

Analisis Biodiesel Sebagai Aditif Bahan Bakar Diesel Terhadap Kinerja dan Konsumsi Bahan Bakar Mesin Pembangkit Listrik

Dani Hari Tunggal Prasetyo^{1*}, Robertus Sidartawan¹, Andi Sanata¹, Danang Yudhistiro¹, Rima Zidni Karimatan Nisak²

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jl. Kalimantan - Kampus Tegal Boto Jember Jawa Timur 68121

² Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Kampus PSDKU Kota Kediri
Jl. Lingkar Maskumambang No. 1, Sukorame 64119, Mojoroto, Kediri

*Corresponding author: dani.hari@unej.ac.id

Abstract

Research on the use of biodiesel as an energy source must be carried out as an effort to reduce dependence on fossil energy. This research method is carried out by using biodiesel from used cooking oil as a mixture of fossil diesel fuel (dextrite). The fuel is used in diesel power generators with the results of the study being performance and fuel consumption. Test variations were carried out on the power load and the composition of the biodiesel mixture of 10%, 20% and 30% of fossil diesel fuel, while the power load used was 100 to 700 watts. The results showed that the highest effective power was achieved on fuel without a mixture of biodiesel (D0) of 278.18 watts with a load of 700 watts. The highest torque was also found in D0 fuel of 2.23 Nm at the same load. Conversely, the lowest fuel consumption was recorded in the composition D70BIO30, which was 114.25 seconds for 10 ml of fuel at a load of 100 watts.

Keywords: *biodiesel, effective power, torque, fuel consumption, power load.*

Abstrak

Penelitian tentang penggunaan biodiesel sebagai sumber energi harus dilakukan sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan pada energi fosil. Metode penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan biodiesel dari minyak jelantah sebagai campuran bahan bakar diesel fosil (dextrite). Bahan bakar digunakan pada mesin pembangkit listrik tenaga diesel dengan hasil penelitian adalah performa dan konsumsi bahan bakar. Variasi pengujian dilakukan pada pembebanan daya (*load*) dan komposisi campuran biodiesel sebesar 10%, 20% dan 30% terhadap bahan bakar diesel fosil, sedangkan beban daya yang digunakan sebesar 100 hingga 700 watt. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya efektif tertinggi tercapai pada bahan bakar tanpa campuran biodiesel (D0) sebesar 278,18 watt dengan beban 700 watt. Torsi tertinggi juga ditemukan pada bahan bakar D0 sebesar 2,23 Nm pada beban yang sama. Sebaliknya, konsumsi bahan bakar terendah tercatat pada komposisi D70BIO30, yaitu 114,25 detik untuk 10 ml bahan bakar pada beban 100 watt.

Kata kunci: *biodiesel, daya efektif, torsi, konsumsi bahan bakar, beban daya (load)*

1. Pendahuluan

Penggunaan energi fosil pada sektor transportasi dan pembangkit energi yang terus meningkat mendorong para peneliti untuk terus berinovasi dalam pengembangan energi [1]. Mesin diesel sebagai sumber energi mekanis untuk menggerakkan generator pada mesin pembangkit listrik, saat ini masih bertumpu pada energi fosil [2]. Ketergantungan pada energi fosil menimbulkan dampak negatif. Dampak negatif yang ditimbulkan antara lain penurunan volume energi fosil di alam, emisi gas buang yang ditimbulkan berdampak pada perubahan iklim dan harga

yang tidak stabil dikarenakan biaya produksi minyak bumi mengikuti fluktuasi harga minyak di tingkat global serta kerusakan lingkungan akibat eksploitasi penambangan [2-5].

Untuk mengurangi ketergantungan dan menjaga lingkungan agar tetap rendah dari emisi gas buang maka diperlukan upaya untuk mencari sumber energi alternatif. Salah satu energi alternatif yang dapat digunakan adalah biodiesel. Biodiesel digunakan sebagai sumber energi pada mesin diesel memiliki beberapa keuntungan. Keuntungan tersebut antara lain kandungan oksigen yang lebih tinggi jika dibandingkan

dengan kandungan bahan bakar diesel fosil dan memiliki potensi untuk meningkatkan efisiensi pembakaran pada mesin diesel [6-7]. Bahan baku biodiesel dapat diperoleh dari bahan nabati maupun limbah nabati. Salah satu jenis limbah nabati adalah minyak jelantah.

