

Pengaruh Emisi Gas Buang Pada *Four Stroke Diesel Engine* Dengan Bahan Bakar Biodiesel (Minyak Kelapa Sawit, Minyak Jelantah, Minyak Bunga Matahari)

Aminatus Sa'diyah^{1*1}, Ahmad Anda Aulatama², Muhammad Shah³, Muhammad Anis Mustaghfirin⁴, Riska Hana Iftian⁵

^{1,2,3,4,5}Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Jalan Teknik Kimia Kampus ITS Sukolilo, Surabaya, 60111, Indonesia
Email: am.sadiyah@ppns.ac.id¹

Abstrak

Uji emisi gas buang didefinisikan sebagai metode untuk menentukan tingkat polutan udara yang dikeluarkan dari tempat pembuangan gas kendaraan tersebut, uji emisi gas buang dapat dilakukan pada kendaraan mesin bensin dan kendaraan mesindiesel. Pada studi ini dilakukan analisis gas buang pada mesin diesel empat langkah dengan biodiesel dari beberapa bahan baku seperti minyak kelapa sawit, minyak jelantah, dan minyak bunga matahari merupakan studi penting dalam upaya mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi penggunaan biodiesel dari berbagai sumber sebagai bahan bakar alternatif untuk mesin diesel empat langkah. Analisis emisi gas buang melibatkan pemantauan konsentrasi gas seperti nitrogen oksida (NOx) dan karbon monoksida (CO). Fokus utama adalah untuk memahami sejauh mana penggunaan biodiesel dari minyak kelapa sawit, minyak jelantah, dan minyak bunga matahari dapat mengurangi emisigas berbahaya dibandingkan dengan penggunaan bahan bakar diesel konvensional. Penelitian ini ingin menunjukkan bahwa penggunaan biodiesel dari berbagai sumber dapat memberikan pengurangan yang signifikan dalam emisi gas buang, terutama NOx, dan CO. Penggunaan biodiesel sebagai pengganti bahan bakar diesel konvensional tentunya diharapkan untuk dapat mengurangi kadar gas emisi terhadap lingkungan. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dari beberapa macam biodiesel multi-feedstock tersebut mana yang lebih efisien untuk menggantikan penggunaan bahan bakar diesel konvensional guna mendukung upaya untuk mencapai tujuan keberlanjutan dalam sektor industri dan transportasi terhadap polusi dan lingkungan sekitar. Pembakaran yang baik adalah pembakaran yang menghasilkan kadar CO lebih rendah, pada studi ini didapatkan bahwa biodiesel B100 menjadi bahan bakar yang paling optimal dan juga ramah lingkungan, pada kondisi yang sama yakni pada beban maksimum dan putaran mesin maksimum 1400 RPM, kadar CO pada biodiesel B100 sebesar 474 ppm, sedangkan kandungan CO pada bahan bakar pertamina dex sebesar 547 ppm.

Kata kunci: Emisi gas buang, biodiesel, multi-feedstock

Abstract

Exhaust gas emission testing is defined as a method for determining the level of air pollutants released from the vehicle's exhaust gas outlet. Exhaust gas emission testing can be carried out on petrol engine vehicles and diesel engine vehicles. In this study, exhaust gas analysis was carried out in a four-stroke diesel engine with biodiesel from several raw materials such as palm oil, used cooking oil and sunflower oil, which is an important study in an effort to reduce negative impacts on the environment. This study aims to evaluate the use of biodiesel from various sources as an alternative fuel for four-stroke diesel engines. Exhaust emissions analysis involves monitoring the concentration of gases such as nitrogen oxides (NOx) and carbon monoxide (CO). The main focus is to understand to what extent the use of biodiesel from palm oil, used cooking oil and sunflower oil can reduce harmful gas emissions compared to the use of conventional diesel fuel. This research wants to show that the use of biodiesel from various sources can provide significant reductions in exhaust emissions, especially NOx and CO. The use of biodiesel as a substitute for conventional diesel fuel is certainly expected to reduce levels of gas emissions to the environment. Thus, this research aims to analyze several types of multi-feedstock biodiesel which are more efficient to replace the use of conventional diesel fuel to support efforts to achieve sustainability goals in the industrial and transportation sectors regarding pollution and the surrounding environment. Good combustion is combustion that produces lower CO levels. In this study it was found that B100 biodiesel is the most optimal fuel and is also environmentally friendly, under the same conditions, namely at maximum load and maximum engine speed of 1400 RPM, the CO levels in B100 biodiesel amounted to 474 ppm, while the CO content in Pertamina Dex fuel was 547 ppm.

