



Jurnal Teknologi Maritim Volume 8 No 1 Tahun 2024
15 Oktober 2024 / 28 Oktober 2024 / 28 Oktober 2024

Jurnal Teknologi Maritim

<http://jtm.ppns.ac.id>

Pengaruh Rasio Bahan Bakar *Multi-feedstock* Biodiesel Terhadap Nilai Emisi Gas Buang Pada Mesin Diesel 4 Langkah

Aminatus Sa'diyah^{1*}, Ahmad Anda Aulatama¹, Muhammad Shah¹, Muhammad Anis Mustaghfirin¹, Muchammad Nidhor Fairuza¹, Edi Haryono¹

¹Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia

Abstrak. Uji emisi gas buang adalah metode untuk menentukan tingkat polutan udara yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor. Pengujian ini dapat diterapkan pada mesin bensin dan diesel. Dalam penelitian ini, analisis dilakukan kepada mesin diesel *four-stroke* menggunakan bahan bakar biodiesel yang berasal dari berbagai bahan dasar seperti minyak jelantah, minyak bunga matahari, dan minyak kelapa sawit. Penelitian ini bertujuan untuk menilai efektivitas biodiesel sebagai alternatif bahan bakar untuk mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Fokus utama adalah memantau emisi gas buang, termasuk nitrogen oksida (NO_x) dan karbon monoksida (CO), guna memahami sejauh mana biodiesel mampu mengurangi polusi udara dibandingkan bahan bakar diesel konvensional. Studi ini menunjukkan bahwa biodiesel dari berbagai sumber memiliki potensi signifikan dalam mengurangi emisi gas berbahaya, khususnya NO_x dan CO. Analisis lebih lanjut dilakukan untuk menentukan biodiesel yang paling efisien sebagai pengganti bahan bakar diesel konvensional menggunakan rasio B35 dan B100 sebagai pembandingan dengan Pertamina Dex. Metode dalam pengumpulan data pada uji emisi menggunakan CO meter dan *Gas Analyzer*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biodiesel B100 menghasilkan emisi CO yang lebih rendah, yakni 474 ppm, dibandingkan dengan bahan bakar Pertamina Dex yang menghasilkan 547 ppm, pada kondisi maksimum beban dan putaran mesin 1400 RPM. Temuan ini menegaskan bahwa biodiesel B100 adalah pilihan yang lebih ramah lingkungan dalam upaya mengurangi polusi udara.

Katakunci: Emisi gas buang, rasio, biodiesel, multi-feedstock, mesin diesel

Abstract. The exhaust emission test is a method for determining the level of air pollutants produced by motorized vehicles. This test can be applied to petrol and diesel engines. In this research, analysis was carried out on a four-stroke diesel engine using biodiesel fuel derived from various base materials such as cooking oil, sunflower oil, and palm oil. This research aims to assess the effectiveness of biodiesel as an alternative fuel to reduce negative environmental impacts. The main focus is monitoring exhaust emissions, including nitrogen oxides (NO_x) and carbon monoxide (CO), to understand how much biodiesel can reduce air pollution compared to conventional diesel fuel. This study shows that biodiesel from various sources has significant potential in reducing harmful gas emissions, especially NO_x and CO. The use of biodiesel is not only expected to reduce exhaust

Email Korespondensi: am.sadiyah@ppns.ac.id

doi: 10.35991/jtm.v8i1.48

emissions but also contribute to environmental sustainability goals. Further analysis was carried out to determine which ratio of biodiesel are the most efficient as a substitute for conventional diesel fuel with ratio B35 and B100 comparing to Pertamina Dex. The method for collecting data on emission tests uses a CO meter and Gas Analyzer. The research results show that B100 biodiesel produces lower CO emissions, namely 474 ppm, compared to Pertamina Dex fuel which produces 547 ppm, under conditions of maximum load and engine speed of 1400 RPM. These findings confirm that B100 biodiesel is a more environmentally friendly choice in efforts to reduce air pollution.

Keywords: exhaust gas emissions, ratio, biodiesel, multi-feedstock, diesel engine

Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan pada mesin diesel, biasanya dihasilkan dari minyak nabati seperti minyak sawit dan minyak kelapa. Keunggulan biodiesel adalah memiliki kandungan sulfur yang rendah sehingga menghasilkan polutan yang lebih sedikit dan emisi yang lebih jernih tanpa bau yang menyengat (Neolaka, 2023). Dibandingkan dengan bahan bakar berbasis minyak bumi, biodiesel memiliki beberapa keunggulan, termasuk fakta bahwa biodiesel dapat diproduksi secara lokal dari sumber minyak nabati atau lemak alami yang tersedia. Proses produksi dan penggunaannya lebih ramah lingkungan karena menghasilkan lebih sedikit emisi CO, NOx, sulfur dan senyawa mudah terbakar lainnya, serta biodiesel lebih mudah terurai di alam. Penggunaan biodiesel juga dapat mengurangi pencemaran tanah dan melindungi sumber air minum dan lingkungan perairan (Devita, 2015).

