

Studi Eksperimental Unjuk Kerja Motor Diesel Putaran Stasioner dengan Campuran Bahan Bakar Biodiesel Buah Nyamplung

Yuliyanti Dian Pratiwi¹, Sutarno², Warso³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Mesin Sekolah Tinggi Teknik Widorotomo Purwokerto

e-mail : dianhilal@gmail.com, sutarnopas@gmail.com, warso.januari@gmail.com

ABSTRAK

Berkembangnya teknologi pada zaman ini dan pola kehidupan manusia yang terus mengalami perkembangan mengakibatkan kebutuhan energi semakin meningkat, sehingga ketersediaan energi bahan bakar fosil yang tidak dapat diperbarui semakin menipis, bahkan diperkirakan semakin lama akan habis. Produk salah satu sumber minyak nabati yang sangat prospektif untuk dimanfaatkan sebagai bahan baku biodiesel adalah hasil dari proses pengolahan biji nyamplung (*Calophyllum Inophyllum L*). Hal ini disebabkan karena minyak biji nyamplung tidak termasuk dalam kategori kebutuhan pangan, sehingga pemanfaatannya sebagai biodiesel tidak akan mengganggu dalam kebutuhan pangan manusia. Tujuan penelitian ini mengetahui seberapa torsi dan daya serta sfc terhadap campuran bahan bakar biodiesel buah nyamplung. penelitian ini menggunakan studi eksperimental dengan penelitian yang telah dilakukan menghasilkan daya, torsi, dan sfc dari campuran 20% sebesar 1,72kW, 10,955N.m dan nilai naik/turun 10,08%. Presentase 30% 1,692kW, 10,777N.m dan nilai naik/turun -1,09%. Presentase 40% 1,719kW, 10,949N.m dan nilai naik/turun 5,77% untuk dexlite. Presentase 20% 1,722kW, 10,968N.m dan nilai naik/turun 4,63%. Presentase 30% 1,710kW, 10,891N.m dan nilai naik/turun 6,52%. Presentase 40% 1,722kW, 10,968N.m dan nilai naik 5,95% untuk Pertamina DEX.

Kata Kunci : Motor Diesel, Minyak Nyamplung, torsi, daya, Sfc

ABSTRACT

*The recent development of technology and the continuous development of human lifestyle have resulted in the increasing of the need for energy, so that the availability of energy from non-renewable fossil fuels is decreasing, and it is even predicted that it will run out over time. One of the most prospective vegetable oil resources to be used as a raw material for biodiesel is product from the processing of nyamplung seeds (*Calophyllum Inophyllum L*). Due to nyamplung seed oil is not included in the category of primary food needs, so its usage as a biodiesel will not interfere with human food needs. The purpose of this research is to find out how much torque and sfc power to the mixture of biodiesel fuel from nyamplung fruit. This research used experimental studies with research that has been done to produce Power, Torque, and Sfc from a mixture of 20% of 1.72kW, 10,955Nm and the value of increase down 10.08%. Percentage of 30% 1,692kW, 10,777N.m and the value increase / decrease -1.09%. The percentage of 40% 1,719kW, 10,949N.m and the rate is up / down 5.77% for Dexlite. Percentage of 20% 1,722kW, 10,968N.m and 4.63% increase / decrease value. Percentage of 30% 1,710kW, 10,891N.m and value increase / decrease 6.52%. The percentage of 40% 1,722kW, 10,968N.m and the increased value by 5.95% for Pertamina DEX.*

Keywords : Diesel Motor, Nyamplung Oil, Motor Performance

1. Pendahuluan

Seiring dengan berkembangnya pada zaman ini dan pola kehidupan manusia yang terus mengalami perkembangan mengakibatkan kebutuhan energi semakin meningkat, serta kebutuhan sarana transportasi dan aktivitas industri yang berakibat pada peningkatan kebutuhan khususnya pada konsumsi Bahan Bakar Minyak (BBM). Indonesia akan terancam mengalami krisis energi dalam beberapa tahun mendatang. Penyebabnya adalah terjadi kesenjangan antara

permintaan energi yang tinggi dan pasokan produksi minyak di dalam negeri. Di lain pihak persediaan minyak dunia diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 36,5 tahun terhitung sejak 2002 [1][2]

