



Research article

Pengaruh Performa Mesin Diesel Berbahan Bakar Crude Palm Oil (CPO) dan B35 Terhadap Variasi Pembebanan

Wiliandi Saputro^{1,*}, Erwan Adi Saputro¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Indonesia

¹Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik dan Sains, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Jawa Timur, Indonesia

*Corresponding author: wiliandi.saputro.tm@upnjatim.ac.id,

ARTICLE INFO

Article History:

Received : 19 March 2025

Revised : 11 April 2025

Accepted : 14 April 2025

Available online: 15 April 2025

Keywords: B35, CPO, diesel engines, performance, emissions

ABSTRACT

One use of alternative fuel that has the potential to be developed currently is crude palm oil (CPO). However, the use of CPO must go through a series of direct tests before it is widely applied. So the aim of this research is to carry out tests related to the use of CPO fuel and determine the effects in terms of engine performance and exhaust emissions. The fuel used in this research is CPO and B35 as existing fuel. The method used is an experimental method, through direct observation and measurement of phenomena when CPO fuel is tested for performance and exhaust emissions. The research used a diesel engine coupled to a generator and loaded with halogen lamps. The loading varies, namely 0.5; 1; 1.5; 2; 2.5; 3; 3.5; 4; up to 4.5 kW. Based on research results, the use of CPO fuel in general will produce higher power, torque and SFC, namely 2.55% each; 2.55%; and 17%. However, when comparing the thermal efficiency, hydrocarbon (HC) emissions and smoke opacity of CPO fuel, it produces a lower value of 10.54%; 15.4%; and 72% compared to B35 fuel engines. This is generally influenced by CPO fuel which has a lower calorific value, viscosity value and higher density than B35.

ABSTRAK

Salah satu penggunaan bahan bakar alternatif yang potensial

Kata Kunci: B35, CPO, mesin diesel, performa, emisi

dikembangkan saat ini yaitu crude palm oil (CPO). Namun penggunaan CPO harus melalui serangkaian pengujian secara langsung sebelum diaplikasikan secara luas. Sehingga tujuan penelitian ini yaitu melakukan pengujian terkait penggunaan bahan bakar CPO dan mengetahui efek yang ditimbulkan dari sisi performance mesin dan emisi gas buang. Bahan bakar yang digunakan pada penelitian ini adalah CPO dan B35 sebagai bahan bakar existing. Metode yang digunakan adalah metode eksperimental, melalui pengamatan dan pengukuran langsung pada fenomena saat bahan bakar CPO dilakukan pengujian performance dan emisi gas buang. Penelitian menggunakan mesin diesel yang dikopel dengan generator dan diberi beban berupa lampu halogen. Beban bervariasi yaitu 0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4; hingga 4,5 kW. Berdasarkan hasil penelitian penggunaan bahan bakar CPO secara umum akan menghasilkan power, torque, dan SFC yang lebih tinggi yaitu masing-masing sebesar 2,55%; 2,55%; dan 17%. Namun bila membandingkan efisiensi termal, emisi hidrokarbon (HC), dan opasitas asap bahan bakar CPO menghasilkan nilai yang lebih rendah sebesar 10,54%; 15,4%; dan 72% dibandingkan mesin berbahan bakar B35. Hal tersebut secara umum dipengaruhi oleh bahan bakar CPO yang memiliki nilai kalor lebih rendah, nilai viskositas, dan densitas yang lebih tinggi dibandingkan B35.

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, kebutuhan akan bahan bakar alternatif untuk mesin pembakaran dalam semakin meningkat. Hal ini didorong oleh dua faktor utama, yaitu berkurangnya cadangan minyak bumi dan meningkatnya dampak negatif emisi gas buang terhadap lingkungan. Ketergantungan pada bahan bakar solar yang berasal dari minyak bumi menjadi tantangan serius, mengingat tren konsumsi bahan bakar ini terus mengalami peningkatan. Menurut data dari Badan Pengatur Hilir Minyak dan Gas Bumi [1], konsumsi bahan bakar solar mengalami kenaikan sebesar 18,6 juta kiloliter pada tahun 2024. Mengingat sifatnya yang tidak terbarukan, penggunaan solar dalam jangka panjang dikhawatirkan akan mempercepat penipisan cadangan minyak bumi yang diperkirakan dapat habis pada tahun 2053 [2].

