapa penelitian tersebut, digunakan dua jenis bahan bakar (dextrite-LPG). Oleh karena itu, penulis berinisiatif untuk memperluas penelitian sebelumnya dengan eksperimen yang dilakukan dengan bahan bakar (LPG). Harapannya, dari penelitian ini, diperoleh perbandingan nilai torsi, daya, konsumsi

bahan bakar, serta efisiensi termal dari kedua bahan bakar untuk pembebanan yang bervariasi.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini adalah penelitian eksperimen. Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali dengan variasi pembebanan yang berbeda pada setiap percobaan. Data yang diperoleh kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan sehingga diperoleh data beban, torsi, daya, konsumsi bahan bakar dan efisiensi termal. Dextrite dan LPG 3 kg digunakan sebagai bahan bakar dalam percobaan ini.

a. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan pada bulan Mei 2022 hingga September 2022 di Laboratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Malang.

b. Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan Mesin Diesel 7 HP, *Prony Brake*, Beban Pemberat, Tachometer, Gelas Ukur, Timbangan Digital, Regulator Gas LPG. Bahan yang digunakan adalah Dextrite produk dari Pertamina dan LPG 3 kg.

c. Prosedur Penelitian

1) Penyusunan Alat Penelitian

Penyusunan alat penelitian dilakukan melalui beberapa referensi dimana terdapat beberapa peralatan yang dipinjam dan dibuat sendiri, selain itu juga dilakukan pengecekan pada beberapa komponen dari tingkat presisi dan kebocoran.

2) Tahap Persiapan Pengujian

Mempersiapkan peralatan-peralatan pengujian, setelah beberapa komponen terpasang dilakukan pengecekan ulang kondisinya untuk memperlancar tahapan proses dari pengujian yang dilakukan.

3) Perencanaan dan Perangkaian Alat *Prony Brake*

Perencanaan *prony brake* dilakukan melalui beberapa referensi dan perangkaian *prony brake* menggunakan kayu sebagai alat pengereman pada putaran mesin dengan ditambahkan beban pada tuas penekan rem.

4) Pengujian Performa Mesin

Pengujian performa mesin dilakukan dengan putaran mesin dibatasi hanya 1700

rpm, di luar itu gesekan terlalu tinggi dan dapat membahayakan operator pengujian. Untuk bahan bakar yang digunakan, yaitu Dexlite dan LPG. Kemudian dilakukan pengukuran putaran mesin menggunakan tachometer. Selanjutnya dilakukan pengambilan data pada setiap variasi beban dan bahan bakar dengan cara :

- a) Pemasangan komponen-komponen alat uji.
- b) Pengecekan kelistrikan mesin.
- c) Pengecekan saluran bahan bakar serta alat ukur flowmeter untuk liquid dan gas.
- d) Menghidupkan mesin diesel dan alat *prony brake* diberikan beban netral agar seimbang.
- e) Pengujian dilakukan pengambilan data torsi dan daya menggunakan alat *prony brake* dengan putaran mesin yang dibatasi pada 1700 rpm yang diukur menggunakan tachometer dengan memberikan variasi beban 1,4 kg; 1,6 kg; 1,8 kg; 2 kg; 2,4 kg; 2,6 kg.
- f) Mencatat hasil setiap data yang diperoleh dari pengujian pertama sampai keenam.
- g) Mematikan mesin diesel dan pengujian selesai.

