

Uji Emisi Gas buang Pada *Four Stroke Engine* Menggunakan *Multi-Feedstock Biodiesel* Dengan Penambahan Zat Aditif (2-EHN)

Aminatus Sa'diyah¹, Dede Ardiansyah Lutfi¹, Edi Haryono¹, Eky Novianarenti¹, Novan Rahmat Ramadani¹

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

Abstrak. Peningkatan emisi gas dari bahan bakar fosil yang menyebabkan efek gas rumah kaca (GRK) tidak hanya berdampak pada lingkungan, tetapi juga bisa menjadi indikator kondisi mesin diesel. Hal ini mendorong pengembangan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan emisi gas buang dari bahan bakar biodiesel *multi-feedstock* yang dibuat dari minyak kelapa sawit, minyak jelantah, dan minyak kedelai, yang dicampur dengan Pertamina Dex pada mesin diesel empat langkah. Metode yang digunakan adalah eksperimen laboratorium dengan variasi campuran B40 serta B40 yang ditambahkan aditif 2-ethylhexyl nitrate (2-EHN). Pengujian dilakukan pada kecepatan mesin 1000 RPM, 1200 RPM, dan 1400 RPM dengan beban lampu 4000 Watt. Parameter yang diuji meliputi titik nyala, densitas, viskositas, angka setana, nilai kalor, serta emisi CO, NO_x, dan SO₂. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran bahan bakar B40 dengan penambahan aditif menghasilkan performa terbaik. Hal ini ditandai dengan peningkatan karakteristik bahan bakar seperti angka setana (> 59,2), penurunan viskositas menjadi 5,78 cSt, serta emisi CO yang lebih rendah, dengan nilai tertinggi sebesar 84,89 mg/m³. Meskipun emisi NO_x mengalami sedikit peningkatan hingga 165,9 mg/m³, nilai tersebut masih jauh di bawah batas standar emisi gas buang, yaitu 3400 mg/m³.

Katakunci: Emisi gas buang, biodiesel multi-feedstock, mesin diesel empat langkah, 2-ethylhexyl nitrate.

Abstract. The increase in gas emissions from fossil fuels, which contributes to the greenhouse gas (GHG) effect, not only impacts the environment but can also serve as an indicator of diesel engine performance. This situation has driven the development of environmentally friendly alternative fuels. This study aims to analyze the characteristics and exhaust gas emissions of multi-feedstock biodiesel fuels produced from palm oil, used cooking oil, and soybean oil, blended with Pertamina Dex, when used in a four-stroke diesel engine. The method employed is a laboratory experiment involving variations of B40 biodiesel blends, including B40 with the addition of 2-ethylhexyl nitrate (2-EHN) as an additive. The tests were conducted at engine speeds of 1000 RPM, 1200 RPM, and 1400 RPM, using a 4000-watt lamp as the load. The parameters evaluated include flash point, density, viscosity, cetane number, calorific value, and the emission levels of CO, NO_x, and SO₂. The results indicated that the B40 fuel blend with the 2-EHN additive showed the best performance. This was reflected in improved fuel characteristics such as a cetane number exceeding 59.2, a reduced viscosity of 5.78 cSt,

Uji Emisi Gas buang Pada *Four Stroke Engine* Menggunakan *Multi-Feedstock Biodiesel* Dengan Penambahan Zat Aditif (2-EHN)

and lower CO emissions, with the highest value recorded at 84.89 mg/m³. Although NO_x emissions slightly increased to 165.9 mg/m³, the value remains well below the standard exhaust emission limit of 3400 mg/m³.

Keywords: Emissions from waste gas, multi-feedstock biodiesel, four-stroke diesel engine, 2-ethylhexyl nitrate.