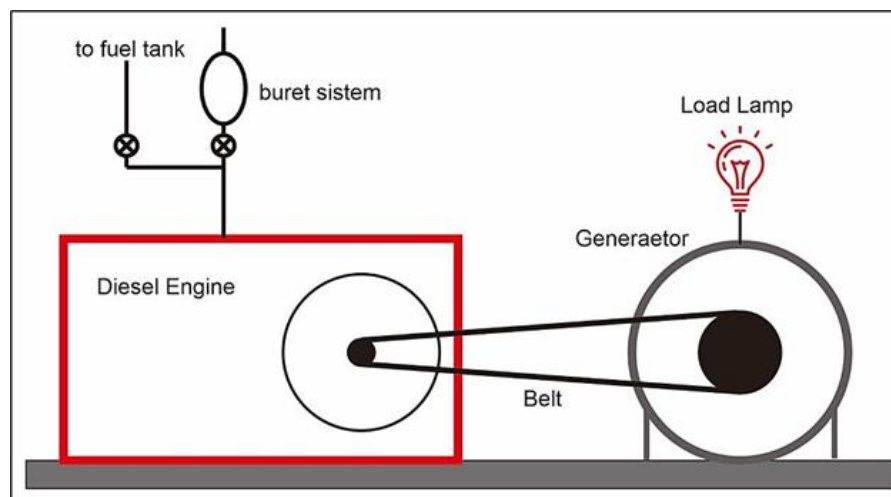
Sebagai salah satu alternatif, minyak nabati seperti crude palm oil (CPO) menawarkan potensi besar sebagai bahan bakar bagi mesin diesel. Indonesia, sebagai produsen utama minyak kelapa sawit, memiliki kapasitas produksi yang besar. Data dari Badan Pusat Statistik [3] menunjukkan bahwa produksi CPO terus meningkat secara signifikan dari tahun 2013 hingga 2023, dengan capaian produksi sebesar 49,56 juta ton pada tahun 2023. Ketersediaan yang melimpah ini menjadikan CPO sebagai opsi yang menarik dalam upaya diversifikasi energi. Penggunaan CPO sebagai bahan bakar mesin diesel dalam kondisi berbagai beban membutuhkan penelitian lebih lanjut untuk memahami pengaruhnya terhadap ketahanan dan keandalan mesin. Beberapa karakteristik bahan bakar yang memengaruhi performa mesin diesel adalah angka setana dan viskositas. Angka setana menentukan kualitas penyalaan bahan bakar dalam ruang bakar, yang berpengaruh terhadap efisiensi mesin. Sementara itu, viskositas memengaruhi pencampuran bahan

bakar dengan udara, di mana viskositas yang tinggi dapat menghasilkan partikel bahan bakar yang lebih besar, sehingga menghambat pembakaran yang optimal dan meningkatkan emisi gas buang. Berbagai penelitian telah dilakukan terkait penggunaan minyak nabati sebagai bahan bakar alternatif pada mesin diesel. Namun, sebagian besar penelitian masih berfokus pada biodiesel yang diperoleh melalui proses transesterifikasi, yang membutuhkan tahapan produksi kompleks serta biaya yang tidak sedikit. Sementara itu, penggunaan minyak nabati secara langsung sebagai bahan bakar (straight vegetable oil) mulai dikembangkan, tetapi masih terdapat sedikit kajian yang mengeksplorasi dampaknya terhadap efisiensi mesin, umur komponen, serta emisi gas buang dalam berbagai skenario pembebanan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimental untuk menganalisis performa mesin diesel menggunakan bahan bakar crude palm oil (CPO) dan campuran biodiesel B35. Pengujian dilakukan pada mesin diesel yang dikopel dengan generator listrik berkapasitas 5 kW sebagai sistem pembebanan. Beban diberikan dalam bentuk lampu halogen dengan variasi daya mulai dari 0,5 kW hingga 4,5 kW. Mesin dioperasikan pada putaran konstan sebesar 2200 rpm untuk memastikan kestabilan pengujian. Konsumsi bahan bakar diukur secara manual menggunakan buret berkapasitas 20 ml, dengan pencatatan waktu yang dibutuhkan untuk menghabiskan bahan bakar tersebut menggunakan stopwatch. Gambaran set up pengujian ditunjukkan pada Gambar 1, kondisi eksperimen pengujian dan karakteristik bahan bakar ditunjukkan pada Tabel 1 dan 2.