5) Pengamatan Data

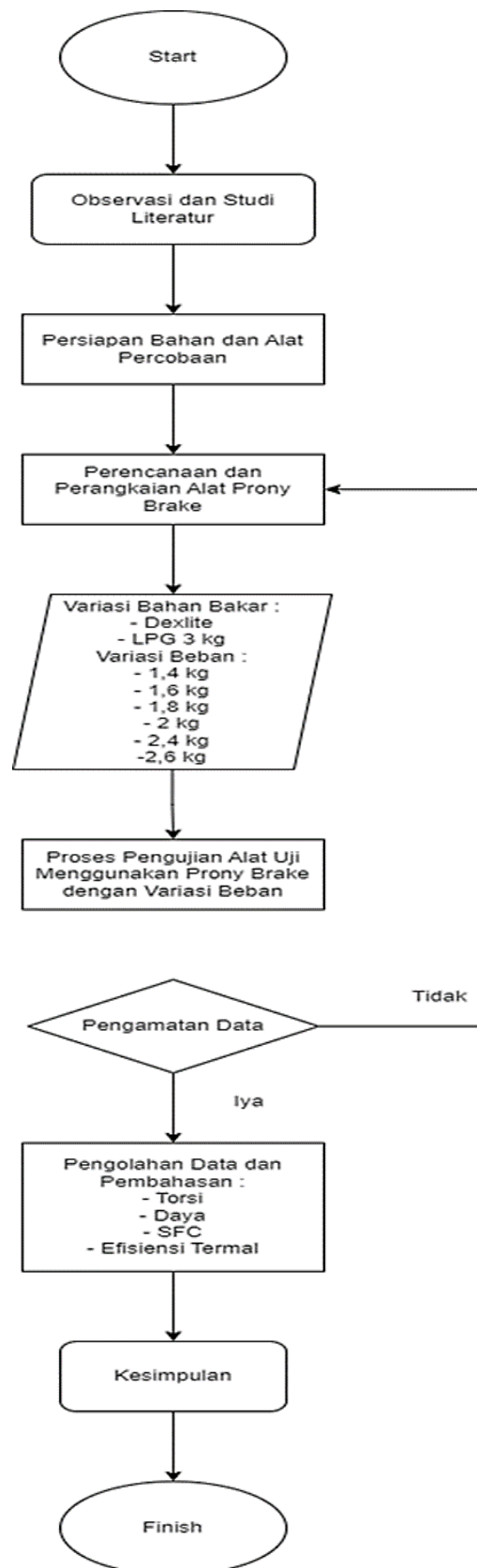
Dalam penelitian ini, data yang perlu dicatat dan diamati untuk setiap variasi beban dan bahan bakar, yaitu :

- a) Putaran Mesin
- b) Beban Pemberat *Prony Brake*
- c) Gaya Pengereman *Prony Brake*
- d) Konsumsi Bahan Bakar selama 1 menit

6) Pengolahan Data

Hasil percobaan menghasilkan data observasi yang diperoleh saat pengujian kinerja mesin diesel. Data tersebut kemudian diolah untuk menentukan nilai torsi, daya, konsumsi bahan bakar dan efisiensi termal. Kemudian dari hasil pengolahan data tersebut menghasilkan data yang dibuat dalam bentuk grafik untuk mengetahui perbedaan jenis bahan bakar mesin diesel tersebut.

7) Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. *flowchart* penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Data Perhitungan Torsi dan Daya

1) Perhitungan Torsi dan Daya Dexlite

Pada pengujian yang telah dilakukan, beban 1,4 kg pada variasi bahan bakar dexlite. Setelah itu, beban yang juga merupakan gaya gravitasi dikalikan dengan panjang jarak lengan prony brake dalam satuan meter (m). Jika semua sudah didapatkan maka dapat dilakukan perhitungan torsi dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Torsi} = F \times L \quad [21]$$

$$\begin{aligned} \text{Torsi} &= 1,4 \text{ kg} \times 9,8066 \text{ m/s}^2 \times 0,88 \text{ m} \\ &= 13,72924 \text{ N} \times 0,88 \text{ m} \\ &= 12,0817 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Dalam perhitungan eksperimen penelitian ini satuan daya yang digunakan adalah kW, untuk mengetahui perhitungan daya dengan beban 1,4 kg pada variasi bahan bakar dexlite, maka digunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P \text{ (kW)} &= 2 \times \pi \times N \text{ (rpm/s)} \times T \text{ (N.m)} \times 10^{-3} \quad [21] \\ &= 2 \times 3,14 \times 1700/60 \times 12,0817 \text{ N.m} \times 0,001 \\ &= 2 \times 3,14 \times 28,3 \times 12,0817 \times 0,001 \\ &= 2,497 \text{ kW} \end{aligned}$$

