

# KINERJA DAN EMISI MESIN DIESEL 1 SILINDER BERBAHAN BAKAR CAMPURAN *BIODIESEL* NYAMPLUNG DAN ETANOL

Nasrul Ilminnafik <sup>1)</sup> ✉, Atlanta Iwananda <sup>1)</sup>, Muh. Nurkoyim Kustanto <sup>1)</sup>, Rima Zidni Karimatan Nisa <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Jurusan Teknik Mesin

Universitas Jember

[nasrul.teknik@unej.ac.id](mailto:nasrul.teknik@unej.ac.id)

[atlantaiwananda78@gmail.com](mailto:atlantaiwananda78@gmail.com)

[nurkoyim@unej.ac.id](mailto:nurkoyim@unej.ac.id)

<sup>2)</sup> Teknologi Mesin

Politeknik Masamy Internasional

Banyuwangi

[rimazidni@gmail.com](mailto:rimazidni@gmail.com)

## Abstract

Research has been carried out on the effect of biodiesel and ethanol fuel mixtures on diesel engine performance and emissions. Ethanol ( $C_2H_5OH$ ) is a type of alcohol that can improve the characteristics of biodiesel. The effect of ethanol on engine performance was investigated by adding B30 (a mixture of 30% nyamplung biodiesel (*calophyllum inophyllum*) and 70% petrodiesel). The concentration of ethanol added to B30 is 10% v/v which is called the B30E10 mixture. The composition of the fuel mixture is B0 (petrodiesel), B30, B30E10 and Pertadex. The research was conducted on a single cylinder four stroke diesel engine with a natural air system and coupled to a generator that functions as a dynamometer. Three times the test was carried out for each load applied to the engine varying from 0, 200, 400, and 600 W at a constant rotation speed of 1700 rpm. The research results that the constant engine speed method and variations in lamp load produce torque values (Nm) and effective power (kW) which tend to be the same between fuels, this happens because it is influenced by the governor mechanism. The highest fuel consumption occurred at the addition of 10% ethanol (B30E10). The lowest thermal efficiency occurs in B30E10. Exhaust emissions of carbon monoxide decreased with the addition of 10% ethanol.

**Keywords:** *Calophyllum Inophyllum Biodiesel, Ethanol, Diesel Engine, Emission.*

## 1. PENDAHULUAN

Isu lingkungan global dan perubahan iklim akibat pengembangan dan penggunaan energi berbasis fosil menjadi pertimbangan dalam pemilihan alternatif bahan bakar pada mesin *diesel* (*compression ignition engine*) <sup>[1]</sup>. *Biodiesel* adalah alternatif bahan bakar untuk *petrodiesel* (*petroleum diesel*). *Biodiesel* memiliki sifat pelumasan yang baik, *non-toksitas*, bebas dari aromatik, ramah lingkungan dan terbarukan <sup>[2]</sup>, namun penggunaannya pada mesin diesel memiliki masalah terkait penyumbatan filter, pemblokiran nosel, kokas (endapan) injektor, penyimpanan bahan bakar, serta atomisasi semprotan nosel yang buruk <sup>[3]</sup>.

Studi sebelumnya pada bahan bakar campuran *biodiesel* nyamplung dan *petrodiesel* yang dilakukan How dkk. (2018) <sup>[4]</sup> ditemukan bahwa penambahan 30% *biodiesel* nyamplung (B30) meningkatkan viskositas kinematik sebesar 24.48%, densitas sebesar 1.54% dan angka setana sebesar 1.91% lebih tinggi dari petrodiesel, namun karakteristik lain seperti nilai kalor turun lebih rendah dari *petrodiesel* sebesar 0.90% dan titik nyala sebesar 11.18%. Alkohol dapat digunakan untuk meningkatkan karakteristik dari *biodiesel*. Etanol ( $C_2H_5OH$ ) adalah jenis alkohol yang diproduksi melalui proses fermentasi bahan baku

Corresponding Author:

✉ Nasrul Ilminnafik

Received on: 2022-08-20

Revised on: 2023-01-24

Accepted on: 2023-05-08

biomassa dan dapat digunakan pada mesin *diesel* tanpa modifikasi <sup>[5]</sup>. Maldiwale dkk. (2018) <sup>[6]</sup> membuktikan penambahan 5% etanol pada 20% biodiesel sawit (B20) dapat menurunkan viskositas kinematik sebesar 3.57%, densitas sebesar 1.05%, titik nyala sebesar 35.71% dan nilai kalor sebesar 6.31% lebih rendah dari 20% *biodiesel* sawit.