Kemungkinan juga Indonesia akan mengalami hal yang sama dengan cadangan minyak hanya cukup untuk memenuhi konsumsi selama 18 tahun mendatang. Oleh sebab itu, penggunaan energi yang berbasis bahan bakar asal fosil perlu dikurangi dengan cara mengoptimalkan penggunaan energi yang terbarukan dan mengurangi

subsidi bahan bakar minyak. Indonesia memiliki banyak sumber daya alam hayati yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku bioenergi (biodiesel) [3]. Di Indonesia minyak solar merupakan bahan bakar yang sering digunakan, namun untuk menekan tingkat penggunaan bahan bakar tersebut dengan penggantian ke biodiesel [4]. Pemilihan biodiesel saat ini memang keputusan tepat karena jenis alkohol yang dihasilkan adalah metanol, metanol disini merupakan turunan dari alkohol sehingga kebutuhan untuk proses alkoholisis tidak banyak, murah dan stabil. Kemudian unsur reaksi kimianya jauh lebih tinggi dibandingkan unsur etanol [5]

Dari beberapa bahan baku di Indonesia yang mempunyai prospek untuk diolah menjadi biodiesel adalah biji nyamplung karena biji nyamplung ini tidak berhubungan dengan kebutuhan pangan manusia, sehingga dapat dimanfaatkan secara optimal. Sebagai salah satu sumber energi alternatif, biodiesel dari tanaman nyamplung dikategorikan sebagai sumber energi ramah lingkungan [6]. Pembakaran pada motor yang berbahan bakar biodiesel menghasilkan emisi gas buang, asap dan partikel yang lebih rendah. Angka cetana yang lebih tinggi dibandingkan dengan solar membuat kadar emisi gas karbon, nitrogen, dan sulfur lebih rendah. Biodiesel merupakan suatu nama dari alkyl ester atau rantai panjang asam lemak yang berasal dari minyak nabati maupun minyak hewani. Komponen utama dari minyak nabati maupun lemak hewani adalah *Triacylglycerols* (TAG), sering juga disebut *Triglycerides*. Salah satu bahan bakar nabati yang berasal dari tanaman dan penelitiannya sudah mulai berkembang serta populasinya tersebar hampir di seluruh pantai berpasir di Indonesia adalah tanaman nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) yang mempunyai rendemen hampir 73% [7].

Upaya pengolahan biji nyamplung menjadi biodiesel dan pemanfaatan hasil ikutannya perlu dilakukan karena terkait dengan kebijakan pembangunan pemerintah dalam hal diversifikasi energi baru dan terbarukan (*renewable energy*), menghasilkan teknologi tepat guna untuk memenuhi kebutuhan energi lokal sehingga dapat mengurangi pemakaian bahan bakar yang berasal dari minyak bumi. Pembuatan biodiesel yang berbahan baku dari biji nyamplung ini sangat berguna untuk menjalankan motor diesel seperti: mesin diesel kendaraan pribadi, mesin diesel kendaraan umum, dan mesin diesel generator/genset. Tetapi ada kendala pada biodiesel ini salah satu contohnya adalah viskositas pada biodiesel tersebut masih tinggi sehingga aliran dari tangki bahan bakar menuju pompa injeksi tidak sempurna.

Penelitian ini melakukan analisis tentang Daya, Torsi dan *Specific Fuel Consumption* (*Sfc*) yang menggunakan motor diesel 4 Langkah atau Diesel Generator Set. Dan bahan bakar Minyak Nyamplung

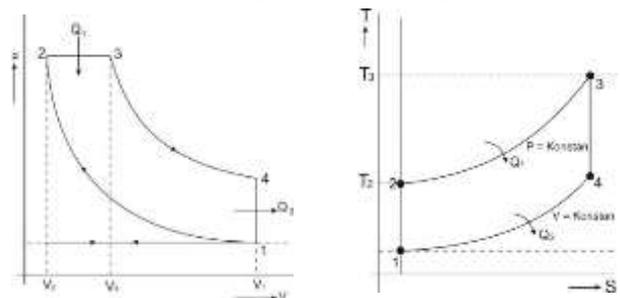
tersebut dicampurkan pada solar murni dengan presentase BN 20%, BN 30%, dan BN 40% yang akan diumpangkan dalam motor diesel tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa prestasi kerja Daya, Torsi, dan *Specific Fuel Consumption* (*Sfc*) pada penggunaan bahan bakar Dexlite 100%, BN 20%, BN 30%, BN 40% dan menganalisa prestasi kerja Daya, Torsi dan *Specific Fuel Consumption* (*Sfc*) pada penggunaan bahan bakar Pertamina DEX 100%, BN 20%, BN 30%, BN 40%.