2) Perhitungan Torsi dan Daya LPG 3 kg

Pada pengujian yang telah dilakukan didapatkan hasil torsi dengan beban 1,4 kg pada variasi bahan bakar LPG 3 kg, namun torsi yang dihasilkan masih dalam satuan kilogram (kg) sehingga harus dikonversikan pada satuan Newton. Setelah satuan Newton didapatkan maka dilakukan perkalian dengan satuan meter (m) yang menyatakan panjang jarak lengan *prony brake*. Jika semua sudah didapatkan maka dapat dilakukan perhitungan torsi dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Torsi} = F \times L$$

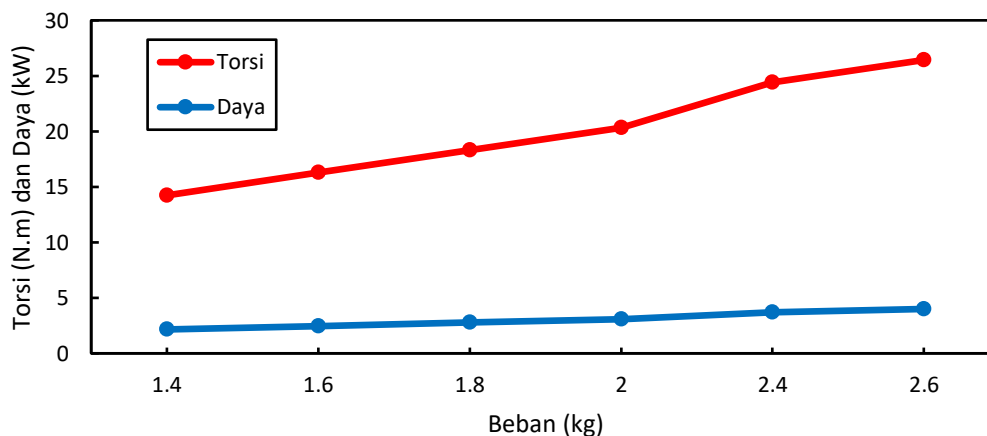
$$\begin{aligned} \text{Torsi} &= 1,4 \times 9,8066 \times 0,88 \text{ m} \\ &= 13,7292 \text{ N} \times 0,88 \text{ m} \\ &= 12,0817 \text{ N.m} \end{aligned}$$

Dalam perhitungan eksperimen penelitian ini satuan daya yang digunakan adalah kW, untuk mengetahui perhitungan daya dengan beban 1,4 kg pada variasi bahan bakar LPG 3 kg, maka digunakan persamaan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 P \text{ (kW)} &= 2 \times \pi \times N \text{ (rpm/s)} \times T \text{ (N.m)} \times 10^{-3} \\
 &= 2 \times 3,14 \times 1700/60 \times 12,0817 \text{ N.m} \times 0,001 \\
 &= 2 \times 3,14 \times 28,3 \times 12,0817 \times 0,001 \\
 &= 2,1497 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

3) Grafik Perbandingan Beban Terhadap Torsi dan Daya

Dari perhitungan diatas didapatkan grafik perbandingan beban terhadap torsi dan daya antara bahan bakar dexlite dan bahan bakar LPG 3 kg seperti gambar 2.



Gambar 2. perbandingan beban terhadap torsi dan daya bahan bakar dexlite dan LPG 3 kg

Pada pengujian yang telah dilakukan menggunakan *prony brake* mendapatkan grafik hubungan antara beban, torsi dan daya. Dimana torsi dan daya yang dihasilkan dari kedua bahan bakar (Dexlite dan LPG) dengan variasi beban pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar beban pengereman yang diberikan maka semakin besar pula torsi dan daya yang dihasilkan. Dari grafik diatas menunjukkan bahwa nilai torsi dan daya dari kedua bahan bakar (Dexlite dan LPG 3 kg) menghasilkan nilai tertinggi yang sama dengan nilai torsi 22.4375 N.m dan nilai daya 3,9924 kW dengan beban pengereman 2,6 kg. Hal ini disebabkan karena putaran mesin dan beban yang sama [20].