Namun biodiesel yang dihasilkan dari minyak sawit sering dikaitkan dengan masalah deforestasi. Selain itu, kandungan energi biodiesel 11% lebih rendah dibandingkan solar, sehingga menghasilkan lebih sedikit energi. Permasalahan lain dalam penyimpanan biodiesel adalah kualitas oksidasinya yang buruk, minyak sawit mengandung asam lemak yang cenderung mengental dan menyumbat mesin jika disimpan terlalu lama (Rahmat, 2019).

2. Tinjauan Pustaka

Minyak jelantah berpotensi menjadi bahan bakar biodiesel dengan biaya produksi 35% lebih murah dibandingkan biodiesel yang berasal dari CPO dan mampu menurunkan emisi CO₂ hingga 91,7% dibandingkan solar. Namun minyak jelantah mengandung asam lemak bebas yang cukup tinggi sehingga diperlukan katalis asam yang homogen untuk proses transesterifikasi (EBTKE, 2021). Minyak bunga matahari dengan kandungan lipid 45-50% juga dapat dimanfaatkan sebagai biodiesel. Pengolahannya meliputi dekalsifikasi, esterifikasi dan transesterifikasi, dengan metil ester sebagai produk akhir. Kualitas biodiesel dipengaruhi oleh kandungan asam lemak, air, fosfor, dan antioksidan (Utami, 2019). Menurut (Malik et al., 2021) menjelaskan bahwa harga minyak bunga matahari tergolong murah untuk digunakan sebagai bahan baku biodiesel untuk proses transesterifikasi serta dapat mengurangi pencemaran lingkungan. Berdasarkan penelitian (Wahyudi et al., 2019) menunjukkan bahwa solar yang dikombinasikan dengan biodiesel dari minyak jelantah dan minyak jarak pada pengaruh kinerja mesin selalu menghasilkan energi lebih rendah dibandingkan dengan bahan bakar diesel murni.

Pada penelitian (Rianto, 2022) menjelaskan analisis unjuk kerja mesin diesel laut dua langkah pada kondisi beban ballast, beban setengah dan beban penuh menggunakan biodiesel

multigrade dengan perpaduan antara bahan dasar minyak jelantah, minyak kelapa, dan minyak sawit yang diuji pada mesin mesin diesel laut dua langkah dengan bahan bakar Pertamina Dex 20%, 30%, dan 100%. Bahan bakar B100 memiliki nilai tenaga dan torsi paling optimal. Bahan bakar B30 memiliki nilai optimal pada nilai gsfc yang diperlukan. Bahan bakar B100 merupakan bahan bakar paling optimal untuk kinerja mesin diesel kelautan *two-stroke* dari torsi, tenaga, dan nilai gsfc.

Dalam penelitian bertajuk Analisis Kinerja Mesin Diesel Menggunakan Intake Port Air Humidifiers untuk Mengurangi Emisi NOx Berdasarkan Eksperimen (Firnanda 2018), diperoleh hasil bahwa dengan memasang pelembab udara pada saluran masuk mesin diesel, emisi NOx yang dihasilkan saat beban berkurang sebesar 25 % sampai 22% atau 0,389 g/kWh. Pada beban 50%, pengurangannya mencapai 28% atau 0,426 g/kWh. Pada beban 75%, terjadi penurunan sebesar 27% atau 0,367 g/kWh. Pada beban 100%, motor kehilangan 0,133 g/kWh, penurunan sebesar 14%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa nilai rata-rata emisi NOx dapat ditekan hingga 0,328 g/kWh atau mencerminkan penurunan sebesar 23%. Tingkat emisi diesel Advanced Air Humidifier menunjukkan kemampuannya untuk mempertahankan kepatuhan TIER 3, dengan nilai NOx yang jauh lebih rendah. Selain itu, penelitian bertajuk Studi Eksperimental Emisi Mesin Diesel Laut Dua Langkah Berbahan Bakar Campuran Limbah Diesel (HSD) dan Limbah Biodiesel pada Simulasi Beban Penuh di Darat (Witjonarko; dan Haryono 2017) memperoleh hasil setelah penerapan emisi gas. Percobaan pengujian emisi mesin diesel dengan menggunakan campuran bahan bakar biodiesel, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut tentang konsentrasi CO₂, SO₂ dan CO bila menggunakan bahan bakar HSD jenis berbeda yaitu B10, B20 dan B30, konsentrasi gas buang tertinggi terendah B30, diproduksi untuk semua siklus mesin. Konsentrasi SO₂ dan CO masih pada konsentrasi sangat aman sesuai standar emisi MARPOL Level 1 dan 2 Annex VI 1999. Nilai maksimum yang diperbolehkan adalah 15.000 ppm untuk konsentrasi SO₂ dan 5 g/kWh untuk konsentrasi CO.