1. Pendahuluan

Minyak bumi adalah sumber daya alam yang banyak digunakan sebagai bahan bakar utama. Sumber daya ini termasuk dalam kategori sumber daya biotik yang tidak dapat diperbarui, dengan berjalannya waktu jumlahnya akan semakin menipis. Krisis energi global dalam beberapa dekade terakhir telah memicu kenaikan tajam harga bahan bakar minyak (BBM). Aktivitas eksplorasi minyak yang berlangsung secara terus-menerus juga mempercepat penurunan cadangan minyak bumi. Indonesia memiliki sisa cadangan minyak bumi diperkirakan hanya sekitar 7,99 miliar barel. Tingkat produksi mencapai 346 juta barel per tahun, cadangan ini diperkirakan hanya akan mencukupi kebutuhan energi nasional selama 23 tahun ke depan (Persulesy et al., 2022).

Proses pembakaran bahan bakar minyak (BBM), baik di sektor industri maupun kendaraan bermotor, menghasilkan gas karbon dioksida (CO₂) yang merupakan salah satu jenis gas rumah kaca. Gas ini menyumbang terhadap terjadinya pemanasan global. Seiring dengan pertumbuhan jumlah industri dan alat transportasi di seluruh dunia, penggunaan BBM pun turut mengalami peningkatan. Dampak lingkungan yang paling nyata adalah meningkatnya suhu permukaan bumi atau yang dikenal sebagai pemanasan global. Pemanasan global ini terjadi akibat meningkatnya efek gas rumah kaca (GRK) di atmosfer (Kurniarahma et al., 2020).

Bioenergi atau biofuel adalah bahan bakar transportasi berbasis komoditi pertanian yang biasanya digunakan untuk bahan makanan produk bahan bakar bioenergi yang paling dikenal secara komersial adalah bioetanol dan biodiesel. Biofuel atau bahan bakar bioenergi merupakan jenis bahan bakar untuk transportasi yang berasal dari komoditas pertanian, yang umumnya juga digunakan sebagai bahan pangan. Produk komersial bahan bakar bioenergi yang populer adalah bioetanol dan biodiesel (Devita et al., 2015).

Mengacu pada uraian latar belakang mengenai bahaya dan dampak negatif dari penggunaan bahan bakar fosil secara terus-menerus, jelas bahwa ancaman terhadap kesehatan manusia akan terus berlanjut jika tidak segera diatasi (Arifardhani, 2024). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menguji kinerja biodiesel multi-feedstock yang telah dioptimalkan melalui penambahan zat aditif 2-EHN (2-ethylhexyl-nitrate). Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan emisi gas buang antara campuran biodiesel dan bahan bakar fosil. Pengujian dilakukan menggunakan campuran biodiesel dan solar sebanyak 40% (B40). Diharapkan hasil penelitian ini dapat mengungkapkan kandungan emisi gas dari campuran tersebut dan menunjukkan potensi penggunaannya sebagai alternatif pengganti bahan bakar fosil.

Uji Emisi Gas buang Pada *Four Stroke Engine* Menggunakan *Multi-Feedstock Biodiesel* Dengan Penambahan Zat Aditif (2-EHN)

2. Tinjauan Pustaka

Biodiesel umumnya dibuat dengan proses kimia yang disebut transesterifikasi atau esterifikasi, yaitu reaksi antara senyawa ester dengan alkohol dengan bantuan katalis. Bahan bakar biodiesel berasal dari minyak nabati yang berasal dari sumber daya alam yang dapat diperbarui (Ulfa et al., 2022). Beberapa bahan yang dapat dijadikan sebagai bahan baku biodiesel meliputi minyak dari kelapa sawit, kedelai, bunga matahari, jarak pagar, alpukat, tebu, dan berbagai jenis tanaman lainnya. Selain itu, biodiesel juga dapat diproduksi dari sumber lain seperti lemak hewani, minyak jelantah, maupun lemak hasil daur ulang. Seluruh bahan baku tersebut memiliki kandungan utama berupa trigliserida, asam lemak bebas (ALB), serta sejumlah senyawa pengotor lainnya (Suryatini et al., 2023).