b. Data Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar

1) Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar Dexlite

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah jumlah bahan bakar yang dikonsumsi, diukur dalam satuan massa bahan bakar per unit daya. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung konsumsi bahan bakar spesifik:

$$SFC = \dot{m}/P \quad [21]$$

Beberapa parameter hasil pengukuran diperlukan untuk menghitung *Specific fuel consumption* (SFC) sebagai berikut:

- Laju bahan bakar (Q): 100 ml/menit = 0,006 m³/jam
- Massa jenis bahan bakar (pbb): 780 kg/m³

$$\begin{aligned} \dot{m} &= Q \times \rho_{bb} & [21] \\ &= 0,006 \text{ m}^3/\text{jam} \times 780 \text{ kg/m}^3 \\ &= 4,68 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan demikian *Specific Fuel Consumption* (sfc) dengan beban 1,4 kg pada bahan bakar dexlite dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SFC &= \dot{m} / P \\ &= (4,68 \text{ kg/jam}) / (2,1497 \text{ kW}) \\ &= 2,1771 \text{ kg/kW.jam} \end{aligned}$$

2) Perhitungan Konsumsi Bahan Bakar LPG 3 kg

Konsumsi bahan bakar spesifik adalah jumlah bahan bakar yang dikonsumsi, diukur dalam satuan massa bahan bakar per unit daya. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung konsumsi bahan bakar spesifik:

$$SFC = \dot{m}/P$$

Beberapa parameter hasil pengukuran diperlukan untuk menghitung SFC sebagai berikut:

- Laju bahan bakar (Q): 97 ml/menit = 0,0058 m³/jam
- Massa jenis bahan bakar (pbb): 582,37 kg/m³

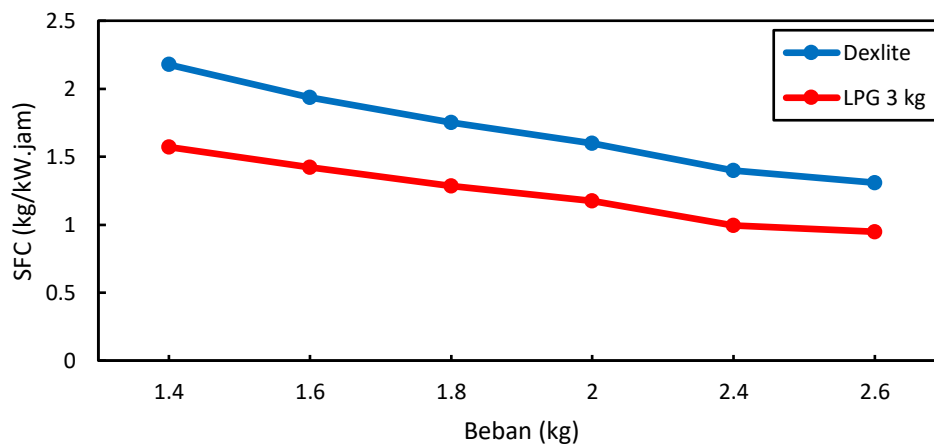
$$\begin{aligned} \dot{m} &= Q \times \rho_{bb} \\ &= 0,0058 \text{ m}^3/\text{jam} \times 582,37 \text{ kg/m}^3 \\ &= 3,377 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Dengan demikian *Specific Fuel Consumption* (SFC) dengan beban 1,4 kg pada bahan bakar lpg 3 kg dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{SFC} &= \dot{m} / P \\ &= (3,377 \text{ kg/jam}) / (2,1497 \text{ kW}) \\ &= 1,5709 \text{ kg/kW.jam} \end{aligned}$$

3) Grafik Perbandingan Beban Terhadap Konsumsi Bahan Bakar

Dari perhitungan diatas didapatkan grafik perbandingan konsumsi bahan bakar antara bahan bakar dexlite dan bahan bakar LPG 3 kg seperti gambar 3.