Kajian berikut berfokus pada emisi CO dan NOx pada gas buang kendaraan dengan menggunakan katalis tembaga berpori yang dimodifikasi (Berporitermodifikasi 2015), menjelaskan bahwas gas CO atau karbon monoksida merupakan salah satu gas beracun yang terbentuk dari alam yang terbakar sempurna. Penelitian bertajuk “Analisis Kinerja Mesin Diesel Laut Dua Langkah Berbahan Bakar Campuran Minyak Goreng Bekas (HSD) dan Biodiesel pada Beban Penuh di Simulator” mengeksplorasi campuran minyak jelantah dengan bahan bakar Pertamina Dex dalam berbagai komposisi. B10, B20 dan B30. Karakteristik biodiesel dari minyak jelantah yang dicampur HSD mempunyai titik nyala 176°C, viskositas pada suhu 40°C sebesar 8,09 cSt dan nilai kalor sebesar 9325 Cal/gr. Penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan proporsi limbah biodiesel pada campuran HSD menghasilkan peningkatan viskositas yaitu 2,90 cSt pada B10, 3,23 cSt pada B20, dan 3,71 cSt pada B30. Sebaliknya nilai kalor dan titik nyala sama-sama mengalami penurunan, yaitu nilai kalor B10 sebesar 10,764 Cal/gr, B20 sebesar 10,657 Cal/gr, dan B30 sebesar 10,450 Cal/gr, titik d Suhu nyala sebesar 77°C di B10 , 79°C pada B20 dan 85°C pada B30 (Haryono dkk., 2017). Tabel di bawah ini menyajikan standar emisi mesin diesel berdasarkan kapasitas dan jenis bahan bakar.

Tabel 1 Tabel Baku Mutu Emisi Mesin

Kapasitas	Bahan Bakar	Parameter	Kadar Max.
101-500 KW	Minyak	Nox	3400 mg/Nm ³

501-1000 KW	Gas	CO	170 mg/Nm ³
		NOx	300 mg/Nm ³
	Minyak	CO	450 mg/Nm ³
		Nox	1850 mg/Nm ³
		CO	77 mg/Nm ³
		Partikulat	95 mg/Nm ³
1001-3000 KW	Gas	SO ₂	160 mg/Nm ³
		Nox	300 mg/Nm ³
	Minyak	CO	250 mg/Nm ³
		SO ₂	150 mg/Nm ³
		Nox	2300 mg/Nm ³
		CO	168 mg/Nm ³
Gas	Partikulat	90 mg/Nm ³	
	SO ₂	150 mg/Nm ³	
	Nox	285 mg/Nm ³	
	CO	250 mg/Nm ³	
		SO ₂	60 mg/Nm ³

(Sumber : (Kementerian LHK Republik Indonesia, 2021))

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan biodiesel multifeed berbahan dasar kombinasi antara minyak sawit mentah (CPO), minyak jelantah, dan minyak bunga matahari. Kinerjanya akan dibandingkan dengan biodiesel dan pengujian akan dilakukan pada mesin diesel *four-storke*.

3. Metode

Penelitian ini menggunakan metode pengujian pada mesin diesel 4 tak dan bahan bakar biodiesel multifuel. Pengujian dilakukan pada tiga variasi putaran mesin yaitu 750 rpm, 1000 rpm, dan 1500 rpm. Beban tersebut diterapkan pada mesin diesel yang dihubungkan dengan genset dengan menggunakan variasi beban lampu berupa 1000 watt, 2000 watt, dan 3000 watt serta masing-masing menggunakan komposisi B20, B35, dan B100. Berdasarkan penelitian (Rochman, 2021) berjudul “Analisis kinerja mesin diesel laut *four-storke* yang menggunakan campuran bahan bakar solar dan biodiesel dari ampas tahu” menggunakan metode yang sama seperti lainnya. Variabel beban yang berbeda diperkenalkan saat pembebanan 500 watt, 1000 watt, lampu 1500 watt dan 2000 watt, khusus untuk mengetahui kinerjanya. Uji emisi bertujuan untuk mengukur konsentrasi beberapa molekul, termasuk nitrogen oksida (NOx), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan materi partikulat.