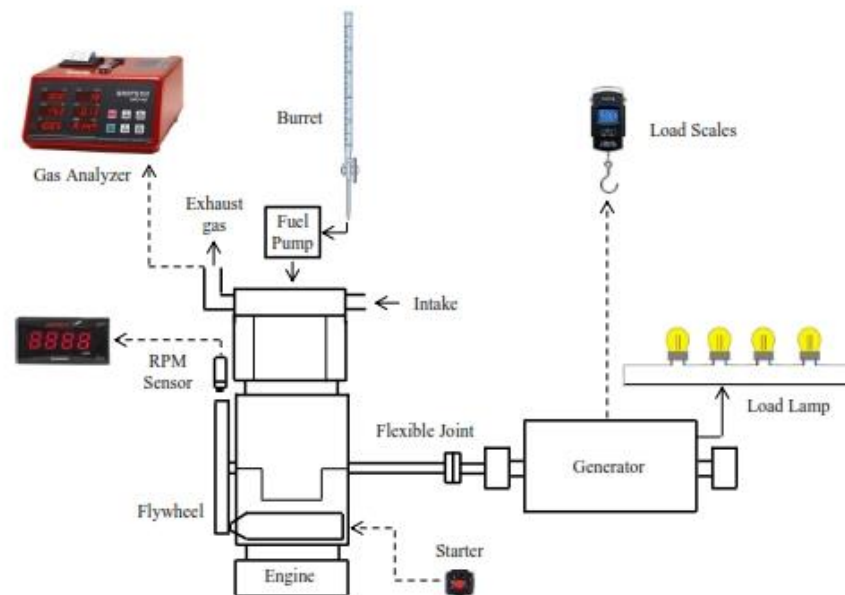
Studi tentang kinerja dan emisi mesin diesel satu silinder dengan bahan bakar campuran biodiesel dan etanol telah dilakukan dengan variasi persentasi etanol <sup>[7]</sup>, tentang variasi rasio kompresi mesin <sup>[8]</sup>, dan tentang variasi etanol pada rps konstan <sup>[9]</sup>.

Kinerja atau prestasi mesin *diesel* dipengaruhi bahan bakar yang digunakan. Berdasarkan latar belakang di atas, maka penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh penambahan etanol pada *biodiesel* yang diproduksi dari minyak biji nyamplung (*calophyllum inophyllum*).

## 2. METODE DAN BAHAN

### 2.1. Alat Penelitian

Penelitian dilakukan pada mesin diesel model MDX-170 Matsumoto empat langkah satu silinder dengan sistem pendingin udara alami. Mesin *diesel* dikopel dengan generator 1 fasia model SD-3 Daiho yang difungsikan sebagai *dynamometer*. Geometri mesin dan karakteristik injeksi bahan bakar tidak diubah untuk pengujian. Bahan bakar diinjeksikan langsung oleh sistem yang dikendalikan secara mekanis. Diagram skema penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Spesifikasi mesin yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 1.

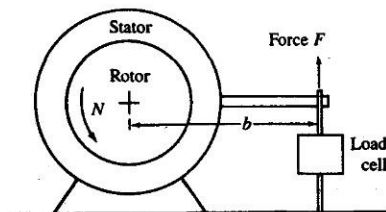


**Gambar 1.** Diagram skema pengaturan eksperimental

**Tabel 1.** Spesifikasi mesin diesel

Variabel	Spesifikasi
Merk Mesin	MDX-170 Matsumoto
	OHV ( <i>over head valve</i> )
Model Mesin	Empat langkah
	Satu silinder
	Pendingin udara
Volume Silinder (cc)	211
Daya <i>Output</i> Maksimal (kW)	3.1
Putaran <i>Output</i> Maksimal (rpm)	3600

Pengukuran konsumsi bahan bakar dilakukan dengan menempatkan *burret* pada tangki bahan bakar dengan ketidakpastian +1,79%. Gaya pengereman diukur menggunakan *load cell* yang ditempatkan di lengan generator dengan ketidakpastian +1,17%. Pengukuran emisi gas buang dilakukan dengan alat analisa gas (*gas analyzer*) model HG-520 Hashbon. Ketidakpastian emisi *carbon monoxide* (CO) yang diukur adalah +9,72%, emisi carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) adalah +5,18% dan emisi hydrocarbon (HC) adalah +1,82%. Tiga pengujian dilakukan untuk setiap beban yang diterapkan pada mesin yang bervariasi dari 0W hingga 800W (0% hingga 100%) pada kecepatan putaran konstan 2000 rpm. Filter bahan bakar diganti setiap variasi campuran, untuk mencegah kontaminasi bahan bakar yang digunakan sebelumnya. Pengambilan data dilakukan setelah 10 menit mesin dinyalakan, untuk memastikan bahwa kondisi *steady state* tercapai. Data primer hasil uji diubah menjadi data prestasi mesin menggunakan persamaan 1 sampai 4. Gambar 2 menunjukkan ilustrasi pengukuran torsi pada poros (rotor) menggunakan prinsip pengereman dengan stator dikenai beban lampu W. Beban maksimum yang terbaca pada *load cell* (alat ukur beban) adalah gaya pengereman yang besarnya sama dengan gaya putar poros mesin (F).