Keywords: Exhaust gas emissions, biodiesel, multi-feedstock

^{1*} am.sadiyah@ppns.ac.id

1. Pendahuluan

Biodiesel merupakan bahan bakar yang dapat digunakan untuk bahan bakar mesin diesel. Biodiesel dapat dibuat dari minyak tumbuh-tumbuhan seperti sawit dan kelapa. Kandungan sulfur dari biodiesel ini rendah sehingga polutan udara juga lebih sedikit dan asap buangan menjadi tidak terlalu hitam. Bau gas buangannya pun lebih baik (Neolaka, 2023).

Biodiesel memiliki beberapa kelebihan dibandingkan bahan bakar petroleum, diantaranya dapat diproduksi secara lokal dengan memanfaatkan sumber minyak/ lemak alami yang tersedia, proses produksi dan penggunaannya bersifat lebih ramah lingkungan dengan tingkat emisi CO, NO dan sulfur dan senyawa hasil pembakaran lainnya rendah, dan lebih mudah terurai di alam. Penggunaan biodiesel juga dapat mereduksi polusi tanah serta melindungi kelestarian perairan dan sumber air minum. Kelebihan penggunaan biodiesel yang lain adalah tidak perlu modifikasi mesin, hal ini dikarenakan biodiesel mempunyai efek pembersihan terhadap tangki bahan bakar, injektor dan selang, tidak menambah efek rumah kaca karena karbon yang dihasilkan masih dalam siklus karbon. Energi yang dihasilkan hampir sama dengan petroleum diesel (Devita dkk., 2015).

Namun, pada dasarnya biodiesel diproduksi salah satunya dari kelapa sawit, maka isu yang sering didengar adalah isu penggundulan hutan atau deforestasi. Dari sisi lain, kandungan energi biodiesel 11 persen lebih rendah dari solar, sehingga kemampuannya menghasilkan tenaga lebih kecil dibandingkan bahan bakar fosil. Kualitas oksidasi yang tidak terlalu baik karena minyak sawit memiliki asam lemak itu membuatnya memiliki masalah terkait dengan penyimpanan, juga bila disimpan dalam waktu yang lama biasanya akan cenderung berubah menjadi seperti gel, sehingga berpotensi menyumbat mesin (Rahmat,2019).

Minyak Jelantah sendiri memiliki peluang untuk dipasarkan baik kedalam dan keluar negeri serta hemat biaya produksi 35 % dibandingkan dengan biodiesel dari CPO (*crude palm oil*) serta mengurangi 91,7% emisi CO₂ dibanding solar, minyak jelantah mengandung asam lemak bebas dengan konsentrasi cukup tinggi sehingga membutuhkan katalis asam homogen (EBTKE, 2021).

Kandungan minyak pada biji bunga matahari cukup besar bisa dimanfaatkan untuk bahan bakar alternatif atau diolah menjadi biodiesel. Minyak biji bunga matahari merupakan trigliserida yang tersusun atas asam lemak dan gliserol yang memiliki rantai karbon panjang. Biji bunga matahari mengandung 45% - 50 % lipid, sehingga memungkinkan untuk dijadikan biodiesel. Produk yang ingin diperoleh dari pengolahan biji bunga matahari ialah metil ester. Metil ester merupakan bahan kimia dasar turunan minyak dan lemak yang diproduksi dengan proses alkoholisis dimana minyak atau lemak direaksikan dengan methanol. Pada pengolahan minyak biji bunga matahari sebelum menjadi biodiesel akan melewati tahap pemurnian, yang dimana sudah melewati tahap degumming, esterifikasi, dan transesterifikasi. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas biodiesel yang dihasilkan dari minyak bunga matahari antara lain kandungan asam lemak, kadar air dan kotoran, kandungan fosfor, dan kandungan antioksidan (Utami, 2019).