Minyak jelantah berasal dari bahan nabati dan salah satu jenis limbah dari produk untuk mengolah makanan [8]. Minyak jelantah memiliki sifat negatif jika digunakan secara berulang. Dampak negatif yang ditimbulkan dengan penggunaan minyak jelantah secara berulang dapat mempengaruhi kesehatan [9]. Oleh sebab itu, diperlukan upaya untuk mengkonversi atau mengolah minyak jelantah menjadi produk yang bermanfaat dan sebagai cadangan energi. Salah satu upaya yang dapat dilakukan dengan cara mengkonversi minyak jelantah menjadi bahan bakar alternatif yaitu biodiesel [10].

Produk biodiesel dapat diperoleh dari proses transesterifikasi [11]. Proses transesterifikasi dilakukan untuk mengkonversi *fatty acid methyl ester* (FAME) atau asam lemak bebas dengan bantuan alkohol disertai katalis sehingga menjadi ester alkil dan gliserol [12]. Biodiesel berpotensi mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil [13]. Penggunaan biodiesel juga diharapkan meningkatkan kondisi lingkungan yang lebih bersih dari polusi udara. Hal ini dikarenakan biodiesel memiliki kandungan oksigen yang lebih banyak dan angka setana yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil [14]. Selain itu, hasil pembakaran biodiesel adalah CO₂ dan tanaman akan menyerap CO₂ untuk proses fotosintesis [15]. Karena tanaman menyerap CO₂ dalam proses fotosintesis maka biodiesel sebagai bahan bakar dianggap sebagai karbon netral [16].

Penggunaan biodiesel sebagai bahan bakar maupun campuran masih menjadi penelitian yang menarik. Penelitian dilakukan karena biodiesel memiliki karakteristik yang berbeda dengan bahan bakar diesel fosil [7]. Karena memiliki

karakteristik fisik yang berbeda maka perlu dilakukan penelitian berkelanjutan sebagai upaya untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan menciptakan lingkungan yang kondusif dari pencemaran udara serta memperoleh informasi kelebihan dan kekurangan penggunaan biodiesel sebagai sumber energi. Informasi kekurangan biodiesel pada penelitian menjadi *road map* penelitian berkelanjutan sehingga kekurangan dapat diminimalkan dan mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil.

Elnajjar dkk (2022) melakukan penelitian pada mesin diesel dengan penambahan hydrogen pada mesin diesel berbahan bakar biodiesel minyak jelantah. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan hidrogen dapat meningkatkan performa mesin diesel dan mengurangi emisi gas buang seperti CO, namun perlu kontrol injeksi untuk menurunkan NOx [17]. Aydin dkk (2020) juga melakukan penelitian menggunakan ANN dan RSM, untuk memprediksi kinerja mesin dan emisi menggunakan bahan bakar campuran antara biodiesel dengan bahan bakar diesel. Model ANN dan RSM menunjukkan kemampuan yang kuat dalam memprediksi dan mengoptimalkan performa mesin diesel berbahan bakar campuran biodiesel-diesel. RSM memberikan kondisi operasi optimal yang signifikan dalam meningkatkan efisiensi dan mengurangi emisi, dengan hasil yang sangat mendekati eksperimen nyata. Efisiensi termal maksimum yang diperoleh dengan campuran biodiesel 32% adalah 14,36%. Diesel murni menghasilkan efisiensi yang sedikit lebih rendah dibandingkan campuran biodiesel karena kandungan oksigen yang lebih rendah, yang dapat mengurangi efisiensi pembakaran [18].

Dari latar belakang yang telah dijabarkan maka diperlukan upaya untuk melakukan penelitian lebih lanjut pada penggunaan biodiesel dengan pengujian secara eksperimental sebagai sumber energi. Penelitian dilakukan dengan menggunakan biodiesel dari minyak jelantah sebagai

aditif. Variasi pengujian adalah komposisi bahan bakar dan pembebanan daya (*load*) pada mesin. Hasil penelitian adalah informasi performa mesin dan konsumsi bahan bakar terhadap komposisi bahan bakar dan beban daya (*load*) yang digunakan saat pengujian pada mesin diesel.