**Gambar 2.** Ilustrasi pengukuran torsi pada poros (rotor) <sup>[10]</sup>

## 2.2. Bahan Penelitian

Bahan penelitian adalah *biodiesel*, *petrodiesel*, etanol, dan *pertadex*. *Biodiesel* terbuat dari minyak biji nyamplung yang diperoleh dari daerah Bondowoso, Jawa Timur, Indonesia. *Biodiesel* dihasilkan dengan ekstraksi biji nyamplung secara mekanis, dilanjutkan dengan proses esterifikasi dan transesterifikasi trigliserida minyak nyamplung. *Petrodiesel* diperoleh dari terminal BBM PT Pertamina Tanjung Wangi, Suplai dan distribusi wilayah V, Ketapang Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia. Etanol dengan kemurnian 99,5% yang diperoleh dari PT Energi Agro Nusantara, Anak Perusahaan PT Perkebunan Nusantara X, Mojokerto, Jawa Timur, Indonesia.

B30 adalah campuran *biodiesel* nyamplung dan *petrodiesel* dengan rasio perbandingan 30 : 70 % (v/v). Etanol dan B30 dicampur menggunakan magnetic stirrer selama 7,5 menit dengan kecepatan putaran 1500 rpm<sup>[6]</sup>. Konsentrasi etanol adalah 10% (B30E10). Campuran *biodiesel-petrodiesel* dan etanol diamati selama 24 jam untuk memastikan kestabilan campuran. Setelah dipastikan bahwa campuran stabil, dilakukan uji karakterisasi dan uji prestasi mesin diesel. Komposisi campuran bahan bakar selengkapnya yang digunakan ditunjukkan pada Tabel 1. Sebagai pembandingan digunakan bahan bakar *pertadex*.

**Tabel 2.** Komposisi campuran bahan bakar

Kode	Biodiesel	Petrodiesel	Etanol
B0	0	100	0
B30	30	70	0
B30E10	90 B30		10

### 3. HASIL DAN DISKUSI

#### 3.1. Karakteristik Bahan Bakar

Hasil pengujian propertis bahan bakar *petrodiesel* pertamina, B30, B30E10 dan *pertadex* terdiri dari empat parameter uji yaitu viskositas, densitas, nilai kalor, *flash point*, *cetane index*, ditunjukkan pada Tabel 3. Pada tabel tersebut terlihat penambahan etanol menurunkan densitas B30 dari 858 kg/m<sup>3</sup> menjadi 854 kg/m<sup>3</sup>, lebih tinggi dari petrodiesel (830 kg/m<sup>3</sup>). Densitas atau kepadatan bahan bakar yang rendah mereduksi ukuran droplet (tetesan) dan meningkatkan persiapan campuran bahan bakar - udara, hasilnya mempersingkat penundaan pengapian dan *gradient* kenaikan tekanan meningkat sehingga menghasilkan temperatur gas tinggi di dalam silinder<sup>[11]</sup>.

B30 memiliki viskositas kinematik sebesar 3.3 cSt lebih tinggi dari bahan bakar lain, hasil ini sejalan dengan Rajesh dkk, 2017<sup>[12]</sup>. Viskositas yang lebih tinggi akan menghasilkan resistansi (tahanan) pada saluran bahan bakar<sup>[13]</sup>, selain itu juga membuat bahan bakar teratomisasi (pengabutan) menjadi tetesan yang lebih besar sehingga pembakaran tidak sempurna dan meningkatkan kokas (endapan) injektor<sup>[14]</sup>.

**Tabel 3.** Data uji karakteristik bahan bakar

Bahan bakar	Densitas 15°C (kg/m <sup>3</sup> )	Viskositas 40°C (cSt)	Nilai Kalor (kJ/kg)	Flash Point (°C)	Cetane Index
B0 (petrodiesel)	844	2,97	45875	71,5	48
B30	858	3,30	44229	76,9	51,5
B30E10	854	2,77	43579	71,7	47,8
<i>Pertadex</i>	830	1,74	45900	55	53