Pada penelitian yang berjudul Karakteristik Biodiesel dari Minyak Jelantah di dalam Mesin Diesel mencoba meneliti pengaruh campuran minyak jelantah dengan solar, berkonsentrasi 5% (B5), 10% (B10), 15% (B15), dan 20% (B20), terhadap unjuk kerja mesin diesel. Hasil penelitian diperoleh bahwa torsi maksimal sebesar 121,163 Nm berada pada putaran 1950 rpm dengan bahan bakar solar murni dan campuran biodiesel B20. Daya efektif terbesar 35,288 kW pada putaran 3000 rpm untuk bahan bakar semua jenis campuran biodiesel. Konsumsi bahan bakar spesifik paling ekonomis sebesar 0,279 kg/kW-jam pada putaran 1650 rpm untuk bahan bakar solar murni dan campuran biodiesel B10 (Setyadji,2008).

Pada penelitian yang berjudul 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 melakukan pencampuran antara minyak jelantah dengan bahan bakar Pertamina Dex dengan komposisi B10, B20, B30. Karakteristik biodiesel minyak jelantah yang dicampur dengan HSD mempunyai nilai flash point 176°C, viskositas 40°C sebesar 8,09 cst dan nilai kalori 9325 Cal/gr. Semakin tinggi prosentase biodiesel minyakjelantah yang ditambahkan pada minyak solar

(HSD) menyebabkan kenaikan viskositas yaitu pada B10 2,90 cst, B20 3,23 cst, dan B30 3,71 cst dan untuk nilai kalori dan flash point mengalami penurunan yaitu B10 10.764 Cal/gr, B20 10.657 Cal/gr, B30 10.450 Cal/gr dan B10 77°C, B20 79°C dan B30 85°C (Haryono & Witjonarko, 2017).

Tabel 1. Tabel Baku Mutu Emisi Mesin.

Kapasitas	Bahan Bakar	Parameter	Kadar Max
101-500 KW	Minyak	NOx	3400 mg/Nm ³
		CO	170 mg/Nm ³
	Gas	NOx	300 mg/Nm ³
		CO	450 mg/Nm ³
501-1000 KW	Minyak	NOx	1850 mg/Nm ³
		CO	77 mg/Nm ³
		Partikulat	95 mg/Nm ³
	Gas	SO2	160 mg/Nm ³
		NOx	300 mg/Nm ³
		CO	250 mg/Nm ³
1001-3000 KW	Minyak	SO2	150 mg/Nm ³
		NOx	2300 mg/Nm ³
		CO	168 mg/Nm ³
	Gas	Partikulat	90 mg/Nm ³
		SO2	150 mg/Nm ³
		NOx	285 mg/Nm ³
		CO	250 mg/Nm ³
		SO2	60 mg/Nm ³

(Sumber : (Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, 2021)

•Konversi ppm ke mg/Nm³ untuk CO:

1 ppm CO = 1.25 mg/m³ (dengan asumsi suhu standar 25°C dan tekanan 1 atm)

•Konversi % ke ppm untuk CO2

1 ppm=1 bagian dalam sejuta.

1 % = 1 bagian dalam 100.

Berarti dari % ke ppm= 1 x 10.000

Berdasarkan uraian latar belakang diatas maka pada penelitian ini kami melakukan pembuatan 1 macam Multi-Feedstock Biodiesel dengan bahan dasar minyak kelapa sawit / Crude Palm Oil (CPO), untuk campuran Multi-Feedstock Biodiesel 1 adalah minyak kelapa sawit, minyak jelantah dan minyak bunga matahari, untuk perbandingan akan kita bandingkan dengan biosolar lalu akan diujikan performanya pada motor diesel. Sebagai perbandingan, biodiesel dicampur dengan bahan bakar solar (HSD) untuk menghasilkan bahan bakar B20, B35, B100. Bahan bakar tersebut akan diuji cobakan ke motor diesel Four-Stroke untuk mendapatkan data performa. Kami juga ingin menyelidiki karakteristik biodiesel disetiap prosentase dan juga pengaruh pemakaian multi-feedstock biodiesel terhadap emisi gas buang four stroke diesel engine pada beberapa beban yang divariasikan. Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi pembebanan menggunakan lampu yang