Gambar 3. perbandingan beban terhadap SFC bahan bakar dexlite dan LPG 3 kg

Pada pengujian yang telah dilakukan menggunakan *prony brake* mendapatkan grafik hubungan antara beban dan SFC. Dimana SFC yang dihasilkan dari kedua bahan bakar (Dexlite dan LPG 3 kg) dengan variasi beban pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan maka semakin kecil pula SFC yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena SFC berbanding terbalik dengan daya. Namun pada grafik diatas bahwa SFC LPG 3 kg lebih rendah daripada Dexlite. Pada bahan bakar Dexlite dalam pengujian ini mengalami penurunan setiap variasi beban terhadap SFC, dimana hasil SFC terendah dihasilkan pada beban 2,6 kg dengan nilai SFC 1,3089 kg/kW.jam. Sedangkan pada bahan bakar LPG 3 kg dalam pengujian ini juga mengalami penurunan setiap variasi beban terhadap SFC, dimana hasil SFC terendah dihasilkan pada beban 2,6 kg dengan nilai SFC 0,9481 kg/kW.jam [20].

c. Data Perhitungan Efisiensi Termal

1) Perhitungan Efisiensi Termal Dexlite

Efisiensi termal adalah jumlah energi panas yang dihasilkan oleh bahan bakar yang diubah menjadi tenaga mesin. Dalam hal ini, efisiensi termal dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{th} = P / (Q \cdot \dot{m}) \times 100\% \quad [21]$$

Untuk menghitung efisiensi termal diperlukan beberapa data, antara lain:

- Daya = 2,1497 kW = 2149,7 Watt
- Nilai kalor bawah bahan bakar = 43.000 J/kg
- Konsumsi bahan bakar per waktu = 4,68 kg/jam = 0.0013 kg/s

Dengan menggunakan beberapa parameter di atas, efisiensi termal pada beban 1,4 kg dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta_{th} &= 2149,7 / (43.000 \times 0,0013) \times 100\% \\ &= 38,45\% \end{aligned}$$

2) Perhitungan Efisiensi Termal LPG 3 kg

Efisiensi termal adalah jumlah energi panas yang dihasilkan oleh bahan bakar yang diubah menjadi tenaga mesin. Dalam hal ini, efisiensi termal dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$\eta_{th} = P / (Q \cdot \dot{m}) \times 100\%$$

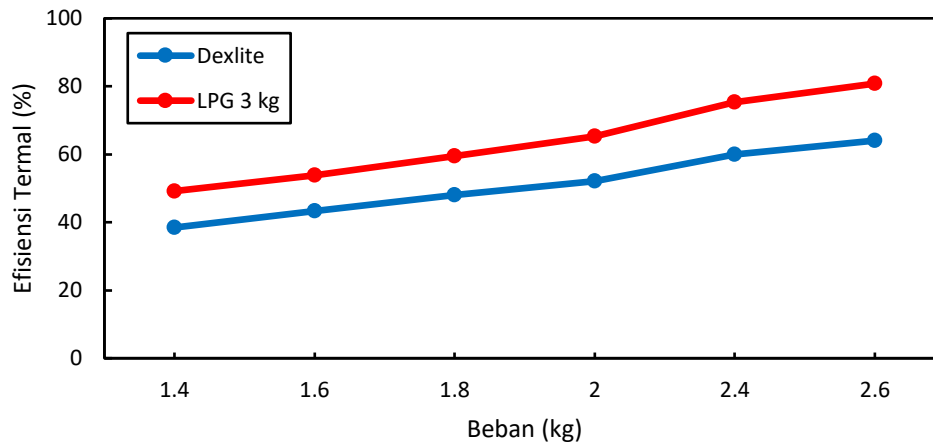
Untuk menghitung efisiensi termal diperlukan beberapa data, antara lain:

- Daya = 2,1497 kW = 2149,7 Watt
- Nilai kalor bawah bahan bakar = 47.000 J/kg
- Konsumsi bahan bakar per waktu = 3,377 kg/jam = 0,00093 kg/s