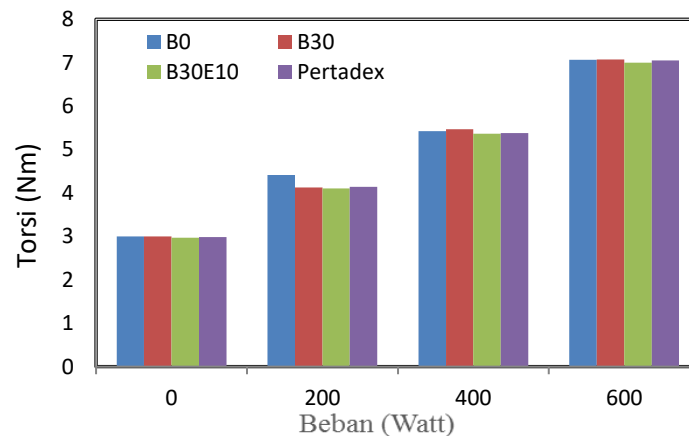
Titik nyala (flashpoint) bahan bakar menurun signifikan dengan penambahan ethanol, hal ini sejalan dengan Madiwale dkk. (2018)<sup>[6]</sup> dan Rajesh dkk. (2017)<sup>[12]</sup>. Titik nyala yang rendah meningkatkan flammabilitas (daya bakar) bahan bakar yang dapat mempengaruhi laju pembakaran, sehingga meningkatkan temperatur ruang bakar. Efek nilai titik nyala yang terlalu rendah yaitu mudahnya bahan bakar terbakar lebih dini (awal), sehingga terjadi detonasi dan menurunkan performa mesin<sup>[15]</sup>.

Nilai kalor atau kandungan energi bahan bakar *biodiesel* dan ethanol lebih rendah dari petrodiesel, hal ini sejalan dengan Tongroon dkk. (2019)<sup>[16]</sup>. Nilai kalor terendah terdapat pada B30E10. Kandungan energi bahan bakar yang rendah akan mengurangi tekanan dan pelepasan panas yang mengakibatkan peningkatan konsumsi bahan bakar<sup>[15],[17]</sup>.

Angka setana bahan bakar menurun dengan penambahan ethanol, hal ini sejalan dengan Rajesh dkk. (2017) <sup>[12]</sup>. Ethanol memiliki angka setana yang rendah, namun dapat diperbaiki dengan penambahan *biodiesel* <sup>[18]</sup>. Menurut Gerpen (1996) bilangan setana biodiesel bergantung pada distribusi asam lemak dari *crude oil* (bahan baku minyak), semakin panjang rantai karbon asam lemak dan semakin jenuh molekulnya maka semakin tinggi bilangan setana <sup>[19]</sup>. Bahan bakar dengan angka setana yang lebih rendah dari persyaratan minimum mesin dapat meningkatkan penundaan pengapian dan menurunkan tekanan silinder <sup>[20]</sup>.

### 3.2. Torsi

Gambar 2 menunjukkan hasil penelitian pengaruh variasi pembebanan terhadap torsi mesin dengan variasi bahan bakar campuran pada penelitian ini. Pada gambar ini terlihat pada pembebanan yang sama untuk variasi bahan bakar mempunyai torsi yang hampir sama. Hal ini disebabkan bahwa dengan pembebanan yang sama pada putaran mesin konstan, menyebabkan mesin menghasilkan torsi yang sama pula.

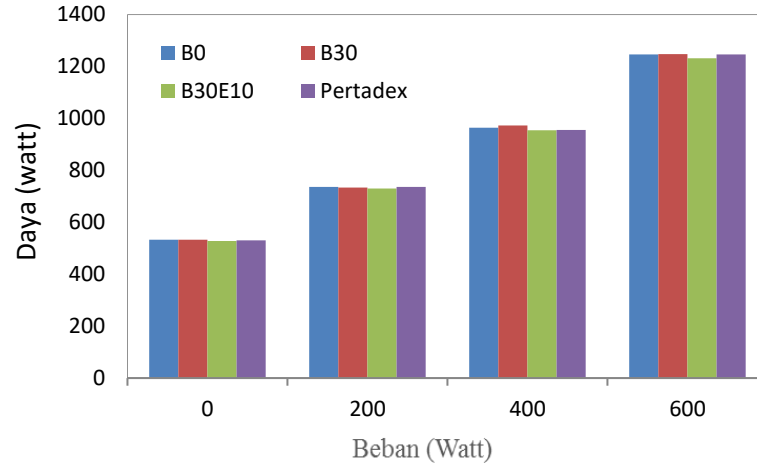


**Gambar 3.** Pengaruh pembebanan terhadap torsi

Pada gambar tersebut juga terlihat bahwa meningkatnya pembebanan meningkatkan torsi, karena penelitian ini menggunakan metode putaran mesin konstan yaitu 1700 rpm dengan variasi pembebanan. Hal ini menyebabkan generator menghasilkan nilai torsi yang terus meningkat hingga batas kemampuan mesin menahan beban. Peningkatan beban mengakibatkan jumlah bahan bakar yang masuk ruang bakar lebih besar untuk menjaga putaran mesin konstan dan ketika beban lampu ditambah maka beban putaran generator semakin berat, akibatnya putaran poros mesin turun. Putaran tersebut dinaikkan kembali melalui mekanisme governor (alat yang mengatur agar putaran mesin tetap stabil dan konstan walaupun beban yang diterima berubah-ubah atau bervariasi) <sup>[21]</sup>.