Proses produksi biodiesel, memerlukan salah satu bahan penting yang digunakan yaitu Metanol. Metanol adalah jenis alkohol yang paling umum dipakai untuk bereaksi dengan minyak nabati, meskipun jenis lain seperti etanol, isopropanol, dan butanol juga dapat digunakan (Kapuji et al., 2021). Namun, kandungan air dalam alkohol wajib diperhatikan, karena jika terlalu tinggi, dapat menurunkan mutu biodiesel. Hal tersebut biasanya ditandai dengan naiknya kadar sabun, asam lemak bebas (ALB), dan trigliserida dalam produk akhir. Selain alkohol, proses transesterifikasi juga membutuhkan katalis untuk mempercepat reaksi, karena alkohol tidak dapat bercampur sempurna dengan minyak. Katalis yang sering digunakan umumnya bersifat basa kuat, seperti natrium hidroksida (NaOH), kalium hidroksida (KOH), atau natrium metoksida. Pemilihan jenis katalis biasanya disesuaikan dengan sifat atau karakteristik dari minyak nabati yang digunakan. (Devita et al., 2015).

Strategi yang dapat dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi sekaligus memastikan ketersediaan bahan baku adalah penggunaan biodiesel berbasis *multi-feedstock*. Pendekatan ini menggabungkan banyak jenis minyak, seperti minyak kelapa sawit, minyak jelantah, dan minyak kedelai, dengan tujuan menghasilkan biodiesel yang memiliki karakteristik fisik dan kimia yang lebih stabil (Paloboran, 2025). Minyak kelapa sawit dan minyak jelantah memiliki sifat yang cukup mirip, karena keduanya mengandung trigliserida dan asam lemak bebas, sehingga sangat memungkinkan sebagai alternatif bahan baku biodiesel. Sementara itu, minyak kedelai yang berasal dari tanaman kacang-kacangan juga berkualitas dan cocok digunakan dalam proses produksi biodiesel (Helbawanti et al., 2023).

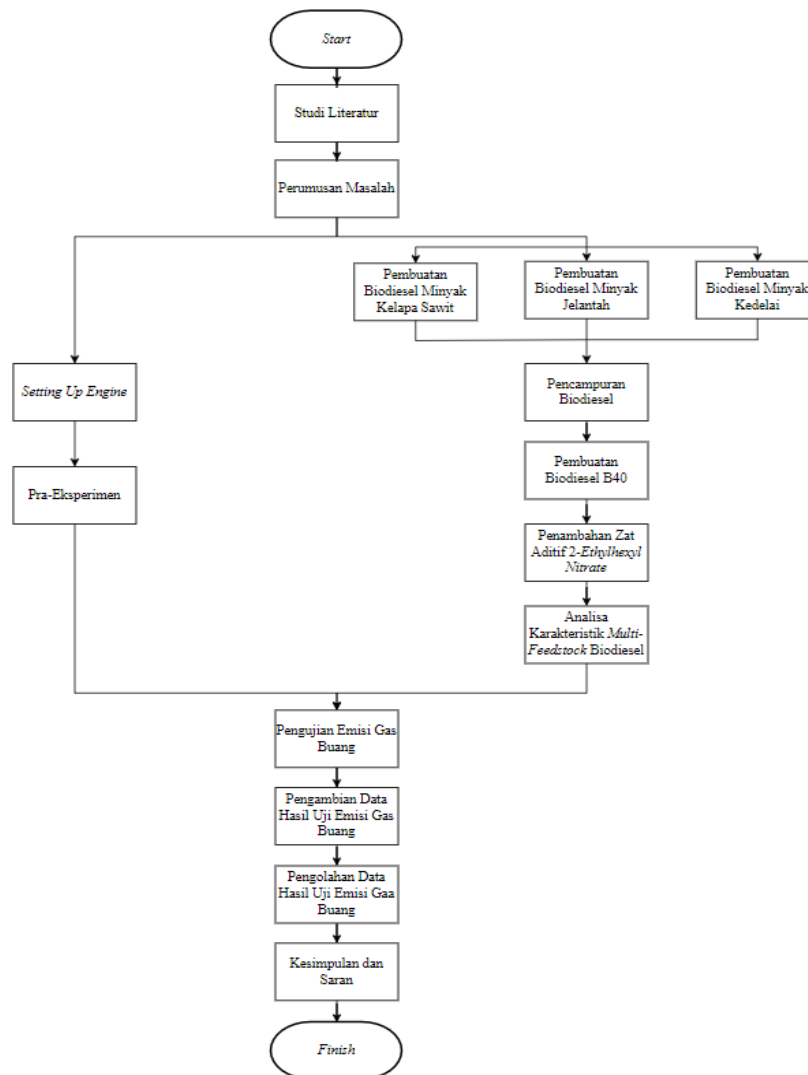
Penambahan zat aditif seperti 2-Ethylhexyl Nitrate (2-EHN) digunakan untuk meningkatkan performa bahan bakar biodiesel berbasis *multi-feedstock*. Zat aditif ini adalah senyawa turunan dari etil heksana, di mana salah satu atom hidrogennya digantikan gugus nitrat (NO_3) (Kuszewski, H., & Jaworski, A. 2024). Fungsi utama dari 2-EHN adalah untuk memperbaiki proses pembakaran bahan bakar di dalam mesin. Penggunaannya membuat pembakaran menjadi lebih sempurna, kualitas nyala mesin meningkat, gejala *knocking* dapat ditekan, dan kinerja mesin secara keseluruhan menjadi lebih optimal (Dianto et al., 2023).