Penelitian ini memanfaatkan metode *direct reading* dengan perangkat Gas Analyzer. Alat ini bekerja dengan mengambil sampel gas dari probe, kemudian mengarahkan sampel tersebut ke sel-sel analisis. Gas Analyzer sangat efektif untuk mengukur campuran gas seperti karbon dioksida (CO₂), oksigen (O₂), dan karbon monoksida (CO), dan alat ini juga banyak digunakan di industri manufaktur untuk mengoptimalkan proses produksi serta memastikan keselamatan. Dalam dunia otomotif, perangkat ini sering dipakai untuk mengukur emisi gas buang, guna memastikan standar emisi terpenuhi. Pengujian ini menggunakan satuan part per million (PPM) atau persen (%). Motor diesel yang digunakan berjenis motor diesel 4 langkah.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Pada penelitian ini langkah awal yang dilakukan adalah mengembangkan masalah untuk membandingkan unjuk kerja mesin diesel 4 tak yang menggunakan banyak bahan bakar biodiesel. Kemudian dilakukan pre-test untuk mengevaluasi kinerja mesin diesel yang menggunakan bahan bakar solar (Pertamina Dex), dimana data yang diperoleh akan menjadi acuan untuk membandingkan hasil pengujian dengan bahan bakar B20, B35 dan B100. Pada tahap produksi biodiesel multi bahan baku, biodiesel dihasilkan dari kombinasi antara minyak jelantah, minyak bunga matahari, dan minyak kelapa sawit (CPO) melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi, dengan komposisi pencampuran 1:1:1. Kemudian bahan bakar campuran ini diproduksi dengan proporsi berbeda yaitu 20% biodiesel multicharge dan 80% solar untuk B20, 35% biodiesel multicharge dan 65% solar untuk B35 dan 100% biodiesel multicharge untuk B100. Setelah terbentuk campuran bahan bakar, dilakukan analisa karakteristik biodiesel multi-feedstock untuk mengetahui viskositas, densitas, titik nyala, nilai kalor, dan angka sentana. Terakhir, pengujian dan pengumpulan data dilakukan berdasarkan analisis karakteristik campuran bahan bakar, terutama pada pengujian mesin diesel *four-stroke*, guna mengumpulkan data yang akan digunakan untuk menyelesaikan masalah yang telah diidentifikasi sebelumnya.

Produksi Biodiesel *Multifeedstock*

Berdasarkan penelitian (Suleman et al., 2019) menjelaskan bahwa proses pembuatan biodiesel pada umumnya melalui proses transesterifikasi, yaitu berupa reaksi antara alkohol dan senyawa ester menggunakan katalis. Proses pembuatan keseluruhan jenis biodiesel melalui tahap proses esterifikasi. Setelah melalui proses esterifikasi, masing-masing bahan melalui proses transesterifikasi. Tahap akhir dari proses pembuatan biodiesel berupa

pemurnian biodiesel. Produksi biodiesel *multifeedstock* berasal dari campuran antara biodiesel bunga matahari, biodiesel minyak jelantah, dan biodiesel dari kelapa sawit (CPO). Ketiga biodiesel tersebut diproduksi menggunakan metode yang sama yaitu proses esterefikasi, bahkan termasuk proses pencuciannya. Proses esterifikasi bertujuan untuk mengubah asam lemak basah yang telah bereaksi dengan katalis alkohol menjadi gliserol. Pada penelitian ini menggunakan methanol sebagai alkohol dan katalis basa berupa NaOH.

Produksi bahan bakar campuran biodiesel multi material menggunakan Pertamina Dex atau solar. Rasio campuran tersebut berupa 20% biodiesel dan 80% solar (B20), 35% biodiesel dan 65% solar (B35) serta 100% biodiesel dengan 0% solar (B100). Analisis karakteristik biodiesel multifeedstock dilakukan setelah pembuatan bahan bakar B20, B35, dan B100. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui nilai kalor, viskositas, densitas, angka setana, dan titik nyala setiap persentase biodiesel multigrade.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa Karakteristik *multi-feedstock*

Tahap berikutnya melibatkan pengujian bahan bakar biodiesel multi-feedstock, yaitu B20, B35, dan B100, serta minyak solar (HSD) dengan merek Pertamina Dex, di laboratorium. Hasil pengujian karakteristik bahan bakar dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini.

Tabel 2 Nilai Karakteristik masing-masing bahan bakar

Bahan Bakar	Properties	Nilai	Unit
Pertamina	Titik nyala	55	°C
Dex	Massa jenis	820-860	kg/m ³
	Viskositas	2,0-4,5	cSt
	Angka setana	51(min)	-
	Nilai kalor	10,401	cal/g
Biosolar	Titik nyala	52	°C
	Massa jenis	815-880	kg/m ³
	Viskositas	2,0-5,0	cSt
	Angka setana	49(min)	-
B20	Nilai kalor	-	cal/g
	Titik nyala	58	°C
	Massa jenis	844	kg/m ³
	Viskositas	1,84286	cSt
B35	Angka setana	>62,5	-
	Nilai kalor	10,675	cal/g
	Titik nyala	65	°C
	Massa jenis	864	kg/m ³
B100	Viskositas	1,83298	cSt
	Angka setana	>62,5	-
	Nilai kalor	10,473	cal/g
	Titik nyala	131	°C
	Massa jenis	884	kg/m ³
	Viskositas	2,38445	cSt
	Angka setana	>62,5	-
	Nilai kalor	9,520	cal/g

Berdasarkan Tabel 3, titik nyala pada biodiesel B20, B35, dan B100 menunjukkan nilai flash point yang lebih tinggi dibandingkan dengan Pertamina Dex. Penurunan proporsi penambahan Pertamina Dex turut menyebabkan peningkatan kepadatan. Nilai densitas ruang bakar menentukan volume bahan bakar yang disuntikkan. Nilai densitas yang lebih tinggi

menunjukkan volume bahan bakar yang disuntikkan ke dalam ruang bakar. Karena viskositas yang tinggi dapat menghambat atomisasi, sehingga memperlambat proses pembakaran, viskositas memengaruhi efisiensi atomisasi bahan bakar.