Data performa mesin yang diukur mencakup daya keluaran, torsi, specific fuel consumption (SFC), efisiensi termal, serta emisi gas buang. Pengukuran daya dilakukan dengan menghitung arus dan tegangan keluaran generator, sedangkan torsi diperoleh dengan menggunakan persamaan yang mempertimbangkan daya keluaran dan kecepatan putaran mesin. SFC dihitung berdasarkan rasio antara konsumsi bahan bakar per satuan waktu terhadap daya keluaran yang dihasilkan mesin.



Gambar 1. Set up pengujian

Tabel 1. Kondisi eksperimen pengujian

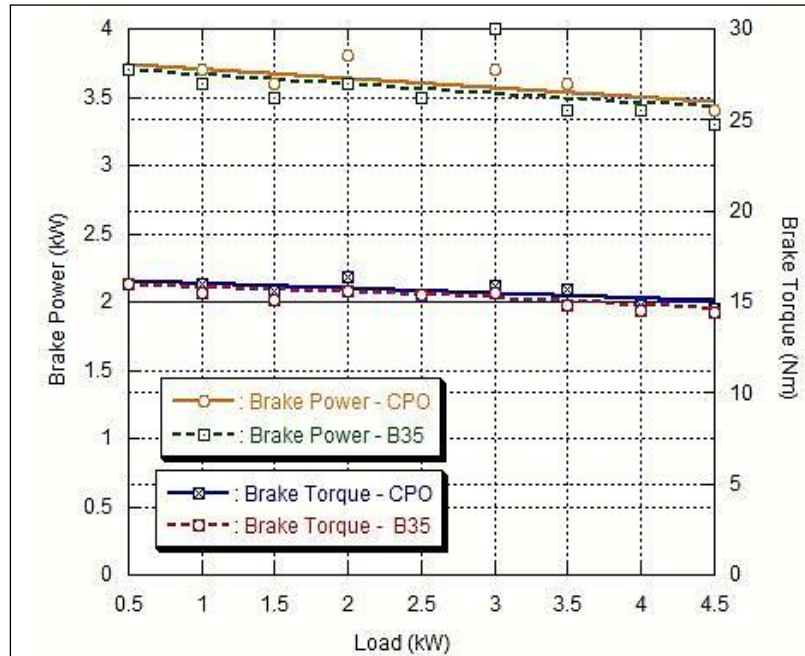
Parameter	Keterangan	
Bahan Bakar	CPO	B35
Putaran Mesin	2200 rpm	
Pelumas	Pertamina Mediteran SX Bio SAE 15W-40	
Pendingin	Prestone	
Pembebanan	0,5; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 3,5; 4, dan 4,5 kW	

Tabel 2. Karakteristik bahan bakar

No.	Parameter uji	Metode uji	Satuan	Hasil uji CPO	Hasil uji B35
1.	Massa jenis pada 40 °C	ASTM D 1298-12b	kg m ⁻³	933	-
2.	Massa jenis pada 15 °C	-	kg m ⁻³	-	839,9
3.	Viskositas kinematik pada 40 °C	ASTM D 445-06	mm ² /s	4,53	2,92
4.	Angka setana	ASTM D6980-12		61,0	56,7
5.	Titik nyala	ASTM D 93-02	°C	177	65
	Residu karbon	ASTM D 4530-	%	-	nihil
6.	(dalam contoh asli)	07	(mm ⁻¹)	0,040	-
	(dalam 10% ampas distilasi)			0,160	-
7.	Temperatur distilasi 90%	ASTM D 1160-06	°C	350	344
	Kestabilan oksidasi				-
8.	Periode induksi Metode Rancimat	EN 15751-2009	Menit	1200	>2880
9.	Warna	ASTM D 1500	Colour ASTM	1,0	1,1
10.	Kadar Ester metil	Calculation	% (mm ⁻¹)	98,24	-
11.	Kandungan FAME	-	% v/v	-	20
12.	Kadar air	ASTM D 6304	ppm	267	159,63