3. Metode

Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS). Bahan bakar yang digunakan merupakan biodiesel *multi-feedstock*, yang dibuat dari campuran minyak kelapa sawit, minyak jelantah, dan minyak kedelai dengan perbandingan seimbang 1:1:1. Selanjutnya, campuran biodiesel tersebut dicampur lagi dengan solar (Pertamina Dex) untuk menghasilkan tiga jenis bahan bakar, yaitu B40 adalah 40% multifeedstock biodiesel dan 60% biosolar. Jenis bahan bakar multifeedstock biodiesel kemudian ditambahkan zat aditif

Uji Emisi Gas buang Pada *Four Stroke Engine* Menggunakan *Multi-Feedstock Biodiesel* Dengan Penambahan Zat Aditif (2-EHN)

(2-EHN) dengan konsentrasi 3% dari masing-masing volume multifeedstock biodiesel yang telah dicampurkan. Proses pencampuran dilakukan dengan bantuan pipa pengaduk agar semua komponen tercampur secara merata dan menghasilkan campuran yang homogen. Metode dalam penelitian ini akan dicantumkan dalam diagram alir pada Gambar 1



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Penelitian ini berkaitan dengan karakteristik bahan bakar dan emisi gas buang yang didapatkan dari proses pembakaran pada *diesel engine* empat langkah, Ketika ditambahkan dengan zat aditif 2 EHN (2-Ethylhexyl Nitrate). Proses pembuatan biodiesel terdapat standar mutu yang baku sebagai parameter biodiesel tersebut layak atau tidak untuk digunakan. Standar baku mutu biodiesel merupakan acuan penting untuk menjamin kualitas dan performa bahan bakar biodiesel yang digunakan dengan aman dan efisien. Tabel 1 standar baku mutu biodiesel merupakan tabel parameter seperti angka setana, viskositas, kadar air, kadar gliserin, dan titik nyala. Parameter ini memiliki batas maksimum dan minimum

Uji Emisi Gas buang Pada *Four Stroke Engine* Menggunakan *Multi-Feedstock Biodiesel* Dengan Penambahan Zat Aditif (2-EHN)

untuk memastikan biodiesel memenuhi syarat teknis yang dibutuhkan untuk mesin diesel standar yang digunakan sebagai alternatif ramah lingkungan. Standar baku mutu biodiesel ditunjukkan pada tabel 1 menurut Nasional, B. S. (2015).