Angka setana menunjukkan kecepatan bahan bakar yang dibakar oleh mesin diesel. Angka yang lebih tinggi menunjukkan bahwa proses pembakaran lebih cepat. Bahan bakar biodiesel B100 yang dibuat dari kombinasi minyak bunga matahari, minyak kelapa sawir (CPO), dan minyak jelantah, memenuhi standar baku mutu SNI biodiesel yang menetapkan angka setana minimal sebesar 51. Angka setana biodiesel B100 lebih dari 62,5, yang menunjukkan bahwa biodiesel memiliki indeks setana yang cukup tinggi. Angka setana menunjukkan seberapa panjang rantai hidrokarbon bahan bakar; angka yang lebih tinggi menunjukkan bahwa bahan bakar lebih mudah dibakar.

Pada pengujian emisi yang dihasilkan oleh biodiesel B20, B35, dan B100, penelitian ini menggunakan Pertamina Dex sebagai data pembandingan. Emisi diuji menggunakan CO Meter, dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3 Hasil Pengujian Gas Buang Pertamina Dex

Bahan	rpm	Beban	CO (ppm)	CO (mg/Nm ³)
Pertamina Dex	1000	2000 Watt	417	521.25
	1200		337	421.25
	1400		292	365
	1000	3000 Watt	486	607.5
	1200		410	512.5
	1400		369	461.25
	1000	4000 Watt	547	683.25
	1200		501	626.25
	1400		491	613.76

Dari analisis yang disajikan pada Tabel 3 dapat disimpulkan bahwa emisi karbon monoksida (CO) berkurang ketika beban ringan dan putaran mesin (RPM) meningkat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa efisiensi pembakaran yang baik akan mengurangi jumlah CO yang dihasilkan mesin. Di bawah ini tabel hasil uji emisi menggunakan carbon monoxide meter dengan bahan bakar biodiesel B20, B35 dan B100.

Tabel 4 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Biodiesel *Multi-FeedStock* (B35)

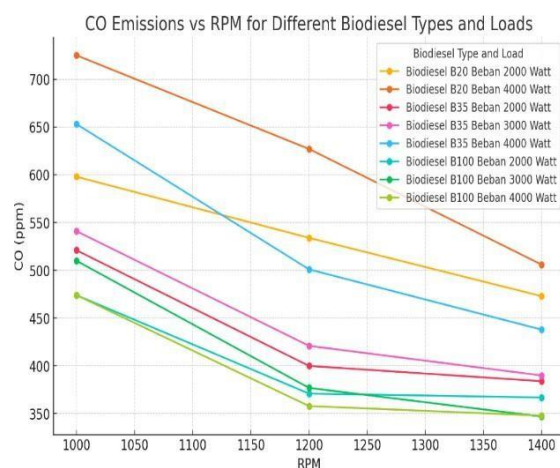
Bahan	RPM	Beban	CO (ppm)	CO (mg/Nm ³)
Biodiesel B35	1000	2000 Watt	521	651.25
	1200		400	500.0
	1400		384	480.0
	1000	3000 Watt	541	676.25
	1200		421	526.25
	1400		390	487.5
	1000	4000 Watt	653	816.25
	1200		501	626.25
	1400		438	547.5

Tabel 5 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang Biodiesel *Multi-FeedStock* (B100)

Bahan	RPM	Beban	CO (ppm)	CO (mg/Nm ³)
Biodiesel B100	1000	2000 Watt	474	592.5
	1200		371	463.75
	1400		367	458.75
	1000	3000 Watt	510	637.5
	1200		377	471.25
	1400		347	433.75
	1000	4000 Watt	474	592.5
	1200		358	447.5
	1400		348	435.0

Jika dibandingkan dengan emisi Pertamina Dex, hasil uji emisi biodiesel B20 meningkat secara signifikan dengan CO meter. Sementara emisi Pertamina Dex hanya 547 ppm, B20 memiliki emisi tertinggi 802 ppm. Nilai tertinggi karbon monoksida (CO) adalah 653 ppm dalam pengujian emisi biodiesel B35. Grafik di atas menunjukkan bahwa nilai CO lebih dekat dengan nilai CO yang diperoleh dari pengujian menggunakan Pertamina Dex. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa pembakaran lebih efisien karena emisi CO yang dihasilkan cenderung lebih rendah.

Uji emisi pada bahan bakar biodiesel B100 menunjukkan kadar CO sebesar 348 ppm pada kondisi tertinggi, yaitu 1400 RPM dan 4000 watt. Uji emisi pada variasi terendah, yaitu 1000 RPM dan 2000 watt, menunjukkan kadar CO sebesar 417 ppm, sementara Pertamina Dex menghasilkan kadar CO sebesar 491 ppm.