Dengan menggunakan beberapa parameter di atas, efisiensi termal pada beban 1,4 kg dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \eta_{th} &= 2149,7 / (47.000 \times 0,00093) \times 100\% \\ &= 49,18\% \end{aligned}$$

3) Grafik Perbandingan Beban Terhadap Efisiensi Termal



Gambar 4. perbandingan beban Terhadap Efisiensi Termal Bahan Bakar Dexlite dan LPG 3 kg

Dari perhitungan diatas didapatkan grafik perbandingan beban terhadap efisiensi termal antara bahan bakar dexlite dan bahan bakar LPG 3 kg seperti gambar 4. Pada pengujian yang telah dilakukan menggunakan *prony brake* mendapatkan grafik hubungan antara beban dan efisiensi termal. Dimana efisiensi termal yang dihasilkan dari kedua bahan bakar (Dexlite dan LPG 3 kg) dengan variasi beban pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar pula efisiensi termal yang dihasilkan.

Hal ini disebabkan karena efisiensi termal berbanding terbalik dengan SFC dan sebanding dengan daya. Namun pada grafik diatas bahwa efisiensi termal LPG 3 kg lebih tinggi daripada Dexlite. Pada bahan bakar Dexlite dalam pengujian ini mengalami kenaikan setiap variasi beban terhadap efisiensi termal, dimana hasil efisiensi termal tertinggi dihasilkan pada beban 2,6 kg dengan nilai efisiensi termal 64,03%. Sedangkan pada bahan bakar LPG 3 kg dalam pengujian ini juga mengalami kenaikan setiap variasi beban terhadap efisiensi termal, dimana hasil efisiensi termal tertinggi dihasilkan pada beban 2,6 kg dengan nilai efisiensi termal 80,8% [20].

4. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, kesimpulan yang dapat ditarik adalah sebagai berikut:

- a. Nilai torsi dan daya yang dihasilkan dari kedua bahan bakar (Dexlite dan LPG) dengan variasi beban pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar

beban yang diberikan maka semakin besar pula torsi dan daya yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena putaran mesin dan beban yang sama.

- b. Nilai Specific Fuel Consumption (SFC) yang dihasilkan dari kedua bahan bakar (Dexlite dan LPG 3 kg) dengan variasi beban pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan maka semakin kecil pula SFC yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena SFC berbanding terbalik dengan daya. Namun, nilai SFC LPG 3 kg lebih rendah daripada Dexlite. Pada bahan bakar Dexlite dalam pengujian ini mengalami penurunan setiap variasi beban terhadap SFC.
- c. Nilai efisiensi termal yang dihasilkan dari kedua bahan bakar (Dexlite dan LPG 3 kg) dengan variasi beban pada penelitian ini menunjukkan bahwa semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar pula efisiensi termal yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena efisiensi termal berbanding terbalik dengan SFC dan sebanding dengan daya. Namun, nilai efisiensi termal LPG 3 kg lebih tinggi daripada Dexlite.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Akal, S. Öztuna, and M. K. J. I. j. o. h. e. Büyükakın, "A review of hydrogen usage in internal combustion engines (gasoline-Lpg-diesel) from combustion performance aspect," vol. 45, no. 60, pp. 35257-35268, 2020.
- [2] H. Stančin, H. Mikulčić, X. Wang, N. J. R. Duić, and s. e. reviews, "A review on alternative fuels in future energy system," vol. 128, p. 109927, 2020.
- [3] A. Buonomano, G. Barone, and C. J. E. R. Forzano, "Latest advancements and challenges of technologies and methods for accelerating the sustainable energy transition," vol. 9, ed: Elsevier, 2023, pp. 3343-3355.
- [4] S. I. Faizah, "Development of consumption and supplying energy in Indonesia's economy," in Development of consumption and supplying energy in Indonesia's economy: Faizah, Siti Inayatul, 2018.
- [5] X. Wang, N. Li, W. Sun, S. Xu, and Z. J. G. E. I. Zhang, "Quantitative analysis of distributed and centralized development of renewable energy," vol. 1, no. 5, pp. 576-584, 2018.
- [6] L. Raslavičius, A. Keršys, S. Mockus, N. Keršienė, M. J. R. Starevičius, and S. E. Reviews, "Liquefied petroleum gas (LPG) as a medium-term option in the transition to sustainable fuels and transport," vol. 32, pp. 513-525, 2014.
- [7] C. H. Gabriellii and S. J. S. R. Jafarzadeh, "Alternative fuels and propulsion systems for fishing vessels," 2020.