Tabel 1 Standar baku mutu biodiesel

No.	Parameter uji	Satuan, min/maks	Persyaratan
1	Massa jenis pada 40°C	Kg/m ³	850-890
2	Viskositas kinematic pada 40°C	mm ² /s (cSt)	2,3 – 6,0
3	Angka setana	Min	51
4	Titik nyala	°C, min	100
5	Titik kabut	°C, maks	18
6	Korosi lempeng tembaga (3 jam pada 50°C)		Nomor 1
7	Residu karbon - Dalam percontoh asli; atau - Dalam 10% ampas	%-massa, maks	0,05 0,3
8	Air dan sendimen	%-volume, maks	0,05
9	Temperatur distilasi 90%	°C, maks	360
10	Abu tersulfatkan	%-massa, maks	0,02
11	Belarang	mg/kg, maks	50
12	Fosfor	mg/kg, maks	4
13	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,5
14	Gliserol bebas	%-massa, maks	0,02
15	Gliserol total	%-massa, maks	0,24

Mesin yang akan digunakan pada pengujian adalah jenis mesin diesel 4 langkah. Pada gambar 2 adalah mesin diesel yang digunakan sebagai media pengujian bahan bakar *multi feedstock biodiesel*

Uji Emisi Gas buang Pada *Four Stroke Engine* Menggunakan *Multi-Feedstock Biodiesel* Dengan Penambahan Zat Aditif (2-EHN)



Gambar 2 Diesel Engine Jiangdong ZH1115N dikopel dengan generator

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Analisa karakteristik bahan bakar *multi feedstock* biodiesel

Hasil analisis karakteristik *Multi-feedstock* biodiesel (B40 dan B40 dengan penambahan zat aditif 3%) adalah sebagai berikut pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil analisis uji karakteristik biodiesel

Bahan Bakar	Titik Nyala (°C)	Densitas (kg/m ³)	Viskositas at 40°C (cSt)	Angka Setana	Nilai Kalor (Kkal/Kg)	Sumber
Biosolar	52	815-880	2,0 - 5,0	49 (min)	-	(Aulatama, 2024)
Pertamina Dex	55	820-860	2,0 - 4,5	51 (min)	10,401	(Aulatama, 2024)
B40	67	872	7,87	58 (min)	10,296	Dokumentasi penelitian
B40 + 3% (2-EHN)	66	876	5,78	>59,2	10,394	Dokumentasi penelitian

Berdasarkan Tabel 2 penambahan zat aditif 2-EHN pada bahan bakar *multi feedstock* B40 dapat dilihat pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik bahan bakar. Zat aditif ini mampu menurunkan nilai viskositas sekaligus meningkatkan angka setana. Penurunan viskositas sangat penting untuk memperbaiki atomisasi bahan bakar karena viskositas yang tinggi dapat menghambat pembentukan kabut bahan bakar yang halus sehingga dapat memperlambat laju pembakaran dalam ruang bakar. Pada Tabel 2 dapat dilihat ketika nilai viskositas tinggi maka akan semakin sulit bahan bakar mencapai titik nyala. Pada uji

Uji Emisi Gas buang Pada *Four Stroke Engine* Menggunakan *Multi-Feedstock Biodiesel* Dengan Penambahan Zat Aditif (2-EHN)

karakteristik bahan bakar B40 memiliki nilai viskositas tertinggi dibandingkan bahan bakar lainnya dan memiliki titik nyala sebesar 67°C. Selain menurunkan viskositas 2-EHN juga dapat menurunkan titik nyala, sehingga dapat mempercepat inisiasi pembakaran. Dengan demikian penambahan zat aditif 2-EHN memberikan peningkatan kualitas pada bahan bakar B40.