berbeda yaitu pada beban 1000Watt, 2000Watt, 3000Watt, kemudian ditentukan nilai HC, CO, CO2, dan NOx pada saat dilakukan pengujian hasil emisi gas buang yang dihasilkan pada pembakaran mesin diesel.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen yang menggunakan Fourstroke diesel engine dan Bahan bakar multi-feedstock biodiesel, serta pengujian pada tigavariasi putaran yaitu di 750 RPM, 1000 RPM, dan 1500 RPM. Lalu dilakukan pembebanan pada engine diesel yang sudah di cople dengan generator menggunakan variasi lampu 1000Watt, 2000Watt, dan 3000Watt dengan bahan bakar B20%, B35%, dan B100%. Uji emisi akan mengukur kadar beberapa kadar molekul yang ada didalam diantaranya adalah nitrogen oksida (NOx), karbon monoksida (CO), hidrokarbon (HC), dan partikulat.

Terdapat beberapa metode dalam mengukur kadar emisi gas buang yaitu di antaranya adalah teknik adsorpsi yaitu teknik ekstraksi gas yang didasarkan pada kemampuan gas yang terkontaminasi untuk menyerap atau bereaksi dengan larutan pereaksi tertentu. Perangkat yang umum digunakan adalah impinger. Teknik desorpsi yaitu metode yang didasarkan pada kemampuan polutan untuk tercemar untuk terurai pada permukaan padat adsorben. Sebagai adsorben yang umum biasanya digunakan adalah karbon aktif TENAX-GC atau aberlite, adapula teknik evacuated yang memerlukan alat penampung gas yaitu berupa botol yang inert yang telah divakumkan atau dengan kantong udara yang terbuat dari bahan tedlar atau teflon, teknik ini sering digunakan untuk gas pencemar dengan konsentrasi yang tinggi dan tidak memerlukan konsentrasi sampel udara. Teknik direct reading metode ini menggunakan alat yang dapat mengetahui secara langsung konsentrasi polutan di udara. Alat ini menggunakan sistem sensor berdasarkan dari sifat kimia dan fisik dari bahan pencemar atau polutan.

Penelitian ini menggunakan teknik pengambilan sampel udara dengan metode Direct Reading, "Gas Analyzer" merupakan alat yang digunakan dalam metode ini. Gas analyzer bekerja dengan cara mengambil sampel gas dari probe, kemudian masuk ke masing-masing sampel cell. Alat ini merupakan metode paling efektif yang digunakan untuk mengukur proporsi dan campuran gas dari gabungan gas, seperti karbon dioksida (CO2), oksigen (O2), dan karbon monoksida (CO), gas analyzer juga umum digunakan dalam industri pabrik untuk mengoptimalkan proses produksi dan keamanan, serta dalam dunia otomotif sudah lazim digunakan untuk mengukur gas pembakaran pada kendaraan guna memastikan memenuhi standar

emisi yang telah ditetapkan. Satuan yang akan digunakan dalam pengujian ini adalah *part per million* (PPM) atau dapat juga menggunakan satuan persen (%), gambar diagram alir penelitian.

Motor diesel yang digunakan adalah jenis motor diesel 4 langkah. Berikut adalah gambar dari motor diesel yang digunakan.



Gambar 1. ZH1115N Diesel Engine Jiandong dikopel dengan generator

Gambar 1 diatas merupakan gambar motor diesel yang digunakan untuk melakukan pengujian. Dimana data spesifikasi dari motor diesel tersebut ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan spesifikasi generator di tunjukkan pada tabel 2.