### 3.3. Daya Mesin

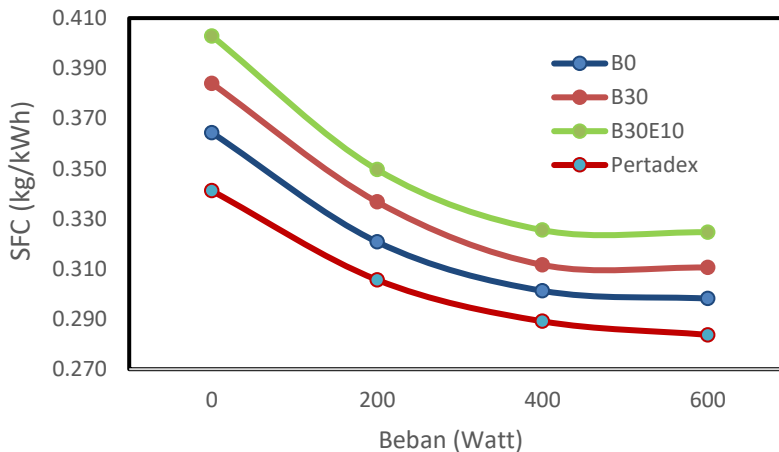
Gambar 4 menunjukkan daya efektif pada variasi beban mesin pada putaran mesin tetap yaitu 1700 rpm dan trenline yang dihasilkan sama dengan nilai torsi karena daya dihasilkan dari perkalian torsi dan kecepatan. Pada penelitian ini, hasil daya efektif hanya dipengaruhi oleh perubahan beban. Nilai daya efektif diperlukan untuk mengetahui konsumsi bahan bakar dan efisiensi termal. Penggunaan variabel dengan metode pembebanan tidak berpengaruh dengan nilai daya efektif terhadap perubahan bahan bakar. Metode ini sama dengan yang digunakan oleh Ashok *et al.*, 2018 <sup>[22]</sup>; Gad *et al.*, 2018 <sup>[23]</sup>; Gad & El-seesy, 2020 <sup>[24]</sup>.



**Gambar 4.** Pengaruh pembebanan terhadap daya mesin

### 3.4. Konsumsi Bahan Bakar

Konsumsi bahan bakar atau *Specific Fuel Consumption* (SFC) adalah jumlah konsumsi bahan bakar yang digunakan mesin untuk menghasilkan daya 1 kW dalam 1 Jam. SFC digunakan untuk menunjukkan efektivitas konsumsi energi bahan bakar dengan kandungan energi (nilai Kalor) yang berbeda (How *et al.*, 2018) <sup>[4]</sup>. Gambar 5 menunjukkan konsumsi bahan bakar (kg/kWh) pada variasi beban mesin (W) pada putaran mesin (RPM) tetap.



**Gambar 5.** Konsumsi bahan bakar (SFC) pada variasi beban lampu (putaran mesin 1700 rpm)

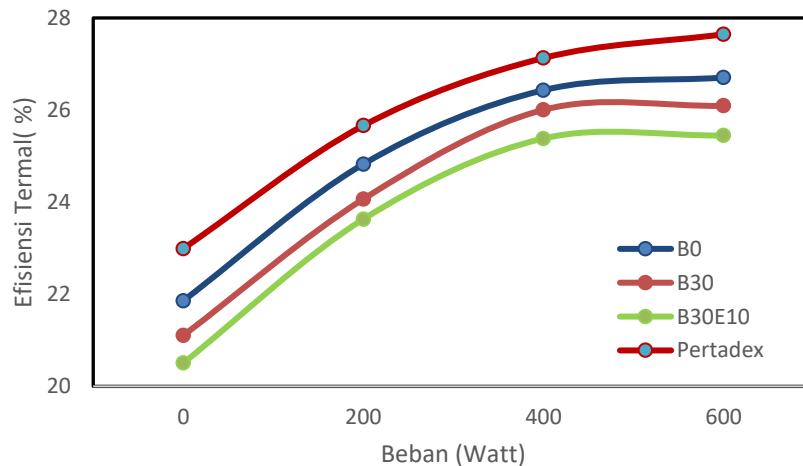
Pada Gambar 5 terlihat bahwa semua bahan bakar pada putaran mesin konstan menghasilkan trenline yang sama. Penambahan beban menyebabkan SFC menurun, sesuai dengan penelitian yang dilakukan Gad & El-seesy, 2020 <sup>[24]</sup>. Nilai yang besar pada beban minimum disebabkan jumlah bahan bakar yang digunakan tidak sebanding dengan daya yang dihasilkan.