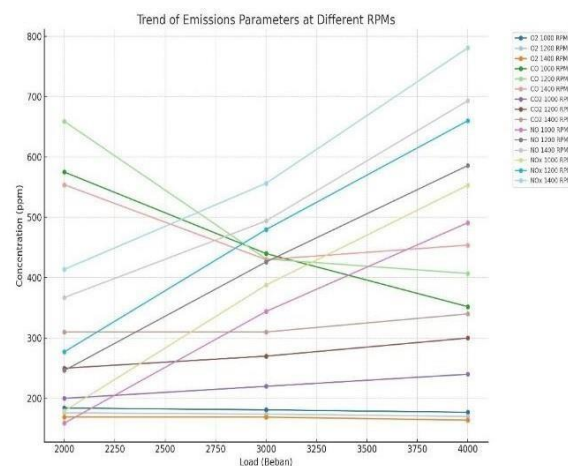


Gambar 2 Grafik Tren Nilai CO dari Multi-Feedstock Biodiesel

Gambar 2 menunjukkan tren emisi karbon monoksida (CO) dalam ppm versus kecepatan mesin (RPM) untuk berbagai jenis dan muatan biodiesel. Biodiesel B20 memiliki kandungan CO tertinggi sebesar 725 ppm pada beban 4000 watt dan putaran 1000 rpm. Sebaliknya biodiesel B100 mencatatkan kandungan CO paling rendah yaitu sebesar 348 ppm pada putaran 1.400 rpm dengan beban yang sama. Garis yang menunjukkan kadar CO tertinggi terdapat pada biodiesel B20 pada beban 4.000 watt, sedangkan garis pada biodiesel B100 pada beban 4.000 watt menunjukkan kadar CO terendah.

Secara umum, peningkatan putaran mesin untuk semua jenis biodiesel dan kondisi beban yang diuji memiliki kecenderungan untuk menurunkan emisi CO. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat CO yang dihasilkan pada berbagai kondisi beban dan RPM jauh melebihi batas maksimal yang ditentukan dalam baku mutu. Misalnya, nilai maksimum 170 mg/Nm diperbolehkan untuk generator diesel dengan kapasitas 101 hingga 500 kW. Namun, hasil pengujian menunjukkan bahwa emisi CO melebihi 500 mg/Nm pada semua kondisi beban dan RPM. Analisis tersebut menunjukkan bahwa pengujian multifuel biodiesel menunjukkan emisi karbon monoksida (CO) yang tidak memenuhi standar yang ditetapkan oleh Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Korea untuk tahun 2021. Semua jenis kapasitas produksi yang diuji memiliki kadar CO yang melebihi batas tertinggi yang diperbolehkan.

Namun, temuan menunjukkan bahwa emisi biodiesel murni (B100) lebih tinggi daripada Pertamina Dex. Hasil ini menunjukkan bahwa menggunakan biodiesel murni (B100) memiliki proses pembakaran mesin yang lebih baik. Kelemahan biodiesel termasuk kecenderungannya untuk mengendap dan membentuk endapan pada dinding silinder. Karena kelemahan ini, beberapa bisnis komersial memadukan biodiesel murni dengan minyak bumi untuk meningkatkan kinerja mesin dan mengurangi emisi sehingga lebih ramah lingkungan.



Gambar 3 Grafik Tren dari Emisi Gas Buang Biodiesel B35

Tren emisi untuk parameter NO_x, NO, CO₂, CO, dan O₂ pada putaran mesin (RPM) 1000, 1200, dan 1400, serta beban 2000 watt, 3000 watt, dan 4000 watt ditunjukkan pada Gambar 2 dan 3. Ketika beban meningkat pada semua kecepatan, parameter oksigen biasanya menurun. Nilai terendahnya terlihat pada putaran 1400 rpm dan nilai tertingginya terlihat pada putaran 1000 rpm. Nilai CO turun pada 1200 rpm dan 1000 rpm, tetapi meningkat sedikit ketika dipaksa pada 1400 rpm. Nilai terendahnya terjadi pada 1200 rpm. Dengan peningkatan beban, CO₂ cenderung meningkat pada semua kecepatan. Tingkat tertingginya adalah 1400 rpm, dan titik terendahnya adalah 1000 rpm. Sementara NO_x dan NO meningkat seiring dengan beban pada semua kecepatan, nilai mereka meningkat pada 1000 rpm dan 1400 rpm, masing-masing.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa beban dan RPM berkorelasi dengan konsentrasi emisi, terutama untuk NO_x dan NO. Sebaliknya, konsentrasi oksigen cenderung

berkurang. Meskipun ada variasi dalam konsentrasi CO dan CO₂, peningkatan beban biasanya dikaitkan dengan peningkatan beban. Konsentrasi oksigen pada 1400 rpm menunjukkan tren terendah pada grafik, sementara konsentrasi NO_x menunjukkan tren tertinggi pada 1400 rpm.