Tujuan penelitian ini diharapkan dapat mengetahui torsi, daya dan *sfc* terhadap penggunaan bahan bakar campuran Biodiesel Minyak Nyamplung yang di menggunakan motor diesel generator set dan menambah pengetahuan tentang bahan bakar Biodiesel, yang pada bahan dasarnya tidak hanya diperoleh dari lemak nabati ada juga Biodiesel yang bahan dasarnya terbuat dari lemak hewani.

2. Tinjauan Pustaka

Proses ini terjadi pada motor diesel 4 langkah dengan putaran rendah. Pada motor diesel yang dihisap bukan campuran udara dan bahan bakar, melainkan hanya udara saja. Sesaat sebelum akhir kompresi, bahan bakar disemprotkan dalam bentuk kabut ke dalam silinder. Bahan bakar ini terbakar karena suhu udara yang tinggi. Suhu udara yang tinggi diperoleh karena adanya kompresi adiabatik. Ketika bahan bakar disemprotkan memperoleh suhu yang tinggi dari titik nyala bahan bakar tersebut. Agar bahan bakar dan udara dapat bercampur secara homogen, maka gerakan udara di dalam silinder harus merupakan aliran turbulen. Pembakarannya terjadi pada tekanan tetap [8].



Gambar.1 Diagram P-V dan T-S

Minyak nabati sebagai sumber utama biodiesel dapat dipenuhi dari berbagai macam jenis tumbuhan tergantung pada sumber daya utama yang banyak terdapat di suatu negara. Di Indonesia memiliki banyak sumber daya untuk bahan baku biodiesel seperti ditunjukkan pada Tabel dibawah ini Sumber minyak nabati dikatakan potensial sebab mudah untuk dibudidayakan, sedangkan sumber minyak nabati dikatakan non potensial karena sulit untuk dibudidayakan. Berikut adalah sumber yang ada di Indonesia:

Tabel 1. Beberapa sumber minyak nabati yang potensial sebagai bahan baku Biodiesel

Nama Lokal	Nama Latin	Sumber Minyak	Isi % Berat kering	P/ NP
Jarak Pagar	Jatropha Curcas	Inti biji	40-60	P
Jarak kaliki	Ricinus Communis	Biji	45-50	P
Kacang Suuk	Arachis Hypogea	Biji	35-55	P
Kapok / Randu	Ceiba Pantandra	Biji	24-40	NP
Karet	Hevea Brasiliensis	Biji	40-50	P
Kecipir	Psophocarpus Tetrag	Biji	15-20	P
Kelapa	Cocos Nucifera	Inti Biji	60-70	P
Kelor	Moringa Oliefera	Biji	30-49	P
Kemiri	Aleurites moluccana	Inti Biji	57-69	NP
Kusambi	Sleichera Trijuga	Sabut	55-70	NP
Nimba	Azadiruchta Indica	Inti Biji	40-50	NP
Saga Utan	Adenanthera pavonina	Inti Biji	14-28	P
Sawit	Elais Suincecis	Sabut dan Biji	45-70 + 46-54	P
Nyamplung	Callophyllum Lanceatum	Inti Biji	40-73	P
Randu Alas	Bombax Malabaricum	Biji	18-26	NP
Sirsak	Annona Muricata	Inti Biji	20-30	NP
Sirkaya	Annona Squosa	Biji	15-20	NP

3. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini metode yang digunakan adalah penelitian eksperimental untuk mengetahui tentang kualitas bahan bakar Dexlite, dan Pertamina DEX dengan pencampuran Biodiesel minyak biji Nyamplung 20%, 30% dan 40 % terhadap daya, torsi, serta *sfc*.