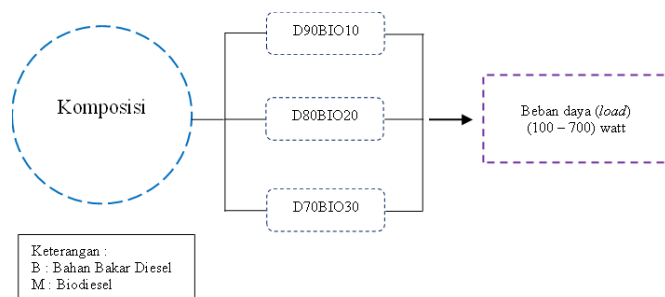
2. Metode Penelitian

Penelitian dilakukan secara eksperimental tentang pengaruh komposisi bahan bakar dan pengaruh beban daya (*load*) pada mesin diesel sebagai pembangkit listrik. Hasil penelitian berupa nilai performa dan konsumsi bahan bakar saat pengujian. Komposisi bahan bakar diesel dengan biodiesel minyak jelantah diukur melalui persentase. Karakteristik bahan bakar dapat diamati pada Gambar 1.

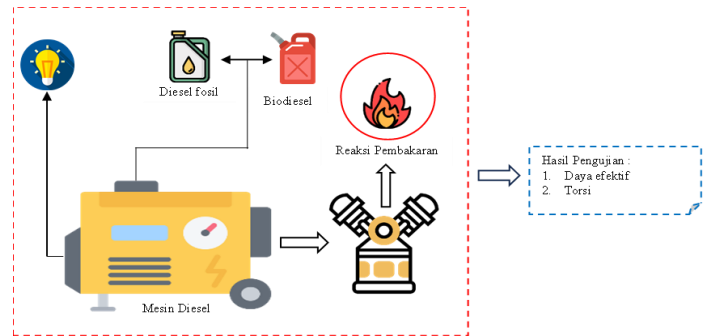
| Bahan Bakar Diesel Fosil | | Bahan Bakar Biodiesel | |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|
| Densitas | : 828 kg/m ³ | Densitas | : 867 kg/m ³ |
| Viskositas | : 2,21 cSt | Viskositas | : 4,52 cSt |
| Nilai kalor | : 12.994 kal/gr | Nilai kalor | : 9.276 kal/gr |

Gambar 1. Karakteristik bahan bakar

Komposisi bahan bakar diesel fosil dan biodiesel yang digunakan saat pengujian dapat diamati pada Gambar 2. Komposisi bahan bakar dan pembebanan daya (*load*) sebagai variasi saat pengujian. Hal ini dilakukan agar diketahui pengaruh biodiesel sebagai aditif pada bahan bakar diesel fosil disertai dengan pembebanan daya.



Gambar 2. Komposisi bahan bakar dan pembebanan daya (*load*)



Gambar 3. Skema Pengujian Performa

Hasil pengujian berupa data nilai performa dan konsumsi bahan bakar. Data performa yang dihasilkan saat pengujian adalah daya efektif dan torsi. Selain itu juga adalah konsumsi bahan bakar. Untuk memperoleh nilai daya efektif maka diperlukan persamaan untuk mengolah data dengan persamaan (1).

$$Ne = V \times I \times \cos \phi \quad (1)$$

Keterangan :

Ne : Daya efektif (watt)

V : Tegangan (volt)

I : Arus (ampere)

cos ϕ : Rasio daya aktif (Watt) dengan daya nyata (VA)

Untuk memperoleh nilai torsi menggunakan persamaan (2)

$$T = \frac{Ne \times 60}{2\pi \times n} \quad (Nm) \quad (2)$$

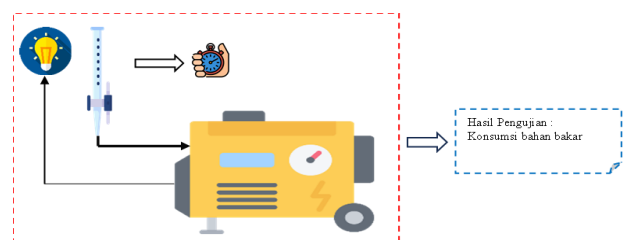
Keterangan :

T : Torsi (Nm)

Ne : Daya efektif (watt)

n : Putaran mesin (rpm)

Untuk memperoleh nilai data konsumsi bahan bakar maka dilakukan pengukuran konsumsi bahan bakar setiap 10 ml dan dihitung lama bahan bakar habis. Skema pengujian dapat diamati pada Gambar 4.