3.3. Analisis Hasil Uji Emisi dari Biosolar B35 dan Biodiesel B35 Terhadap Standart Baku Mutu

Uji emisi dilakukan untuk membandingkan mesin diesel empat stroke yang menggunakan biodiesel komersial dengan mesin multifeedstock bakar B35, uji emisi dilakukan dengan berbagai variabel, termasuk RPM dan beban lampu. Teknisi PT. Kualitas Prima Nusantara membawa alat gas analisis untuk melakukan pengujian di bengkel PPNS. Perusahaan melakukan 18 uji emisi untuk menghasilkan karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), oksida nitrat (NO), dan nitrogen oksida (NO_x). Karena alat analisis gas dioperasikan oleh teknisi bersertifikat dan hasil pengujian CO meter yang diuji oleh penulis telah diverifikasi oleh PT. Qualita Prima Nusantara, yang telah menerima akreditasi dari Komite Akreditasi Nasional (KAN), penulis dapat yakin bahwa jumlah yang diperoleh dari pengujian emisi adalah akurat. Berikut tabel hasil uji perbandingan emisi yang dihasilkan biodiesel komersial dan biodiesel multi-bahan baku B35.

Tabel 6 Hasil Pengujian Gas Buang Biosolar Pertamina Dex Menggunakan *Gas Analyzer*

Beban	Parameter	1000 RPM	1200 RPM	1400 RPM	Satuan
2000	NO _x	337	521	778	mg/m ³
	NO	213	330	492	mg/m ³
	CO ₂	200	250	310	ppm
	CO	575	659	554	ppm
	O ₂	184	176	169	ppm
3000	NO _x	729	902	1046	mg/m ³
	NO	461	571	662	mg/m ³
	CO ₂	220	270	310	ppm
	CO	440	431	430	ppm
	O ₂	181	174	169	ppm
4000	NO _x	1040	1241	1468	mg/m ³
	NO	658	785	929	mg/m ³
	CO ₂	240	300	340	ppm
	CO	352	407	454	ppm
	O ₂	177	170	164	ppm

Untuk biodiesel dengan beban 2000, 3000, dan 4000 watt, emisi karbon monoksida (CO) mencapai 1047 ppm (1308,75 mg/Nm³), 640 ppm (800 mg/Nm³), dan 408 ppm (510 mg/Nm³). Semua nilai ini melebihi batas baku mutu 168 mg/Nm³. Sebaliknya, emisi nitrogen oksida (NO_x) tercatat sebesar 485 mg/Nm³, 1.012 mg/Nm³, dan 1.242 mg/Nm³ pada beban yang sama, masing-masing di bawah standar maksimum 2.300 mg/Nm³. Oleh

karena itu, emisi CO dari biodiesel tidak memenuhi standar, sementara emisi NOx memenuhi standar.

Emisi CO untuk biodiesel melebihi batas yang diperbolehkan pada beban 2000 watt, 3000 watt, dan 4000 watt sebesar 575 ppm (718,75 mg/Nm³), 440 ppm (550 mg/Nm³), dan 352 ppm (440 mg/Nm³). Batas baku mutunya adalah 168 mg/Nm³. Pada beban yang sama, emisi NOx masing-masing mencapai 337 mg/Nm³, 729 mg/Nm³, dan 1.040 mg/Nm³, masing-masing di bawah batas standar 2.300 mg/Nm³. Oleh karena itu, biodiesel tidak memenuhi standar untuk emisi NOx, tetapi biodiesel memenuhi standar untuk emisi CO.

4. Kesimpulan

Setelah melakukan pengujian terhadap karakteristik dan kadar gas buang CO dari biodiesel dengan berbagai komposisi campuran, dapat disimpulkan bahwa variasi persen biodiesel dalam campuran memengaruhi nilai karakteristik bahan bakar. Karena lebih banyak biodiesel multi-feedstock dalam minyak solar (HSD) Pertamina Dex, titik nyala meningkat. Nilai B20 mencapai 58°C, B35 mencapai 65°C, dan B100 mencapai 131°C. Biodiesel B100 (100% biodiesel dan 0% solar) menghasilkan angka setana yang tinggi, yakni >62,5, melebihi standar minimum 51 yang ditetapkan dalam Spesifikasi Bahan Bakar Biofuel. Hal ini menunjukkan bahwa bahan bakar lebih mudah dibakar ketika angka setana lebih tinggi.

Selain itu, data menunjukkan bahwa semakin tinggi proporsi biodiesel dalam campuran, semakin besar pula densitas bahan bakar yang dihasilkan, dengan nilai densitas B20 sebesar 844 kg/m³, B35 sebesar 864 kg/m³, dan B100 sebesar 884 kg/m³. Peningkatan kadar biodiesel juga menyebabkan viskositas masing-masing bahan bakar meningkat.

Biodiesel *multi-feedstock* B100 terbukti sebagai bahan bakar yang paling efisien dan ramah lingkungan, dengan hasil pengujian CO meter yang menunjukkan kadar CO terendah pada 474 ppm pada beban maksimum dan putaran mesin 1400 RPM. Hal ini dibandingkan dengan kadar CO tertinggi pada Pertamina Dex, yang mencapai 547 ppm. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa pembakaran biodiesel B100 multi-feedstock lebih efisien dan menghasilkan emisi karbon monoksida yang lebih rendah dibandingkan dengan Pertamina Dex.