-
- [8] F. Synák, K. Čulík, V. Rievaj, and J. J. T. R. P. Gaňa, "Liquefied petroleum gas as an alternative fuel," vol. 40, pp. 527-534, 2019.
- [9] S. Woo, J. Lee, and K. J. E. R. Lee, "Investigation of injection characteristics for optimization of liquefied petroleum gas applied to a direct-injection engine," vol. 9, pp. 2130-2139, 2023.
- [10] A. N. Akhmadi and M. K. J. I. J. T. M. d. A. Usman, "Paralelisme Konsumsi Bahan Bakar Pertalite Dengan Bahan Bakar Gas LPG 3 Kg Pada Mesin Bensin Pompa Air Starke Gwp50," vol. 2, no. 3, pp. 64-73, 2023.
- [11] I. K. S. Arimbawa, I. N. P. Nugraha, and K. R. J. J. P. T. M. U. Dantes, "Analisis pengaruh campuran bahan bakar pertalite dengan naphthalene terhadap konsumsi bahan bakar, torsi dan daya pada sepeda motor 4 langkah," vol. 7, no. 1, pp. 1-6, 2019.
- [12] N. T. Tuan and N. P. J. E. f. S. D. Dong, "Improving performance and reducing emissions from a gasoline and liquefied petroleum gas bi-fuel system based on a motorcycle engine fuel injection system," vol. 67, pp. 93-101, 2022.
- [13] P. Permatasari et al., "The village fund program in Indonesia: Measuring the effectiveness and alignment to sustainable development goals," vol. 13, no. 21, p. 12294, 2021.
- [14] D. Pranondo and A. R. J. J. T. P. A. Akbar, "S SISTEM PERAWATAN DAN PEMELIHARAAN GENERATOR SET 501-B DI PT TITIS SAMPURNA LPG PLANT LIMAU TIMUR PRABUMILIH," vol. 12, no. 02, pp. 65-71, 2021.
- [15] M. J. B. Kabeyi and O. A. Olanrewaju, "A techno-economic assessment of diesel to gas power plant conversion," in 12th annual Istanbul international conference on industrial engineering and operations management, Istanbul, Turkey, 2022, p. 406.
- [16] A. Vardhan, R. Rajput, A. Tiwari, R. J. C. E. Randa, and P.-P. Intensification, "Performance and Emission Analysis of Modified Compression Ignition Engine from Diesel Engine to Variable Load using Petrol and LPG Fuel," vol. 181, p. 109115, 2022.
- [17] T. B. Sitorus and T. B. Nur, "Performance Gasoline Generator Engine Fueled Liquid Petroleum Gas," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020, vol. 1566, no. 1, p. 012025: IOP Publishing.
- [18] M. A. Darsoni and I. Hajar, "Perbandingan Penggunaan Bahan Bakar Premium dan Gas Terhadap Daya dan Konsumsi Bahan Bakar Pada Genset Daito 1500 Watt," in *Seminar Nasional Industri dan Teknologi*, 2019, pp. 270-276.
- [19] A. Nugroho, F. Lumela, and R. D. J. J. P. Ratnani, "Effects of the Addition of Coconut Shell Oil on Diesel Engine Performance: An Experimental Study," vol. 20, no. 2, pp. 117-120, 2022.
- [20] W. Saputro and P. Garcia, "Design and Performance of LPG Fuel Mixer for Dual Fuel Diesel Engine," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2018, vol. 147, no. 1, p. 012022: IOP Publishing.
- [21] Sularso, *Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin*, 11 ed. Jakarta: PT Pradnya Paramita, 2004, p. 107.