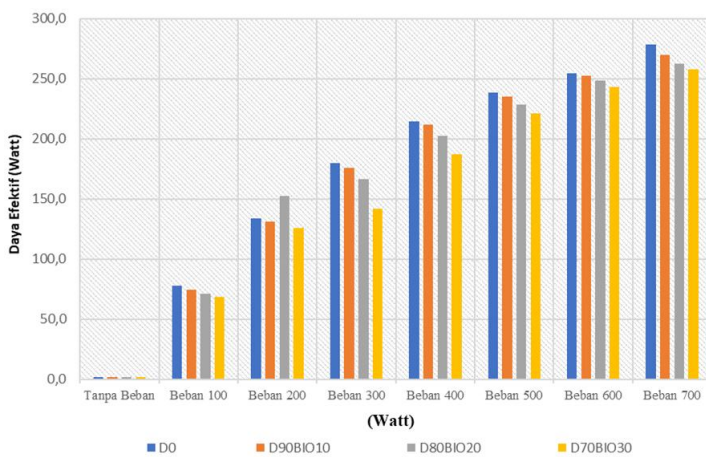
Gambar 4. Skema Pengujian Konsumsi bahan Bakar

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian efek premixed bahan bakar sebagai studi performa dan konsumsi bahan bakar pada mesin diesel menghasilkan data nilai daya efektif, torsi dan konsumsi bahan bakar. Data yang telah diperoleh dianalisa pada subbab A hingga C.

A. Daya Efektif

Daya efektif pada mesin diesel merupakan nilai yang dihasilkan oleh mesin yang merujuk pada daya nyata yang digunakan untuk menghasilkan tenaga. Daya efektif terjadi karena proses konversi energi. Energi kimia dikonversi menjadi energi *thermal* untuk menghasilkan tekanan sehingga menggerakkan piston di dalam ruang bakar. Piston yang bergerak menjadi energi mekanis sehingga menghasilkan daya efektif. Hasil penelitian dapat diamati pada Gambar 5.



Gambar 5. Nilai daya efektif hasil pengujian dengan menggunakan biodiesel sebagai aditif terhadap pembebanan daya (*load*)

Pada Gambar 5 diketahui hasil pengujian dengan menggunakan variasi komposisi bahan bakar dan variasi pembebanan daya (*load*). Jika ditinjau dari variasi pengujian maka nilai daya efektif bernilai fluktuatif seperti tampak pada Gambar 5. Nilai tertinggi pada daya efektif terletak pada komposisi bahan bakar tanpa campuran biodiesel pada beban daya 700 watt sebesar 278,18 watt. Nilai terendah daya efektif terletak pada komposisi bahan bakar D70BIO30 dengan pembebanan daya 100 watt sebesar 68,52 watt.

Daya efektif merupakan daya yang telah dikurangi dengan kerugian mekanis sehingga daya efektif merupakan daya bersih yang dihasilkan oleh mesin. Daya efektif terus meningkat seiring dengan meningkatnya nilai pembebanan daya (*load*). Nilai pembebanan daya tertinggi sebesar 700 watt dan menghasilkan nilai daya efektif tertinggi pada masing-masing variasi komposisi bahan bakar. Semakin tinggi nilai daya efektif dipengaruhi oleh kebutuhan energi yang semakin besar untuk dipasok ke dalam mesin. Beban mesin yang semakin meningkat menyebabkan mesin membutuhkan bahan bakar yang lebih banyak untuk menghasilkan tenaga mekanis. Tenaga mekanis akan dikonversi menjadi daya listrik oleh generator. Daya mekanis yang tinggi menghasilkan daya efektif yang besar.

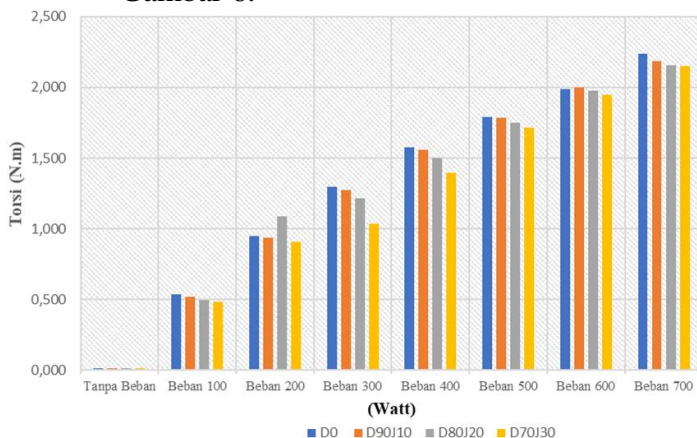
Jika ditinjau dari variasi komposisi bahan bakar maka komposisi bahan bakar diesel murni tanpa aditif biodiesel menghasilkan nilai daya efektif tertinggi jika ditinjau dari variasi pembebanan daya antara 100 hingga 700 watt. Nilai daya efektif tertinggi pada komposisi tanpa campuran biodiesel disebabkan oleh karakteristik bahan bakar. Bahan bakar diesel fosil memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dibandingkan bahan bakar campuran. Pada Gambar 1, nilai kalor biodiesel lebih rendah dari pada bahan bakar diesel fosil. Hal ini menyebabkan nilai kalor semakin menurun ketika ditambahkan dengan biodiesel. Nilai kalor bahan bakar merupakan energi yang terkandung pada bahan bakar untuk dikonversi menjadi energi mekanik. Nilai kalor yang rendah menyebabkan kompresi didalam ruang bakar menjadi rendah sehingga menyebabkan kinerja mesin menjadi kurang optimal.