3.1 Alat

a. Panel pembebanan lampu

Digunakan sebagai pembebanan pada motor diesel yaitu daya yang keluar dari motor diesel di konversikan oleh generator menjadi listrik menuju ke panel pembebanan lampu.



Gambar 2. Panel Pembebanan Lampu

b. Burret

Berfungsi untuk mengetahui jumlah volume bahan bakar yang akan dipakai dalam penelitian/percobaan pada bahan bakar dengan satuan ukuran (ml)



Gambar 3. Burret

c. Power Analyzer

Berfungsi untuk mengukur besarnya daya listrik, tegangan, arus listrik, frekuensi dan power factor (faktor kerja).



Gambar 4. Power Analyzer

d. Stopwatch

Berfungsi untuk mengukur waktu lamanya pengosongan buret diukur dari 10ml hingga 0ml yang telah diisi bahan bakar.



Gambar 5. Stopwatch

e. Tool kit

Terdiri dari satu set kunci ring dan kunci pas, obeng, tang, dan kunci inggris. Alat tersebut digunakan untuk memperbaiki dan men tune-up motor diesel tersebut jika terjadi trouble pada mesin tersebut.



Gambar 6. Tool Kit

3.2 Bahan

- a. Motor Diesel stasioner yang akan digunakan untuk penelitian dengan spesifikasi sebagai berikut; Model R180 ; Type 1 silinder berpendingin air 4Langkah ; Diameter silinder 80mm ; Piston Stroke 80mm ; Perbandingan Kompresi 21:1.



Gambar 7. Motor Diesel Generator set

- b. Generator set dengan spesifikasi; Merk HuaFa ; Power 3KW ; Voltase 230V ; Arus 13 A ; Frekuensi 50Hz ; Putaran 1500rpm.
- c. Minyak biji Nyamplung yang diperoleh dari Bpk.Sumino beralamat di desa Karangmangu, Kecamatan Kroya, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah.
- d. Bahan Bakar Minyak (BBM), yang digunakan adalah Dexlite, dan Pertamina DEX.

3.3 Flowchat penelitian

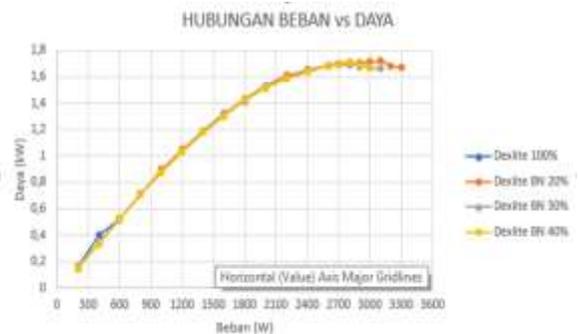


Gambar 8. Flowchat penelitian

4. Analisa dan Pembahasan

Hasil dari data yang diperoleh akan dihitung untuk menemukan parameter yang akan dicari untuk mengetahui seberapa besar prestasi kerja motor diesel yang dihasilkan. Setelah mengetahui data yang telah dihasilkan akan dibuat grafik untuk perbandingan satu variabel dengan variabel yang lainnya, guna untuk menentukan prestasi kerja yang lebih baik dari variabel yang lainnya.

4.1 Analisa Daya (Dexlite)



Gambar 9. Grafik Hubungan antara Beban vs Daya

Dari hasil perhitungan untuk grafik beban vs daya menunjukkan bahwa semakin besar penambahan beban pada motor, maka Daya yang dihasilkan juga akan semakin bertambah besar. Hal ini terbukti pada tabel diatas mulai dari beban 200watt sampai 2800watt Daya yang dihasilkan mulai dari 0,160kW samapai 1,707kW untuk Dexlite 100%, kemudian pada penambahan beban 2900watt terjadi penurunan Daya. Sedangkan beban mulai dari 200watt sampai 3100watt Daya yang dihasilkan mulai dari 0,147kW sampai 1,720kW untuk Dexlite BN 20%, kemudian pada penambahan beban 3200watt terjadi penurunan Daya. Sedangkan beban

mulai dari 200watt sampai 2900watt Daya yang dihasilkan mulai dari 0,158kW sampai 1,692kW untuk Dexlite BN 30%, kemudian pada penambahan beban 3000watt terjadi penurunan Daya. Sedangkan beban mulai dari 200watt sampai 2800watt Daya yang dihasilkan mulai dari 0,156kW sampai 1,719kW untuk Dexlite BN 40%, kemudian pada penambahan beban 2900 watt terjadi penurunan Daya.