Penambahan etanol pada *biodiesel* menyebabkan konsumsi bahan bakar (SFC) meningkat. Hal ini disebabkan penambahan etanol menyebabkan nilai kalor menurun (Tabel 3). Nilai kalor yang rendah dari bahan bakar menyebabkan jumlah energi panas yang dapat dilepaskan menjadi lebih kecil, sehingga dibutuhkan laju aliran massa bahan bakar yang

lebih besar untuk mendapatkan kerja per siklus (daya efektif) yang sama selama proses pembakaran (Heywood 1988<sup>[10]</sup>; Buyukkaya 2010<sup>[28]</sup>).

### 3.5. Efisiensi termal

Gambar 6 menunjukkan empat grafik memiliki *trenline* yang sama, dimana efisiensi termal meningkat pada saat penambahan beban. Efisiensi termal menurun ketika beban melebihi batas kemampuan mesin. Hasil ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Barabás dan Todoru (2010)<sup>[15-18]</sup>, Gad & El-seesy (2020)<sup>[24]</sup> dan Saravanan et al. (2020)<sup>[25]</sup>. Energi bahan bakar yang disuplai ke mesin per siklus tidak sepenuhnya dilepaskan sebagai energi panas dalam proses pembakaran, karena proses pembakaran yang sebenarnya tidak lengkap (sempurna).



**Gambar 6.** Efisiensi termal pada variasi beban mesin (putaran mesin 1700 rpm)

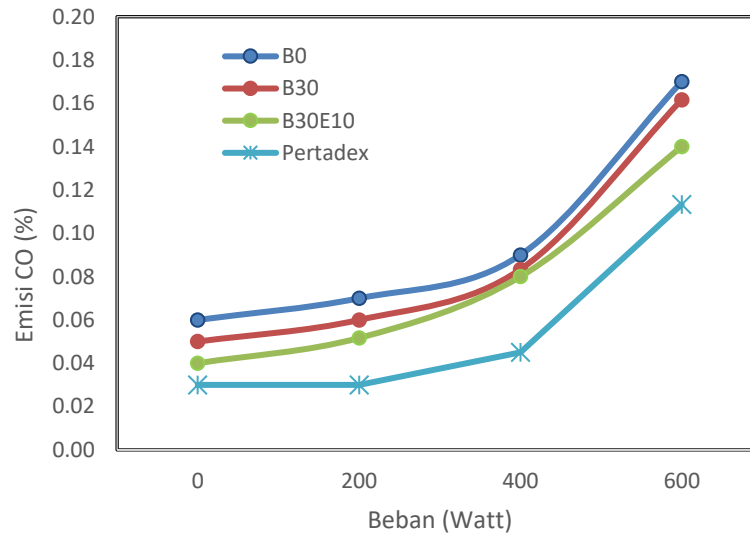
Gambar 6 juga menunjukkan perbedaan nilai efisiensi termal pada keempat bahan bakar. Bahan bakar B30 memiliki nilai efisiensi termal lebih rendah dari pada B0 sebab bahan bakar biodiesel memiliki nilai kalor lebih rendah dibanding minyak *diesel* (Gad & El-seesy, 2020)<sup>[24]</sup>. *Pertadex* memiliki nilai efisiensi termal paling tinggi. Pada gambar tersebut menunjukkan bahwa penambahan etanol pada bahan bakar menyebabkan efisiensi termal turun. Hal ini disebabkan penambahan etanol menyebabkan nilai kalor bahan bakar menurun (Tabel 1). Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian Gomasta dan Mahla (2012)<sup>[7]</sup> dan Gnanamoorthi dan Devaradjane (2014)<sup>[8]</sup>. Untuk meningkatkan efisiensi termal pada penambahan etanol, Gnanamoorthi dan Devaradjane (2014)<sup>[8]</sup> meningkatkan rasio kompresi mesin. Pembakaran mesin *diesel* sebagian *premixed* dan sebagian difusi. Fenomena ini adalah mekanisme yang sangat kompleks untuk diidentifikasi dan itu tergantung pada bahan bakar, variabel desain mesin seperti rasio kompresi, waktu injeksi bahan bakar, dan asupan yang meningkatkan tekanan, suhu, dan beban mesin. Sebagian besar pembakaran campuran etanol terjadi pada tahap *premixed* dan hanya sebagian kecil dari pembakaran yang terjadi pada tahap difusi. Ini karena peningkatan rasio kompresi [Gnanamoorthi dan Devaradjane (2014)<sup>[8]</sup>.

### 3.6. Emisi gas buang CO

Emisi CO mengindikasikan pembakaran yang terjadi tidak sempurna, sehingga bahan bakar yang tidak terbakar membentuk emisi CO<sup>[26]</sup>. Ethanol dan biodiesel merupakan bahan bakar jenis *oxygenated fuel* (bahan bakar beroksigen). Bahan bakar jenis ini pada setiap

ikatan kimianya telah mengandung oksigen, sehingga proses pencampuran antara bahan bakar dengan udara cenderung lebih mudah [27].