3.2 Analisa hasil pengujian emisi gas buang multifeedstock biodiesel

Pada pengujian emisi menggunakan biosolar dan biodiesel pada *four stroke diesel engine* menggunakan *Gas Analyzer* dan menggunakan satuan mg/Nm^3 . Hasil uji emisi menggunakan *Gas Analyzer* dengan pembebanan sumber tidak bergerak yakni lampu 4000 watt dapat dilihat pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3 Hasil pengujian emisi gas buang dengan pembebanan 4000 watt

Bahan bakar	Parameter	RPM			Satuan
		1000	1200	1400	
B40	CO	72	60	124	ppm
	NO ₂	55.7	21.5	31.8	ppm
	NO	26	43	50	ppm
	NOx	81.7	64.5	81.8	ppm
	SO ₂	61	23	32	ppm
	Temperatur	333.15	385.95	458.45	°K
	Tekanan	756.4	757.2	758	mmHg
	Tekanan	0.995263	0.9963158	0.997368	atm
B40 + 2-EHN	CO	40	44	118	ppm
	NO ₂	68.9	46.5	61.2	ppm
	NO	53	77	113	ppm
	NOx	121.9	123.5	174.2	ppm
	SO ₂	76	53	67	ppm
	Temperatur	348.25	408.85	472.55	°K
	Tekanan	757.1	756.8	756.8	mmHg
	Tekanan	0.996184	0.995789	0.996316	atm

Hasil pengujian emisi gas buang dengan variable RPM dan pembebanan lampu 4000 watt dengan satuan ppm (part per million), analisi perbandingan kualitas emisi bahan bakar perlu dilakukan konversi satuan untuk memenuhi standarisasi baku mutu permen LHK nomor 11 tahun 2021 , konversi ppm(gas) menjadi mg/m^3 maka dapat dilihat pada Tabel 4 berikut ini.

Uji Emisi Gas buang Pada *Four Stroke Engine* Menggunakan *Multi-Feedstock Biodiesel* Dengan Penambahan Zat Aditif (2-EHN)

Tabel 4 Hasil uji emisi konsentrasi gas dalam mg/m^3 .

Bahan bakar	Parameter	RPM			Satuan
		1000	1200	1400	
B40	CO	73.39342	52.84985	92.04747	mg/m^3
	NO ₂	93.27809	31.1122	38.78083	mg/m^3
	NO	28.39626	40.58113	39.76705	mg/m^3
	NO _x	121.6743	71.69333	78.54788	mg/m^3
	SO ₂	142.1269	46.30653	54.29528	mg/m^3
B40 + 2-EHN	CO	39.04227	36.56644	84.89024	mg/m^3
	NO ₂	110.4826	63.48671	72.33142	mg/m^3
	NO	55.42608	68.56208	87.09985	mg/m^3
	NO _x	165.9087	132.0488	159.4313	mg/m^3
	SO ₂	169.555	100.6764	110.1723	mg/m^3

Tabel 5 Hasil uji emisi gas buang pada biosolar

Bahan bakar	Parameter	RPM			Satuan
		1000	1200	1400	
biosolar	CO	440	508.75	567.5	mg/m^3
	NO ₂	382	456	539	mg/m^3
	NO	658	785	929	mg/m^3
	NO _x	1040	1241	1468	mg/m^3

Pada Tabel 4 dan Tabel 5 dapat dilihat hasil uji emisi gas buang bahan bakar dari beberapa komponen, yakni karbondioksida (CO₂), nitrogen monoksida (NO), dan nitrogen oksida total (NO_x), terhadap kecepatan putaran mesin (RPM) pada 1000, 1200, dan 1400 RPM. Berdasarkan tabel tersebut, dapat dilihat bahwa emisi tertinggi terdapat pada komponen NO_x yang dihasilkan oleh bahan bakar biosolar. Pada putaran 1400 RPM, emisi NO_x dari biosolar mencapai 1468 mg/m^3 . Meskipun demikian, angka ini masih dalam batas toleransi yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) Nomor 11 Tahun 2021, yaitu sebesar 3400 mg/m^3 . Sementara itu, emisi terendah tercatat pada komponen NO dari bahan bakar B40 pada 1000 RPM. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pada putaran rendah, pembakaran berlangsung pada suhu yang belum terlalu tinggi, sehingga reaksi pembentukan NO masih sangat terbatas. Hal ini sesuai dengan prinsip pembentukan emisi NO, di mana peningkatan suhu ruang bakar secara signifikan akan mempercepat terbentuknya NO melalui mekanisme reaksi termal. Oleh karena itu, emisi NO yang rendah pada 1000 RPM mengindikasikan bahwa proses pembakaran belum mencapai suhu kritis yang diperlukan untuk menghasilkan NO dalam jumlah besar.