Pada Gambar 1, tampak karakteristik bahan bakar biodiesel memiliki nilai tinggi pada karakteristik viskositas dan densitas jika dibandingkan bahan bakar diesel fosil. Nilai viskositas dan densitas yang lebih tinggi menyebabkan molekul bahan bakar sulit untuk bergerak. Oleh sebab itu reaksi

pembakaran menjadi kurang sempurna. Molekul yang sulit bergerak akan mempengaruhi putaran mesin. Putaran mesin yang lebih rendah menyebabkan daya efektif menjadi rendah. Selain itu, campuran biodiesel terhadap bahan bakar fosil dapat memicu potensi pembakaran kurang sempurna.

B. Torsi

Torsi pada mesin diesel sebagai pembangkit listrik merupakan nilai pada gaya puntir yang dihasilkan mesin untuk memutar poros. Nilai torsi perlu diketahui pada penelitian ini untuk mengetahui seberapa kuat mesin menghasilkan tenaga. Nilai torsi pada penelitian analisis biodiesel sebagai aditif pada bahan bakar diesel fosil jenis dexlite dengan variasi *load* terhadap kinerja mesin pembangkit listrik dapat diamati pada Gambar 6.



Gambar 6. Nilai torsi hasil pengujian dengan menggunakan biodiesel sebagai aditif terhadap pembebanan daya (*load*)

Gambar 6 menunjukkan nilai torsi hasil pengujian pada biodiesel sebagai aditif pada bahan bakar diesel fosil jenis dexlite dengan variasi beban daya (*load*) terhadap kinerja mesin pembangkit listrik. Pengujian tanpa beban daya menghasilkan nilai torsi yang rendah jika dibandingkan dengan menggunakan beban daya. Semakin tinggi beban daya maka semakin tinggi nilai torsi. Jika menggunakan beban daya nilai torsi terendah terletak pada beban daya 100 watt sedangkan nilai torsi tertinggi pada variasi pengujian dengan beban 700 watt. Seiring dengan penambahan beban daya maka nilai

torsi semakin meningkat. Hal ini terjadi juga pada variasi komposisi bahan bakar yang digunakan saat pengujian.

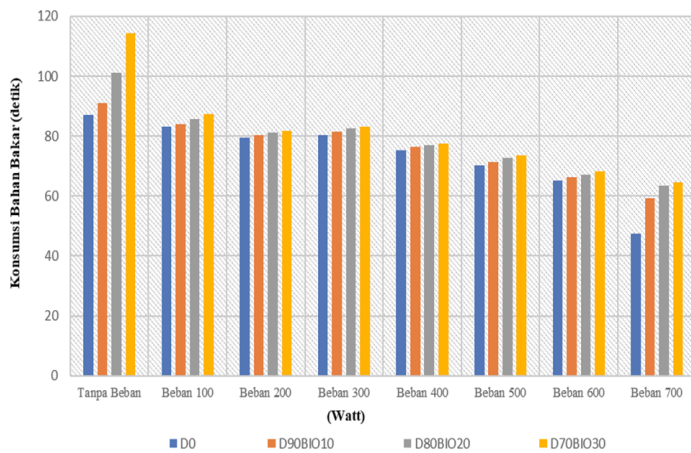
Nilai torsi terendah dengan menggunakan beban pada beban 100 watt menghasilkan nilai terendah. Nilai torsi pada masing-masing komposisi bahan bakar B0, B90BIO10, B80BIO20 dan B70BIO30 masing-masing adalah (0,535, 0,516, 0,495, dan 0,482) Nm. Nilai torsi tertinggi pada pembebanan 700 watt dengan komposisi bahan bakar B0, B90BIO10, B80BIO20 dan B70BIO30 masing-masing sebesar (2,23, 2,18, 2,15, dan 2,14) Nm. Variasi pembebanan dengan komposisi bahan bakar memiliki hubungan nilai torsi yang dihasilkan. Nilai torsi diperoleh dari hubungan daya efektif dibagi dengan putaran mesin. Semakin rendah putaran mesin maka nilai torsi semakin berkurang. Putaran mesin diperoleh dari putaran poros engkol yang berasal dari piston [19]. Piston memperoleh daya mekanik dari reaksi ledakan yang berasal dari ruang bakar [20]. Ledakan didalam ruang bakar berasal dari reaksi pembakaran antara bahan bakar, udara dan energi panas. Bahan bakar yang memiliki nilai kalor rendah menyebabkan energi yang dihasilkan lebih sedikit. Hal ini akan mempengaruhi energi yang dihasilkan untuk dikonversi menjadi energi mekanik.