3. HASIL DAN DISKUSI

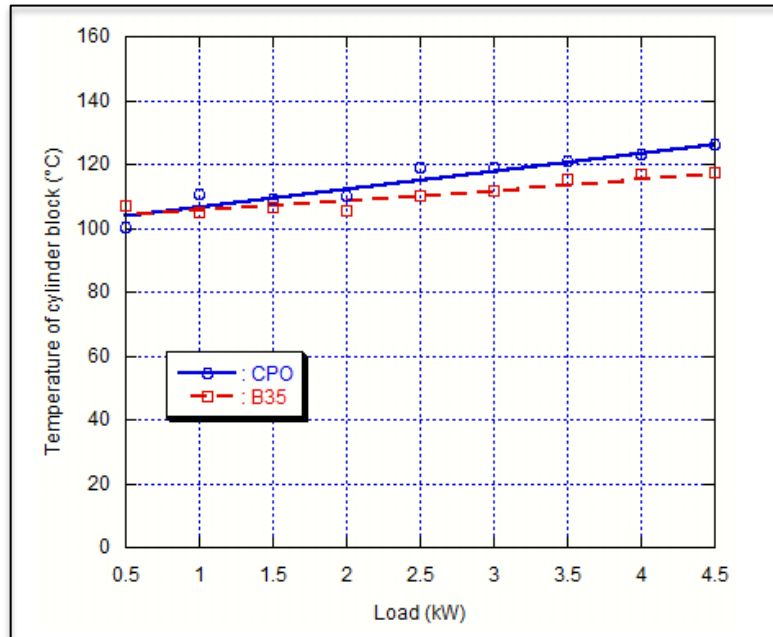
Berdasarkan grafik pada Gambar 2 pengujian daya dan torsi mesin diesel menggunakan bahan bakar CPO dan B35 menunjukkan adanya perbedaan dalam segi performa. Secara umum, daya rata-rata yang dihasilkan mesin berbahan bakar CPO lebih tinggi 2,55% dibandingkan B35. Daya rata-rata mesin dengan bahan bakar CPO sebesar 3,59 kW sedangkan pada mesin dengan bahan bakar B35 sebesar 3,5 kW. Begitu pula dengan torsi, mesin berbahan bakar CPO menghasilkan torsi rata-rata 2,55% lebih tinggi dibandingkan B35. Torsi rata-rata mesin dengan bahan bakar CPO sebesar 15,59 Nm sedangkan pada mesin dengan bahan bakar B35 sebesar 15,2 Nm.



Gambar 2. Grafik Daya dan Torsi terhadap Pembebanan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya dan torsi mesin dengan bahan bakar CPO memiliki karakteristik yang berbeda dibandingkan dengan B35. Kandungan oksigen yang lebih tinggi pada CPO berkontribusi pada proses pembakaran yang lebih baik, sehingga mempengaruhi performa mesin. Menurut Suthisripok dan Semsamran [4], bahan bakar CPO yang berasal dari minyak kelapa sawit memiliki kandungan oksigen sekitar 11% wt, sedangkan bahan bakar B35 memiliki kandungan oksigen sebesar 2,6% [5]. Kandungan oksigen yang lebih tinggi ini mendukung proses pembakaran yang lebih sempurna, sehingga meningkatkan efisiensi termal mesin.