Uji Emisi Gas buang Pada *Four Stroke Engine* Menggunakan *Multi-Feedstock Biodiesel* Dengan Penambahan Zat Aditif (2-EHN)

3.3 Analisis hasil pengujian emisi multi feedstock biodiesel B40 dan B40 dengan penambahan

Zat aditif 2-EHN

Berdasarkan hasil uji emisi yang terdapat pada tabel 4, konsentrasi emisi karbon monoksida (CO) yang diukur dalam satuan mg/m^3 menunjukkan seluruh sample bahan bakar berada di bawah toleransi standar baku mutu emisi yang telah ditetapkan oleh permen LHK Nomor 11 tahun 2021, yakni sebesar 170 mg/m^3 . Pada pengujian menggunakan bahan bakar multi-feedstock biodiesel B40, emisi CO tercatat sebesar $73,4 \text{ mg/m}^3$ pada putaran mesin 1000 RPM, $52,85 \text{ mg/m}^3$ pada 1200 RPM, dan $92,05 \text{ mg/m}^3$ pada 1400 RPM. Sementara itu, pada pengujian B40 dengan penambahan zat aditif, emisi CO menunjukkan hasil yang lebih rendah, yaitu $39,04 \text{ mg/m}^3$ pada 1000 RPM, $36,65 \text{ mg/m}^3$ pada 1200 RPM, dan $84,89 \text{ mg/m}^3$ pada 1400 RPM. Nilai tersebut mengindikasikan bahwa proses pembakaran dalam ruang bakar mesin berlangsung dengan baik, sehingga menghasilkan emisi CO yang relatif rendah.

Penggunaan biodiesel, khususnya yang diberi tambahan zat aditif, dapat mengurangi pencemaran udara yang disebabkan oleh emisi gas CO. Namun, berbeda dengan emisi CO, kadar emisi nitrogen oksida (NOx) cenderung mengalami peningkatan. Meski demikian semua nilai emisi NOx yang tercatat masih berada jauh di bawah ambang batas yang diperbolehkan, yakni 3400 mg/m^3 . Sebagai contoh, pada bahan bakar B40 tanpa penambahan zat aditif, emisi NOx tercatat sebesar $121,67 \text{ mg/m}^3$ saat mesin berputar di 1000 RPM, $71,69 \text{ mg/m}^3$ di 1200 RPM, dan $78,55 \text{ mg/m}^3$ di 1400 RPM. Sementara itu, setelah ditambahkan zat aditif, emisi NOx memang sedikit meningkat menjadi $165,9 \text{ mg/m}^3$ di 1000 RPM, $132,04 \text{ mg/m}^3$ di 1200 RPM, dan $159,43 \text{ mg/m}^3$ di 1400 RPM. Meskipun terjadi kenaikan, angka-angka ini masih tersebut masih dibawah ambang batas maksimum yang telah ditetapkan.

5. Kesimpulan

Dari hasil pengujian uji karakteristik dan uji emisi, dapat disimpulkan bahwa penambahan zat aditif 2-EHN pada bahan bakar biodiesel multi-feedstock dapat meningkatkan kualitas bahan bakar melalui peningkatan angka setana, perbaikan sifat fisik, serta mampu menekan emisi CO dan tetap memenuhi baku mutu emisi NOx, sehingga berpotensi menjadi alternatif bahan bakar ramah lingkungan dalam mendukung program *net zero emission*.