4.2 Analisa Torsi (Dexlite)



Gambar 10. Grafik Hubungan antara Beban vs Torsi

Dari hasil perhitungan untuk grafik beban vs Torsi menunjukkan bahwa semakin besar penambahan beban pada motor, maka Torsi yang dihasilkan juga akan semakin bertambah besar. Hal ini terbukti pada tabel diatas mulai dari beban 200watt sampai 2800watt Torsi yang dihasilkan mulai dari 1,019N.m samapai 10,872N.m untuk Dexlite 100%, kemudian pada penambahan beban 2900watt terjadi penurunan Torsi. Sedangkan beban mulai dari 200watt sampai 3100watt Torsi yang dihasilkan mulai dari 0,936N.m sampai 10,955N.m untuk Dexlite BN 20%, kemudian pada penambahan beban 3200watt terjadi penurunan Torsi. Sedangkan beban mulai dari 200watt sampai 2900watt Torsi yang dihasilkan mulai dari 1,006N.m sampai 10,777N.m untuk Dexlite BN 30%, kemudian pada penambahan beban 3000watt terjadi penurunan Torsi. Sedangkan beban mulai dari 200watt sampai 2800watt Torsi yang dihasilkan mulai dari 0,993N.m sampai 10,949N.m untuk Dexlite BN 40%, kemudian pada penambahan beban 2900watt terjadi penurunan Torsi.

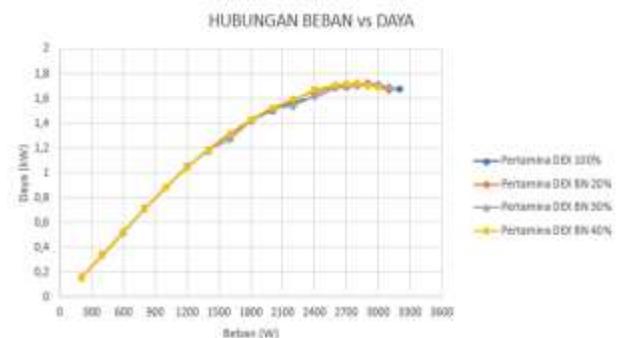
4.3 Analisa Spesific Fuel Consumption (Dexlite)



Gambar 11. Grafik Hubungan antara Beban vs Sfc

Dari hasil perhitungan untuk grafik beban vs Sfc menunjukkan bahwa semakin besar penambahan beban pada motor, maka bahan bakar yang dibutuhkan pada motor diesel tersebut bervariasi. Hal ini terbukti pada tabel diatas mulai dari beban 200watt sampai 2000watt Sfc yang dihasilkan mulai dari 0,191Kg/kWh samapai 0,049Kg/kWh untuk Dexlite 100%, kemudian pada penambahan beban 2200watt terjadi kenaikan Sfc pada motor tersebut. Sedangkan beban mulai dari 200watt sampai 2000watt Sfc yang dihasilkan mulai dari 0,222Kg/kWh sampai 0,050Kg/kWh untuk Dexlite BN 20%, kemudian pada penambahan beban 2200watt terjadi kenaikan Sfc pada motor tersebut. Sedangkan beban mulai dari 200watt sampai 2000watt Sfc yang dihasilkan mulai dari 0,182Kg/kWh sampai 0,046Kg/kWh untuk Dexlite BN 30%, kemudian pada penambahan beban 2200watt terjadi kenaikan Sfc pada motor tersebut. Sedangkan beban mulai dari 200watt sampai 2000watt Sfc yang dihasilkan mulai dari 0,193Kg/kWh sampai 0,049Kg/kWh untuk Dexlite BN 40%, kemudian pada penambahan beban 2200watt terjadi kenaikan Sfc pada motor tersebut.