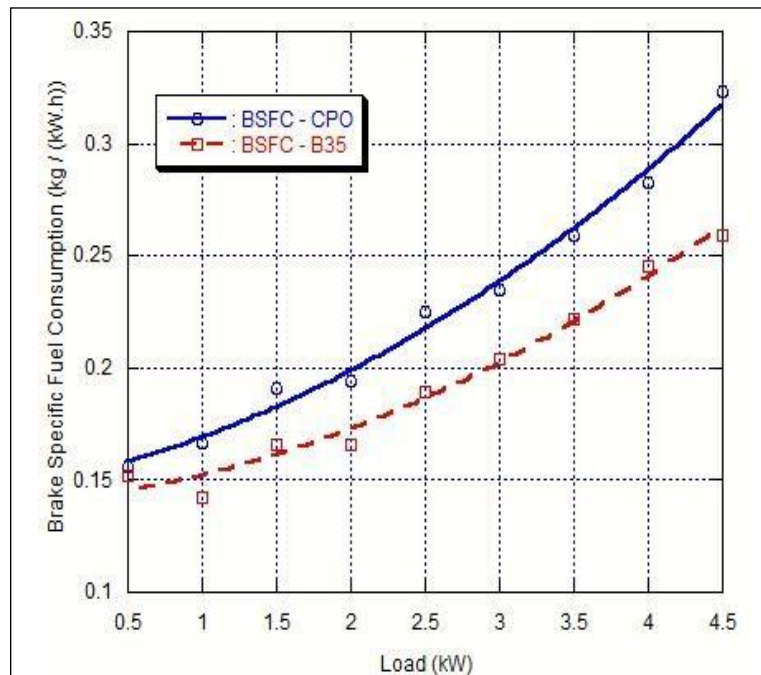
Berdasarkan Gambar 3, hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata suhu cylinder block pada mesin berbahan bakar CPO mencapai 115 °C, sedangkan pada mesin berbahan bakar B35 sekitar 110 °C. Temperatur yang lebih rendah pada mesin berbahan bakar B35 mengindikasikan bahwa proses pembakarannya belum mencapai titik flammability limit, yang berkontribusi pada daya dan torsi yang lebih rendah. Selain itu, peningkatan suhu cylinder block dapat memperbaiki proses pembakaran karena campuran udara dan bahan bakar terbakar lebih sempurna pada tahap akhir pembakaran. Hal ini berkontribusi pada peningkatan daya dan torsi mesin secara keseluruhan. Hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penggunaan bahan bakar CPO atau biodiesel dapat meningkatkan daya dan torsi mesin dibandingkan dengan bahan bakar solar [6-11]. Namun, tantangan dalam penggunaan CPO tetap ada, seperti viskositas yang lebih tinggi yang dapat mempengaruhi atomisasi bahan bakar dalam ruang bakar, serta kemungkinan terbentuknya residu dalam sistem injeksi bahan bakar.



Gambar 3. Suhu *Cylinder Block* terhadap Pembebanan

3.1 Specific Fuel Consumption (SFC)

Hasil pengujian SFC kedua mesin terhadap variasi pembebanan dituangkan dalam bentuk grafik pada Gambar 4. Perhitungan SFC didasarkan pada berat jenis bahan bakar yaitu 933 kg/m^3 untuk bahan bakar CPO dan $839,98 \text{ kg/m}^3$ untuk bahan bakar B35 (Tabel 2). Dari

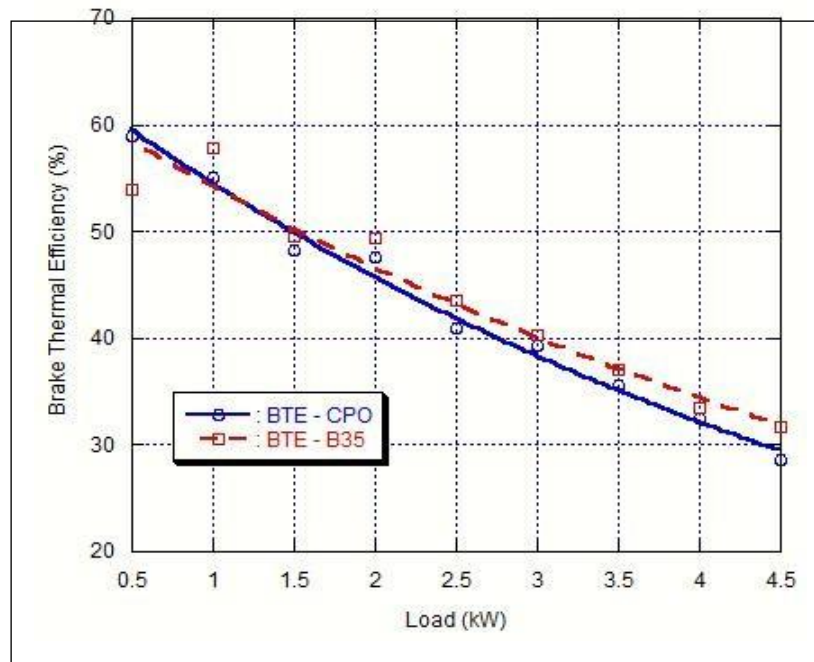


Gambar 4. Grafik SFC terhadap Pembebanan

hasil pengujian, mesin berbahan bakar CPO memiliki SFC yang lebih tinggi 17% dibandingkan B35. Nilai rata-rata SFC untuk mesin berbahan bakar CPO adalah 0,23 kg/kWh, sedangkan untuk B35 sebesar 0,19 kg/kWh. Peningkatan konsumsi bahan bakar ini disebabkan oleh viskositas dan densitas CPO yang lebih tinggi, sehingga proses atomisasi bahan bakar menjadi kurang optimal, mengakibatkan peningkatan jumlah bahan bakar yang digunakan untuk menghasilkan daya yang sama.