Pada bahan bakar dengan campuran biodiesel menghasilkan energi mekanik dipengaruhi oleh kondisi pembakaran di dalam ruang bakar. Semakin rendah energi yang dihasilkan oleh bahan bakar maka performa mesin kurang optimal. Berkurangnya performa mesin berimplikasi pada putaran mesin. Putaran mesin yang rendah menyebabkan performa mesin semakin berkurang dan nilai torsi tidak optimal.

C. Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar merupakan jumlah energi yang dibutuhkan pada mesin sehingga dapat menghasilkan tenaga dalam waktu tertentu. Pada penelitian ini konsumsi bahan bakar diukur dengan volume bahan bakar per waktu. Hasil pengujian konsumsi bahan bakar dengan menambahkan bahan

bakar biodiesel sebagai aditif dengan bahan bakar diesel fosil disertai dengan pembebanan daya (*load*) dapat diamati pada Gambar 7.



Gambar 7. Konsumsi bahan bakar campuran terhadap pembebanan daya (*load*)

Data konsumsi bahan bakar menunjukkan nilai fluktuatif. Semakin tinggi variasi beban daya menunjukkan konsumsi bahan bakar semakin meningkat. Pada pengujian tanpa beban daya menghasilkan nilai konsumsi bahan bakar dengan komposisi D0, D90BIO10, D80BIO20 dan D70BIO30 masing-masing sebesar (86,93; 91; 100,98 dan 114,25) detik. Pada pengujian dengan pembebanan rendah yaitu 100 watt pada komposisi D0, D90BIO10, D80BIO20 dan D70BIO30 masing-masing sebesar (86,93; 91; 100,98 dan 114,25) detik. Namun, pada pembebanan puncak yaitu 700 watt dengan komposisi D0, D90BIO10, D80BIO20 dan D70BIO30 menghasilkan nilai konsumsi bahan bakar masing-masing sebesar (47,32; 59,37; 63,48 dan 64,56).

Konsumsi bahan bakar terus meningkat seiring dengan meningkatnya beban daya yang diberikan terhadap mesin pembangkit listrik. Hal ini tentunya mempengaruhi konsumsi bahan bakar yang dibutuhkan oleh mesin pembangkit listrik. Saat kondisi beban daya (*load*) pada mesin meningkat, maka beban pada mesin cenderung lebih berat. Karena beban mesin cenderung lebih berat maka putaran mesin menjadi berkurang. Oleh sebab itu bahan bakar yang digunakan cenderung lebih

menurun akibat putaran mesin menjadi lebih rendah.

Konsumsi bahan bakar dengan variasi komposisi bahan bakar yang berbeda menunjukkan nilai konsumsi bahan bakar yang berbeda. Komposisi bahan bakar dengan campuran biodiesel tampak lebih rendah jika dibandingkan dengan komposisi bahan bakar diesel fosil. Bahan bakar dengan penambahan biodiesel memiliki nilai densitas yang lebih tinggi. Nilai densitas merupakan massa per satuan volume, nilai densitas yang tinggi menunjukkan jumlah massa per molekul. Molekul yang lebih rapat menyebabkan injeksi ke dalam ruang bakar semakin lebih sulit untuk terurai sehingga volume bahan bakar yang digunakan saat reaksi pembakaran menjadi lebih sedikit.