4.4 Analisa Daya (Pertamina DEX)



Gambar 12. Grafik Hubungan antara Beban vs Daya

Dari hasil perhitungan untuk grafik beban vs Daya menunjukkan bahwa semakin besar penambahan beban pada motor, maka Daya yang dihasilkan juga akan semakin bertambah besar. Hal ini terbukti pada tabel diatas mulai dari beban 200watt sampai 3000watt Daya

yang dihasilkan mulai dari 0,156kW samapai 1,712kW untuk Pertamina DEX 100%, kemudian pada penambahan beban 3100watt terjadi penurunan Daya. Sedangkan beban mulai dari 200watt sampai 2900watt Daya yang dihasilkan mulai dari 0,160kW sampai 1,722kW untuk Pertamina DEX BN 20%, kemudian pada penambahan beban 3000watt terjadi penurunan Daya. Sedangkan beban mulai dari 200watt sampai 2900watt Daya yang dihasilkan mulai dari 0,156kW sampai 1,710kW untuk Pertamina DEX BN 30%, kemudian pada penambahan beban 3000watt terjadi penurunan Daya. Sedangkan beban mulai dari 200watt sampai 2800watt Daya yang dihasilkan mulai dari 0,155kW sampai 1,722kW untuk Pertamina DEX BN 40%, kemudian pada penambahan beban 2900watt terjadi penurunan Daya.

4.5 Analisa Torsi (Pertamina DEX)



Gambar 13. Grafik Hubungan antara Beban vs Torsi

Dari hasil perhitungan untuk grafik beban vs Torsi menunjukkan bahwa semakin besar penambahan beban pada motor, maka Torsi yang dihasilkan juga akan semakin bertambah besar. Hal ini terbukti pada tabel diatas mulai dari beban 200 watt sampai 3000 watt Torsi yang dihasilkan mulai dari 0,993 N.m sampai 10,904 N.m untuk Pertamina DEX 100%, kemudian pada penambahan beban 3100 watt terjadi penurunan Torsi. Sedangkan beban mulai dari 200 watt sampai 2900 watt Torsi yang dihasilkan mulai dari 1,019 N.m sampai 10,968 N.m untuk Pertamina DEX BN 20%, kemudian pada penambahan beban 3000 watt terjadi penurunan Torsi. Sedangkan beban mulai dari 200 watt sampai 2900 watt Torsi yang dihasilkan mulai dari 0,993 N.m sampai 10,891 N.m untuk Pertamina DEX BN 30%, kemudian pada penambahan beban 3000 watt terjadi penurunan Torsi. Sedangkan beban mulai dari 200 watt sampai 2800 watt Torsi yang dihasilkan mulai dari 0,987 N.m sampai 10,968 N.m untuk Pertamina DEX BN 40%, kemudian pada penambahan beban 2900 watt terjadi penurunan Torsi.