3.2 Efisiensi Termal

Efisiensi termal dihitung berdasarkan konversi energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi mekanis. Dari hasil pengujian, berdasarkan Gambar 5 efisiensi termal mesin berbahan bakar CPO lebih rendah 10,54% dibandingkan dengan B35. Mesin berbahan bakar CPO memiliki efisiensi termal rata-rata 43%, sedangkan B35 mencapai 48%. Nilai kalor bahan bakar yang lebih rendah serta viskositas yang lebih tinggi pada CPO menjadi faktor utama yang menyebabkan turunnya efisiensi termal. Viskositas yang tinggi menyebabkan pencampuran udara dan bahan bakar kurang homogen, sehingga pembakaran tidak berlangsung dengan optimal.

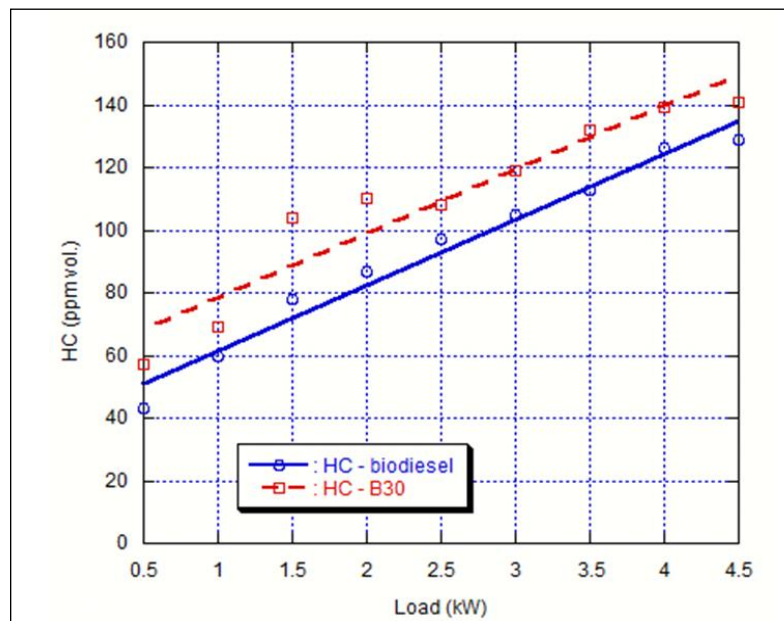


Gambar 5. Grafik Efisiensi Termal terhadap Pembebanan

Berdasarkan hasil pengujian, efisiensi termal mesin dengan bahan bakar CPO dan B35 mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya beban yang diterapkan. Fenomena ini terjadi karena efisiensi termal memiliki hubungan langsung dengan daya keluaran serta berbanding terbalik dengan jumlah bahan bakar yang dikonsumsi oleh mesin. Dengan kata lain, ketika daya keluaran menurun dan konsumsi bahan bakar meningkat, efisiensi termal juga akan menurun. Sebaliknya, jika daya yang dihasilkan meningkat sementara konsumsi bahan bakar tetap atau menurun, maka efisiensi termal akan meningkat.