Komposisi bahan bakar dengan campuran biodiesel memiliki viskositas yang lebih tinggi. Viskositas bahan bakar yang tinggi akan mempengaruhi pola aliran bahan bakar yang masuk pada ruang bakar. Aliran bahan bakar yang kurang optimal menuju ruang bakar mempengaruhi efisiensi pembakaran. Efisiensi pembakaran dengan viskositas bahan bakar tinggi mempengaruhi reaksi pembakaran sehingga pembakaran di dalam ruang bakar tidak bereaksi secara maksimal. Hal ini tentunya menghasilkan *output* kerja pada energi mekanis yang dihasilkan lebih rendah dengan menggunakan aditif biodiesel. *Output* kerja adalah putaran mesin yang lebih rendah jika dibandingkan dengan menggunakan bahan bakar diesel fosil. Putaran mesin yang lebih rendah menghasilkan nilai konsumsi bahan bakar yang lebih rendah seperti yang ditunjukkan dari hasil pengujian pada Gambar 7.

4. Kesimpulan

Kesimpulan hasil penelitian analisis biodiesel sebagai aditif pada bahan bakar diesel fosil jenis dexlite dengan variasi pembebanan terhadap mesin pembangkit listrik menghasilkan daya efektif tertinggi pada komposisi bahan bakar D0 dengan pembebanan daya 700 watt dengan nilai

daya efektif sebesar 278,18 watt dan terendah pada komposisi bahan bakar D70BIO30 68,52 watt pada pembebanan daya 100 watt. Untuk nilai torsi tertinggi terletak pada komposisi bahan bakar D0 dengan pembebanan daya 700 watt sebesar 2,23 Nm, sedangkan terendah pada pembebanan daya 100 watt dengan komposisi bahan bakar D70BIO30 sebesar 0,482 Nm. Sedangkan, konsumsi bahan bakar tertinggi terletak pada pengujian pembebanan daya 700 watt dengan komposisi bahan bakar D0 dengan nilai konsumsi sebesar 47,32 detik sebanyak 10 ml, sedangkan konsumsi bahan bakar terendah pada pembebanan daya 100 watt pada komposisi bahan bakar D70BIO30 dengan nilai konsumsi bahan bakar sebesar 87,23 detik sebanyak 10 ml.

Referensi

- [1] A. S. Pramudiyanto and S. W. A. Suedy, "Energi Bersih dan Ramah Lingkungan dari Biomassa untuk Mengurangi Efek Gas Rumah Kaca dan Perubahan Iklim yang Ekstrim," *J. Energi Baru dan Terbarukan*, vol. 1, no. 3, pp. 86–99, 2020, doi: 10.14710/jebt.2020.9990.
- [2] M. Jeremiah, B. Kabeyi, and O. A. Olanrewaju, "Diesel to Gas Engine Power Plant Conversion: A Review and Preliminary Design for an Operating Power Plant," *Res. Artic. J. Energy Manag. Technol.*, vol. 7, no. 03, p. 3, 2023, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.22109/JEMT.2022.292982.1312>
- [3] S. Allifah, Y. Syaikat, and P. Wijayanti, "Dampak Tenaga Air dan Bahan Bakar Fosil terhadap Implementasi Ekonomi Hijau di Indonesia," *J. Sumberd. Alam dan Lingkung.*, vol. 9, no. 3, pp. 102–112, 2022, doi: 10.21776/ub.jsal.2022.009.03.3.
- [4] D. Pranowo, M. Herman, and Syafaruddin, "Potensi pengembangan kemiri sunan (Reutealis trisperma [Blanco] Airy Shaw)," *Perspektif*, vol. 14, no. 2, pp. 87–101, 2015.
- [5] M. P. Donowati and M. Kholmi, "Analisis Peningkatan Kualitas Udara di Terminal: Strategi Mengurangi Emisi Gas Buang dari Armada Bus," *J. Soc. Sci. Res.*, vol. 4, pp. 8773–8783, 2024.
- [6] N. E. S and W. S. W. P, "Pengolahan Minyak Goreng Bekas (Jelantah) Sebagai Pengganti Bahan Bakar Minyak Tanah (Biofuel) Bagi Pedagang Gorengan Di Sekitar Fmipaunnes," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 14, no. 3, p. 142, 2019, doi: 10.32497/jrm.v14i3.1503.
- [7] W. Saputro, J. Sentanuhady, A. I. Majid, W. Prasadha, N. P. Gunawan, and T. Y. Raditya, "Karakteristik Unjuk Kerja Mesin Diesel Menggunakan Bahan Bakar B100 dan B20 Dalam Jangka Panjang," *J. Mech. Des. Test.*, vol. 2, no. 2, p. 125, 2020, doi: 10.22146/jmdt.55523.
- [8] E. Megawati, A. Ardiansyah, A. Mukminin, D. Ariyani, Y. Yuniarti, and M. Lutfi, "Analisis Sifat Fisika dan Nilai Keekonomian Minyak Goreng Bekas Menjadi Biodiesel Dengan Metode Transesterifikasi," *al-Kimiya*, vol. 9, no. 1, pp. 48–54, 2022, doi: 10.15575/ak.v9i1.17962.
- [9] J. Tarigan and D. F. Simatupang, "Uji Kualitas Minyak Goreng Bekas Pakai Dengan Penentuan Bilangan Asam, Bilangan Peroksida Dan Kadar Air," *UJI KUALITAS Miny. GORENG Bek. PAKAI DENGAN PENENTUAN BILANGAN ASAM, BILANGAN PEROKSIDA DAN KADAR AIR*, no. May, 2019.
- [10] N. Erna and W. S. Wiwit, "Pengolahan Minyak Goreng Bekas (Jelantah) Sebagai Pengganti Bahan Bakar Minyak Tanah (Biofuel) Bagi Pedagang Gorengan di Sekitar FMIPA UNNES," *J. Rekayasa*, vol. 15, no. 2, pp. 89–95, 2017.
- [11] S. Rezania *et al.*, "Review on transesterification of non-edible sources for biodiesel production with