4.6 Analisa Specific Fuel Consumption (Pertamina DEX)



Gambar 13. Grafik Hubungan antara Beban vs Sfc

Dari hasil perhitungan untuk grafik beban vs Sfc menunjukkan bahwa semakin besar penambahan beban pada motor, maka bahan bakar yang dibutuhkan pada motor diesel tersebut bervariasi. Hal ini terbukti pada tabel diatas mulai dari beban 200 watt sampai 1800 watt Sfc yang dihasilkan mulai dari 0,178 Kg/kWh sampai 0,045 Kg/kWh untuk Pertamina DEX 100%, kemudian pada penambahan beban 2000 watt terjadi kenaikan Sfc pada motor tersebut. Sedangkan beban mulai dari 200 watt sampai 2000 watt Sfc yang dihasilkan mulai dari 0,185 Kg/kWh sampai 0,047 Kg/kWh untuk Pertamina DEX BN 20%, kemudian pada penambahan beban 2200 watt terjadi kenaikan Sfc pada motor tersebut. Sedangkan beban mulai dari 200 watt sampai 2000 watt Sfc yang dihasilkan mulai dari 0,187 Kg/kWh sampai 0,048 Kg/kWh untuk Pertamina DEX BN 30%, kemudian pada penambahan beban 2200 watt terjadi kenaikan Sfc pada motor tersebut. Sedangkan beban mulai dari 200 watt sampai 2000 watt Sfc yang dihasilkan mulai dari 0,186 Kg/kWh sampai 0,047 Kg/kWh untuk Dextrite BN 40%, kemudian pada penambahan beban 2200 watt terjadi kenaikan Sfc pada motor tersebut.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan pada penggunaan bahan bakar Dexlite 100%, BN 20%, BN 30%, dan BN 40% pada variabel berikut yang menghasilkan prestasi kerja yang paling baik adalah BN 20% dengan beban maksimal 3100watt menghasilkan Daya sebesar 1,72 kW. Sedangkan, pada penggunaan bahan bakar Pertamina DEX 100%, BN 20%, BN 30%, dan BN 40% pada variabel tersebut yang menghasilkan prestasi kerja yang paling baik adalah Pertamina DEX 100% dengan beban maksimal 3000 watt menghasilkan Daya sebesar 1,712 kW.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada penggunaan bahan bakar Dexlite 100%, BN 20%, BN 30%, dan BN 40% pada variabel tersebut yang menghasilkan prestasi kerja yang paling baik adalah BN 20% dengan beban maksimal 3100 watt menghasilkan Torsi sebesar 10,955 N.m. Sedangkan, pada penggunaan

bahan bakar Pertamina DEX 100%, BN 20%, BN 30%, dan BN 40% pada variabel tersebut yang menghasilkan prestasi kerja yang paling baik adalah Pertamina DEX 100% dengan beban maksimal 3000 watt menghasilkan Torsi sebesar 10,904 N.m.

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan pada penggunaan bahan bakar Dexlite 100%, BN 20%, BN 30%, BN 40% dan pada penggunaan bahan bakar Pertamina DEX 100% BN 20%, BN 30%, BN 40% pada setiap variabel yang dipakai mengalami peningkatan prestasi kerja khususnya pada konsumsi bahan bakarnya menjadi lebih irit.

Daftar Pustaka

- [1] Feby Dasa Eka Putri, "Krisis Minyak Tahun 1973-1974 di Negara-Negara Industri sebagai Penggerak Tata Ekonomi Dunia Baru," *Avatara*, vol. 2, no. 1, pp. 42–57, 2014.
- [2] G. Prateepchaikul, M. L. Allen, T. Leevijit, and K. Thaveesinsopha, "Methyl ester production from high free fatty acid mixed crude palm oil," *Songklanakarinn J. Sci. Technol.*, vol. 29, no. 6, pp. 1551–1561, 2007.
- [3] Wendi, Valentinoh Cuaca, and Taslim, "Pengaruh Suhu Reaksi dan Jumlah Katalis pada Pembuatan Biodiesel dari Limbah Lemak Sapi dengan Menggunakan Katalis Heterogen Cao dari Kulit Telur Ayam," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 4, no. 1, pp. 35–41, 2015, doi: 10.32734/jtk.v4i1.1458.
- [4] P. Padil, S. Wahyuningsih, and A. Awaluddin, "Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa melalui Reaksi Metanolisis Menggunakan Katalis CaCO₃ yang dipijarkan," *J. Natur Indones.*, vol. 13, no. 1, p. 27, 2012, doi: 10.31258/jnat.13.1.27-32.
- [5] R. H. dan M. N. Rama Prihandana, *Menghasilkan Biodiesel Murah Mengatasi Polusi dan Kelangkaan BBM*. Jakarta: PT. Agromedia Pustaka, 2006.
- [6] M. Fadhlullah, S. N. B. Widiyanto, and E. Restiawaty, "The potential of nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) seed oil as biodiesel feedstock: Effect of seed moisture content and particle size on oil yield," *Energy Procedia*, vol. 68, pp. 177–185, 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.03.246.
- [7] D. Hasahatan, J. Sunaryo, and L. N. Komariah, "Pengaruh Ratio H₂SO₄ dan Waktu Reaksi Terhadap Kuantitas dan Kualitas Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar," *J. Tek. Kim.*, vol. 2, no. 18, pp. 26–36, 2012.
- [8] A. Wuranto, *Motor Diesel Putaran Tinggi*. Jakarta: Pradnya Paramita, 1976.