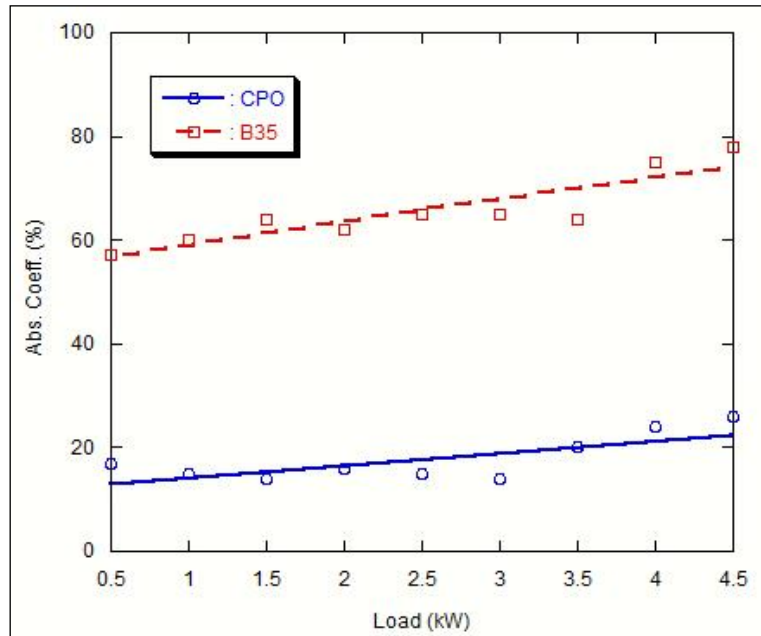
3.3 Hidrokarbon (HC) dan Opasitas Asap

Pengujian emisi gas buang meliputi pengukuran kandungan hidrokarbon (HC) dan opasitas asap. Berdasarkan grafik pada Gambar 6 dan 7, diketahui bahwa mesin berbahan bakar CPO menghasilkan emisi HC yang lebih rendah 15,4% dibandingkan B35. Nilai rata-rata emisi HC dari mesin berbahan bakar CPO adalah 88,6 ppm, sementara pada mesin berbahan bakar B35 sebesar 104,75 ppm. Selanjutnya metode pengukuran opasitas asap menggunakan opacity meter dilakukan dengan mengukur konsentrasi asap berdasarkan kekuatan cahaya yang terserap dan tersebar ketika cahaya ditampilkan langsung pada gas buang. Prinsip pengukurannya yaitu gas buang ditarik ke dalam ruang sampel dan dihitung cahaya yang terserap oleh partikel gas buang. Untuk opasitas asap, mesin berbahan bakar CPO menghasilkan nilai yang lebih rendah sebesar 72% dibandingkan B35. Absorbansi cahaya oleh partikel gas buang pada mesin berbahan bakar CPO mencapai 18%, sedangkan pada mesin berbahan bakar B35 mencapai 65%. Hal ini menunjukkan bahwa pembakaran CPO menghasilkan lebih sedikit partikel karbon dan jelaga dibandingkan B35.



Gambar 6. Grafik Emisi Hidrokarbon terhadap Pembebanan

Berdasarkan analisis dari Gambar 6 dan 7, emisi hidrokarbon (HC) yang dihasilkan oleh mesin dengan bahan bakar CPO lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar B35. Perbedaan ini terjadi karena kandungan oksigen dalam CPO yang lebih tinggi, memungkinkan pembakaran yang lebih sempurna dan mengurangi jumlah unburned fuel dalam gas buang. Hasil ini selaras dengan penelitian Sutrispok & Semesram [4], yang melaporkan bahwa CPO memiliki kandungan oksigen sekitar 11% wt, lebih tinggi dibandingkan dengan bahan bakar B35 yang hanya sekitar 2,6% wt menurut Jaroonjitsathian et al. [5]. Dengan kandungan oksigen yang lebih banyak, pembakaran di dalam ruang bakar menjadi lebih optimal, menghasilkan lebih sedikit residu bahan bakar yang tidak terbakar.



Gambar 7. Grafik Opasitas Asap terhadap Pembebanan

Temuan ini juga diperkuat oleh Oszezen et al. [12], yang menyatakan bahwa biodiesel dengan kandungan oksigen tinggi mampu meningkatkan tingkat pembakaran selama premixed phase, sehingga lebih banyak bahan bakar yang terbakar sempurna. Oleh karena itu, jumlah HC yang terdeteksi oleh gas analyzer dalam emisi mesin berbahan bakar CPO lebih rendah dibandingkan dengan B35. Selain itu, uji opasitas asap menunjukkan bahwa pembakaran CPO menghasilkan tingkat jelaga yang lebih rendah, warna asap yang dihasilkan oleh mesin berbahan bakar CPO cenderung lebih putih, bukan akibat tingginya *unburned fuel*, melainkan karena kandungan air yang lebih tinggi dalam bahan bakar CPO. Kandungan air ini menyebabkan hasil pembakaran menghasilkan partikel air dalam jumlah lebih banyak, yang kemudian terbawa ke dalam gas buang dan mempengaruhi warna asap yang dihasilkan [8-10].