Gambar 7 menunjukkan trenline emisi CO pada putaran mesin 1700 rpm dengan variasi pembebanan. Beban 0 sampai dengan penuh terjadi peningkatan pada semua bahan bakar yang digunakan. Hasil ini dikarenakan dengan meningkatnya beban mesin rasio campuran bahan bakar lebih kaya seperti hasil penelitian yang dilakukan Gad *et al.*, 2018 [23]; Gad & El-seesy, 2020 [24].



**Gambar 7.** Pengaruh pembebanan terhadap emisi CO

Bahan bakar dengan urutan emisi CO tertinggi yaitu B0, B30, B30E10, dan *Pertadex*. Bahan bakar B30 memiliki nilai emisi CO lebih rendah dari pada B0 sebab dengan penambahan biodiesel pada minyak diesel dapat merubah sifat fisik bahan bakar yaitu viskositas seperti yang ditunjukkan pada gambar Tabel 3. Biodiesel memiliki tingkat oksidasi yang baik dibanding minyak *diesel* (Saravanan *et al.*, 2020) [25]. Pembakaran biodiesel banyak menghasilkan senyawa CO<sub>2</sub> karena *biodiesel* mengandung oksigen dan proses ini dapat membantu meminimalkan emisi CO.

Penambahan etanol pada bahan bakar B30 menurunkan emisi CO. Gambar 7 menunjukkan bahwa penambahan etanol pada bahan bakar B30 semakin rendah emisi CO yang dihasilkan. Hasil ini disebabkan penambahan etanol pada bahan bakar B30 menghasilkan viskositas yang lebih rendah sehingga meningkatkan karakteristik semprotan dan meningkatkan proses pembakaran. Hasil ini sama dengan penelitian yang dilakukan (Gad & El-seesy, 2020) [24].

#### 4. KESIMPULAN

Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan etanol pada bahan bakar campuran biodiesel nyamplung dan petrodiesel. menggunakan mesin diesel empat langkah silinder tunggal. Hasil penelitian ini menunjukkan etanol dapat mengkompensasi kenaikan densitas. Nilai torsi (Nm) dan daya efektif (kW) yang diperoleh cenderung sama antar bahan bakar ketika menggunakan metode putaran mesin konstan dan variasi beban. Etanol meningkatkan SFC lebih tinggi dari B30 dan petrodiesel, selain itu juga menurunkan efisiensi termal. Dari sisi emisi gas buang, etanol mereduksi emisi CO. Namun emisi CO<sub>2</sub>, yang terjadi akibat penurunan emisi CO yang melanjutkan proses oksidasi karena tingkat oksigen yang tinggi dalam bahan bakar etanol.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Putrasari, "Performance test of dual fuel engine using etanol diesel," Widyariset, vol. 16, no. 2, hlm. 259–268, Agustus 2013.
- [2] S. N. Gebremariam dan J. M. Marchetti, "Economics of biodiesel production: Review," Energy Convers. Manag., vol. 168, hlm. 74–84, Jul 2018
- [3] M. J. Hussan, M. Hj. Hassan, Md. A. Kalam, dan L. A. Memon, "Tailoring key fuel properties of diesel–biodiesel–etanol blends for diesel engine," J. Clean. Prod., vol. 51, hlm. 118–125, Jul 2013.
- [4] H. G. How, H. H. Masjuki, M. A. Kalam, Y. H. Teoh, dan H. G. Chuah, "Effect of Calophyllum Inophyllum biodiesel-diesel blends on combustion, performance, exhaust particulate matter and gaseous emissions in a multi-cylinder diesel engine," Fuel, vol. 227, hlm. 154–164, Sep 2018.
- [5] M. S. M. Zaharin, N. R. Abdullah, G. Najafi, H. Sharudin, dan T. Yusaf, "Effects of physicochemical properties of biodiesel fuel blends with alcohol on diesel engine performance and exhaust emissions: A review," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 79, hlm. 475–493, Nov 2017.
- [6] S. Madiwale, A. Karthikeyan, dan V. Bhojwani, "Properties investigation and performance analysis of a diesel engine fuelled with Jatropha, Soybean, Palm and Cottonseed biodiesel using Etanol as an additive," Mater. Today Proc., vol. 5, no. 1, hlm. 657–664, 2018.
- [7] Gomasta S. and S.K. Mahja. 2012. An Experimental Investigation of Ethanol Blended Diesel Fuel on Engine Performance and Emission of a Diesel Engine. International Journal on Emerging Technologies. 3 (1) 74-79 February 2015.
- [8] Gnanamoorthi V. dan G. Devaradjane. 2015. Effect of compression ratio on the performance, combustion and emission of DI diesel engine fueled with ethanol e Diesel blend. Journal of the Energy Institute. 88 (1) 19-26, April 2012.
- [9] Ilminnafik N., Nisak Rzk., Kustanto Mn., Iwananda A. Performance and Emission of A Diesel Generator Fuelled by Biodiesel Calophyllum Inophyllum – Ethanol Blends. Advanced Engineering Science. 54 (4) 1819-1829, Juni 2022.
- [10] J. B. Heywood, *Internal combustion engine fundamentals*. New York: McGraw-Hill, 1988.
- [11] M. Ufner, "Biofuels today and tomorrow: effects of fuel composition on exhaust gas emissions," hlm. 7, 2009.
- [12] S. Rajesh, B. M. Kulkarni, S. Kumarappa, dan N. R. Banpurmath, "Experimental investigations on CRDI diesel engine fuelled with acid oil methyl ester (AOME) and its blends with etanol," Int. J. Eng., vol. 9, no. 1, hlm. 16, 2017.
- [13] I. M. R Fattah, M. A. Kalam, H. H. Masjuki, dan M. A. Wakil, "Biodiesel production, characterization, engine performance, and emission characteristics of Malaysian Alexandrian laurel oil," RSC Adv, vol. 4, no. 34, hlm. 17787–17796, 2014.
- [14] I. Barabas dan I.-A. Todoru, "Utilization of Biodiesel-Diesel-Etanol Blends in CI Engine," dalam *Biodiesel- Quality, Emissions and By-Products*, G. Montero, Ed. InTech, 2011.
- [15] H. N. Cahyo dan A. Suprihadi, "Pengaruh variasi volume minyak sawit terhadap sifat fisik biodiesel campuran solar - minyak sawit- alkohol (metanol, etanol ,butanol)," vol. 8, no. 2, hlm. 6, 2019.