Ucapan terima kasih

Penulis memahami penelitian tentang uji emisi ini tidak dapat diselesaikan dengan baik tanpa dukungan dari berbagai elemen. Maka dari itu, penulis berterima kasih kepada berbagai pihak yang telah mendukung dalam proses penelitian ini diantaranya; kepala lab beserta teknisi bengkel reparasi mesin di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya (PPNS) atas arahan yang di berikan, Balai Standardisasi dan Pelayanan Jasa Industri (BSPJI) kota Surabaya atas kerjasamanya dalam pengukuran emisi pada mesin diesel generator Jiangdong di PPNS, P3M-PPNS atas dukungan dana hibah penelitian DIPA tahun 2025 dengan nomor penelitian SP DIPA-139.03.2.693473/2025 Tanggal 7 Maret 2025.

Uji Emisi Gas buang Pada *Four Stroke Engine* Menggunakan *Multi-Feedstock Biodiesel* Dengan Penambahan Zat Aditif (2-EHN)

Daftar Pustaka

- Arifardhani, Y. (2024). *Perlindungan Hukum: Hak Hidup Dan Tinggal Di Lingkungan Yang Baik Dan Sehat*. Penerbit Adab.
- Devita, L., Penyuluhan, S. T., & Medan, P. (2015). Biodiesel sebagai bioenergi alternatif dan prospektif. *Agrica Ekstensia*, 9(2), 23-26.
- Dianto, W. (2023). Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Inti Lilitan pada Magnet Remanen Terhadap Unjuk Kerja Motor Diesel Satu Silinder 8 HP.
- Helbawanti, O., Nuraini, C., Ulfa, A. N., & Mutolib, A. (2023). Potensi pasar minyak nabati jagung, kelapa, kacang tanah, biji bunga matahari, kedelai dan kelapa sawit sebagai bahan bakar alternatif (biofuel). *Suluh Pembangunan: Journal of Extension and Development*, 5(1), 75-84.
- Kapuji, A., Hadi, S., & Arifin, Z. (2021). Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak jelantah. *Jurnal Chemtech*, 7(1), 1-6.
- Kurniarahma, L., Laut, L. T., & Prasetyanto, P. K. (2020). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi emisi CO₂ di Indonesia. *DINAMIC: Directory Journal of Economic*, 2(2), 368-385.
- Kuszewski, H., & Jaworski, A. (2024). Investigating the Effect of 2-Ethylhexyl Nitrate Cetane Improver (2-EHN) on the Autoignition Characteristics of a 1-Butanol–Diesel Blend. *Energies (19961073)*, 17(16).
- Nasional, B. S. (2015). Standar Nasional Indonesia. Surimi Beku.
- Paloboran, I. M. (2025). *BIOETHANOL Bahan Baku, Rantai Pasok, Karakteristik & Optimasi Pembakarannya*. SCOPINDO MEDIA PUSTAKA.
- Persulesy, P. Y., Basri, K., & Suprpto, E. (2022). Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Biodisel Berbasis Biji Buah Nyamplung (*Calophyllum Inophyllum*) Terhadap Emisi Gas Buang Mesin Diesel. *LONTAR Jurnal Teknik Mesin Undana*, 9(01), 48-56.
- Suryatini, K. Y., & Made, M. N. (2023). Pemanfaatan potensi minyak goreng bekas (jelantah) sebagai biodiesel. *Emasains: Jurnal Edukasi Matematika Dan Sains*, 12(1), 116-124.
- Ulfa, S. N. S., & Samik, S. (2022). Artikel review: pemanfaatan katalis zeolit alam teraktivasi dalam sintesis biodiesel dengan metode esterifikasi dan transesterifikasi. *Unesa Journal of Chemistry*, 11(3), 165-181.
- AULATAMA, A. A. (2024). *ANALISIS EMISI GAS BUANG PADA FOUR STROKE DIESEL ENGINE DENGAN MULTI-FEEDSTOCK BIODIESEL (MINYAK KELAPA SAWIT, MINYAK JELANTAH, MINYAK BUNGA MATAHARI)* (Doctoral dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).