Ucapan terima kasih

Penulis menyadari bahwa penelitian mengenai uji emisi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Abdul Ghafur, S.T., M.T., selaku Ketua Lab Reparasi Mesin Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, atas arahan dan dukungannya.
2. Bapak Widodo, A.Md., selaku Penguji K3 di Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, atas dukungan dan bantuan yang telah diberikan demi kelancaran uji emisi ini.

Daftar Pustaka

Berporitermodifikasi, Katalis Tembaga. 2015. "Tujuan utama pada penelitian ini adalah

untuk mereduksi emis CO dan NO.” : 117–24.

- Devita, L. (2015). Biodiesel sebagai bioenergi alternatif dan prospektif. *Agrica Ekstensia*, 9, 23–26.
- EBTKE, H. (2021). *Peluang dan Tantangan Pemanfaatan Biodiesel Berbasis Minyak Jelantah*. <https://ebtke.esdm.go.id/post/2021/03/09/2824/peluang.dan.tantangan.pemanfaatan.biodiesel.berbasis.s.minyak.jelantah>.
- Firnanda, O M. 2018. “Analisa Performa Motor Diesel dengan Penggunaan Air Humidifier pada Intake Port untuk Mereduksi Emisi NOx Berbasis Eksperimen.” https://repository.its.ac.id/61011/%0Ahttps://repository.its.ac.id/61011/1/4213100068-Undergraduate_Theses.pdf.
- Haryono, E., Dimas, R., Witjonarko, E., Teknik, J., Kapal, P., Perkapalan, P., & Surabaya, N. (2017). *ANALISA UNJUK KERJA MESIN DIESEL KAPAL DUA LANGKAH (TWO STROKE MARINE DIESEL ENGINE) BERBAHAN BAKAR CAMPURAN MINYAK SOLAR (HSD) DAN BIODIESEL MINYAK JELANTAH PADA BEBAN SIMULATOR FULL LOAD*. 07(2).
- Malik, M. S. A., Jaafar, M. N. M., Mavalavan, N., Ismail, M. S. M., Rahim, M. R., & Said, M. (2021). Prestasi Pembakaran Biodiesel Berasaskan Minyak Bunga Matahari Ke Atas Pembakar Berbahan Api Cecair Combustion Performance Sunflower Oil Biodiesel on Liquid Fuel Burner. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 82(2), 127–145. <https://doi.org/10.37934/arfmts.82.2.127145>
- Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia. (2021). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2021 Tentang Baku Mutu Emisi Mesin Dengan Pembakaran Dalam. *Kementerian Lingkungan Hidup*, 1–32.
- Neolaka, S. (2023). *MENGENAL BIOMASSA, 3 ENERGI ALTERNATIF RAMAH LINGKUNGAN MENURUT SMKN 5 KUPANG*. <https://www.vokasi.kemdikbud.go.id/read/b/mengenal-biomassa-3-energi-alternatif-ramah-lingkungan-menurut-smkn-5-kupang>
- Rahmat, A. (2019). *Membedah Kebijakan dan Plus- Minus Penggunaan Biodiesel di Indonesia*.
- Rianto, A. R. (2022). Pengaruh Multi Feedstock Biodiesel (Minyak Kelapa Sawit, Minyak Kelapa, Minyak Jelantah) Terhadap Unjuk Kerja Two Stroke Marine Diesel Engine.
- Rochman, M. A. M. (2021). Analisis Unjuk Kerja Four Stroke Diesel Engine Dengan Bahan Bakar Campuran Solar Dan Biodiesel Dari Ampas Tahu.
- Suleman, N., Abas, & Papatungan, M. (2019). Esterifikasi dan Transesterifikasi Stearin Sawit untuk Pembuatan Biodiesel. *Jurnal Teknik*, 17(1), 66–77.
- Utami, T. (2019). *Biodiesel dari Pemanfaatan Minyak Biji Bunga Matahari sebagai Energi Alternatif Pengganti minyak bumi*. <https://iatekunsri.com/biodiesel-dari-pemanfaatan-minyak-biji-bunga-matahari-sebagai-energi-alternatif-pengganti-minyak-bumi/#:~:text=Biji bunga matahari ini juga,digunakan untuk menggantikan minyak bumi>.
- Wahyudi, W., Sarip, S., Sudarja, S., & Suhatno, H. (2019). Unjuk Kerja Mesin Diesel Berbahan Bakar Campuran Biodiesel Jarak dan Biodiesel Jelantah. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 3(1), 36–41.
- Witjonarko, Raden Dimas Endro, dan Edi Haryono. 2017. “Kajian Eksperimental Emisi Gas Buang Two Stroke Marine Diesel Engine Berbahan Dasar Campuran Solar Dan Minyak Jelantah.Pdf.” *Jurnal Inovtek Polbeng* 7(2): 84–97.