- [16] M. Tongroon, P. Saisirirat, A. Suebwong, J. Aunchaisri, M. Kananont, dan N. Chollacoop, "Combustion and emission characteristics investigation of diesel-ethanol-biodiesel blended fuels in a compression-ignition engine and benefit analysis," *Fuel*, vol. 255, hlm. 115728, Nov 2019.
- [17] H. Huang, Q. Liu, W. Teng, M. Pan, C. Liu, dan Q. Wang, "Improvement of combustion performance and emissions in diesel engines by fueling n-butanol/diesel/PODE3-4 mixtures," *Appl. Energy*, vol. 227, hlm. 38-48, Okt 2018.
- [18] I. Barabas dan A. Todoru, "Performance and emission characteristics of an CI engine fueled with diesel-biodiesel-bioethanol blends," hlm. 6, 2010.
- [19] J. V. Gerpen, "Cetane Number Testing of Biodiesel," hlm. 11, 1996.
- [20] M. Z. Isik, "Comparative experimental investigation on the effects of heavy alcohols-safflower biodiesel blends on combustion, performance and emissions in a power generator diesel engine," hlm. 38, Sep 2020.
- [21] A. S. Ahmad, "Studi eksperimen unjuk kerja mesin diesel sistem dual fuel dengan variasi tekanan penginjeksian pada injektor mesin Yanmar TF 55R Di," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2017.
- [22] Ashok, B., Nanthagopal, K., & Sakthi Vignesh, D. (2018). *Calophyllum inophyllum methyl ester biodiesel blend as an alternate fuel for diesel engine applications. Alexandria Engineering Journal*, 57(3), 1239-1247. 2018.
- [23] Gad, M. S., El-Araby, R., Abed, K. A., El-Ibiari, N. N., El Morsi, A. K., & El-Diwani, G. I. "Performance and emissions characteristics of C.I. engine fueled with palm oil/palm oil methyl ester blended with diesel fuel". *Egyptian Journal of Petroleum*, 27(2), 215-219. 2018.
- [24] Gad, M. S., & El-Seesy, A. I, "Enhancing the combustion and emission parameters of a diesel engine fueled by waste cooking oil biodiesel and gasoline additives". *Fuel*, 269, January 2020.
- [25] Saravanan, A., Murugan, M., S Reddy, M., & Parida, S. "Performance and emission characteristics of variable compression ratio CI engine fueled with dual biodiesel blends of Rapeseed and Mahua". *Fuel*, 263, July 2020.
- [26] A. Paul, R. Panua, dan D. Debroy, "An experimental study of combustion, performance, exergy and emission characteristics of a CI engine fueled by Diesel-ethanol-biodiesel blends," *Energy*, vol. 141, hlm. 839-852, Des 2017.
- [27] A. Nur, Y. Putrasari, dan I. K. Reksowardojo, "The Effect of Ethanol-Diesel Blends on The Performance of A Direct Injection Diesel Engine," *J. Mechatron. Electr. Power Veh. Technol.*, vol. 3, no. 1, hlm. 49, Jul 2012.
- [28] Buyukkaya, E., 2010. *Effects of Biodiesel on a DI Diesel Engine Performance, Emission and Combustion Characteristics. Fuel* 89 (10): 3099-3105. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2010.05.034>