4. KESIMPULAN

Secara umum, penggunaan bahan bakar CPO berkontribusi pada peningkatan daya, torsi, dan konsumsi bahan bakar spesifik masing-masing sebesar 2,55%; 2,55%; dan 17%. Namun, jika dibandingkan dari segi efisiensi termal, emisi hidrokarbon (HC), serta opasitas asap, bahan bakar CPO menunjukkan hasil yang lebih rendah, yakni berturut-turut sebesar 10,54%, 15,4%, dan 72% dibandingkan dengan bahan bakar B35. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh karakteristik CPO yang memiliki nilai kalor lebih rendah serta viskositas dan densitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan B35. Akibatnya, proses atomisasi bahan bakar menjadi kurang optimal, yang berdampak pada pencampuran udara dan bahan bakar di dalam ruang pembakaran. Kondisi ini dapat mengurangi efisiensi pembakaran secara keseluruhan. Namun demikian, tingginya kandungan oksigen dalam CPO berkontribusi terhadap peningkatan kualitas pembakaran, yang berimplikasi

pada daya dan torsi yang lebih besar dibandingkan dengan bahan bakar B35. Hasil penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa kandungan oksigen yang lebih tinggi dalam biodiesel dapat meningkatkan reaktivitas pembakaran dan mengoptimalkan proses difusi bahan bakar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada LPPM UPN “Veteran” Jawa Timur dan PT Sinar Mas Agro Resources and Technology Tbk (PT SMART Tbk) atas dukungannya sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPH Migas. Kuota dan realisasi jenis BBM tertentu [Internet]. 2025 [cited 2025 Mar 19]. Available from: <http://www.bphmigas.go.id/kuota-dan-realisasi-jenis-bbm-tertentu#tahun2025>
- [2] Kunchahyo P, Fathallah M, Semin AZ. Analisa prediksi potensi bahan baku biodiesel sebagai suplemen bahan bakar motor diesel di Indonesia. *Jurnal Teknik POMITS*. 2013;2(1):62–6.
- [3] Badan Pusat Statistik. Statistik kelapa sawit Indonesia 2021. Jakarta: BPS Republik Indonesia; 2023.
- [4] Suthisripok, Semsamran. The impact of biodiesel B100 on a small agricultural diesel engine. *Tribology International*. 2018;128:397–409.
- [5] Jaronjitsathian S, Noomwongs N, Boonchukosol K. Comprehensive experimental study on the effect of biodiesel/diesel blended fuel on common-rail DI diesel engine technology. *Int J Automot Technol*. 2016;17(2):289–98.
- [6] Pal A, Verma A, Kachhwaha SS, Maji S. Biodiesel production through hydrodynamic cavitation and performance testing. *Renew Energy*. 2010;35:619–24.
- [7] Hasimoglu C, Ciniviz M, Ozsert I, Ic-ingur A, Parlak Y, Salman MS. Performance characteristics of a low heat rejection diesel engine operating with biodiesel. *Renew Energy*. 2008;33:1709–15.
- [8] Aydin H, Ilkilic C. Effect of ethanol blending with biodiesel on engine performance and exhaust emissions in a CI engine. *Appl Therm Eng*. 2010;30:1199–204.
- [9] Najafi G, Ghobadian B, Yusaf T, Rahimi H. Combustion analysis of a CI engine performance using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network aid. *Am J Appl Sci*. 2007;4(10):756–64.
- [10] Gogoi TK, Baruah DC. A cycle simulation for predicting the performance of a diesel engine fuelled by diesel and biodiesel blends. *Energy*. 2010;35:1317–23.
- [11] Altiparmak D, Deskin A, Koca A, Gürü M. Alternative fuel properties of tall oil fatty acid methyl ester-diesel fuel blends. *Bioresour Technol*. 2007;98:241–6.
- [12] Ozsezen H, Canakci M, Turkcan A, Sayin C. Performance and combustion characteristics of a DI diesel engine fueled with waste palm oil and canola oil methyl esters. *Fuel*. 2008;88:629–36.