- a focus on economic aspects, fuel properties and by-product applications,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 201, no. October, p. 112155, 2019, doi: 10.1016/j.enconman.2019.112155.
- [12] S. Nisar, M. A. Hanif, U. Rashid, A. Hanif, M. N. Akhtar, and C. Ngamcharussrivichai, “Trends in widely used catalysts for fatty acid methyl esters (Fame) production: A review,” *Catalysts*, vol. 11, no. 9, 2021, doi: 10.3390/catal11091085.
- [13] E. Navarro López, A. Robles Medina, L. Esteban Cerdán, P. A. González Moreno, M. D. Macías Sánchez, and E. Molina Grima, “Fatty acid methyl ester production from wet microalgal biomass by lipase-catalyzed direct transesterification,” *Biomass and Bioenergy*, vol. 93, pp. 6–12, 2016, doi: 10.1016/j.biombioe.2016.06.018.
- [14] F. Yaşar, “Comparison of fuel properties of biodiesel fuels produced from different oils to determine the most suitable feedstock type,” *Fuel*, vol. 264, no. November 2019, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2019.116817.
- [15] X. Zeng, M. K. Danquah, X. D. Chen, and Y. Lu, “Microalgae bioengineering: From CO₂ fixation to biofuel production,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 15, no. 6, pp. 3252–3260, 2011, doi: 10.1016/j.rser.2011.04.014.
- [16] R. K. Srivastava, N. P. Shetti, K. R. Reddy, E. E. Kwon, M. N. Nadagouda, and T. M. Aminabhavi, “Biomass utilization and production of biofuels from carbon neutral materials,” *Environ. Pollut.*, vol. 276, p. 116731, 2021, doi: 10.1016/j.envpol.2021.116731.
- [17] E. Elnajjar, S. A. B. Al-Omari, M. Y. E. Selim, and S. T. P. Purayil, “CI engine performance and emissions with waste cooking oil biodiesel boosted with hydrogen supplement under different load and engine parameters,” *Alexandria Eng. J.*, vol. 61, no. 6, pp. 4793–4805, 2022, doi: 10.1016/j.aej.2021.10.039.
- [18] M. Aydın, S. Uslu, and M. Bahattin Çelik, “Performance and emission prediction of a compression ignition engine fueled with biodiesel-diesel blends: A combined application of ANN and RSM based optimization,” *Fuel*, vol. 269, no. February, 2020, doi: 10.1016/j.fuel.2020.117472.
- [19] M. Nasution, “Bahan Bakar Merupakan Sumber Energi yang Sangat Diperlukan dalam Kehidupan Sehari Hari,” *J. Electr. Technol.*, vol. 7, no. 1, pp. 29–33, 2022.
- [20] F. A. Pratama and M. Ulum, “Pengaruh Kombinasi Jumlah Piston dan Turbin Terhadap Performa Pembangkit Listrik Tenaga Mekanisme Oscillating Water Column,” vol. 16, no. 3, pp. 359–364, 2023.