Tabel 1. Spesifikasi Mesin Diesel 4 Langkah

Model	JD ZH1115N
Jenis	Single-cylinder, horizontal, 4-cycle
Sistem pembakaran	Direct injection
Diameter x panjang langkah (mm)	115 x 115
Volume langkah (mm)	1.195
Tenaga continue (HP/RPM)	24/2200
Sistem pendingin	Hopper
Sistem pelumasan	Kombinasi tekanan & penyebaran
Sistem start	Tangan/engkol & starter
Berat bersih (kg)	180

Tabel 2. Spesifikasi Generator

Model	A.C.SYNCHRONOUS GENERATOR STC-5
Jenis	GENERATOR STC-5
Power	5Kw / 6.3 KV _a
Voltage	380/660V
Arus Listrik	5.5 A
Cos	0.8
Number of Phase	3
Frekuensi	50 Hz
Speed	1500 RPM
Excit Volt	82 V
Excit Current	3.6 A



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

[1] Perumusan Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian ini adalah untuk membandingkan *four stroke diesel engine* dengan menggunakan *multi-feedstock biodiesel*.

[2] Pra Eksperimen

Pra-eksperimen dilakukan untuk mengetahui performa kerja dari motor diesel dengan menggunakan bahan bakar solar (Pertamina Dex). Data yang diperoleh dari percobaan ini dapat digunakan sebagai data pembandingan dengan data yang diperoleh pada percobaan dengan B20, B35 dan B100.

[3] Pembuatan Biodiesel *Multi-feedstock*

Biodiesel diperoleh dari campuran minyak kelapa sawit, minyak jelantah dan minyak bunga matahari melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi untuk mendapatkan biodiesel yang berasal dari ketiga minyak tersebut lalu dicampurkan dengan biodiesel minyak jelantah dan biodiesel Minyak bunga matahari diproduksi dengan perbandingan 1:1:1.

[4] Pembuatan B20, B35 dan B100

Produksi bahan bakar yang campuran *multi-feedstock* biodiesel dengan minyak solar (Pertamina Dex). Rasio campurannya meliputi 20% *multi-feedstock* biodiesel 80% minyak solar, 35% *multi-feedstock* biodiesel 65% minyak solar (B35) dan 100% *multi-feedstock* biodiesel dengan 0% minyak solar (B100).

[5] Analisa Karakteristik *Multi-Feedstock* Biodiesel

Analisa karakteristik *multi-feedstock* biodiesel dilakukan setelah menyiapkan campuran bahan bakar B20, B35 dan B100 telah dibuat. Karakterisasi ini dilakukan untuk mengetahui besar titik nyala, viskositas, densitas, angka setana dan nilai kalor setiap presentase biodiesel *multi-feedstock*

[6] Pengujian dan Pengambilan Data

Pengujian dan pengambilan data dilakukan setelah menganalisis karakteristik campuran bahan bakar, khususnya pengujian terhadap *four stroke diesel engine*. Pengumpulan data dari hasil pengujian yang digunakan sebagai bahan untuk menjawab masalah yang telah disebutkan.

• Pembuatan Biodiesel Minyak Kelapa Sawit

Biodiesel minyak kelapa sawit diproduksi dengan cara memperoleh biodiesel yang berasal dari minyak kelapa sawit kemudian dicampurkan dengan biodiesel minyak jelantah dan biodiesel minyak bunga matahari dengan perbandingan 1:1:1. Tahapan produksi biodiesel minyak kelapa sawit dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Pembuatan Biodiesel Minyak Kelapa Sawit

• Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah

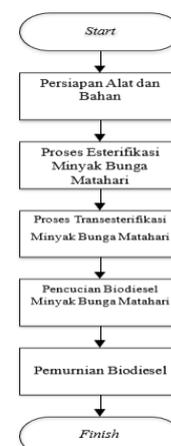
Biodiesel minyak kelapa sawit diproduksi dengan cara mengekstraksi biodiesel yang berasal dari minyak jelantah kemudian mencampurkannya dengan biodiesel minyak jelantah dan biodiesel minyak bunga matahari dengan perbandingan 1:1:1. Langkah-langkah yang diperlukan untuk memproduksi biodiesel minyak jelantah adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Diagram Alir Pembuatan Biodiesel Minyak Jelantah

• Pembuatan Biodiesel Minyak Bunga Matahari

Biodiesel minyak bunga matahari diproduksi dengan mengekstraksi biodiesel yang berasal dari biji bunga matahari sebelum dilakukan pencampuran biodiesel minyak kelapa sawit dan biodiesel minyak jelantah dengan perbandingan 1:1:1. Langkah-langkah berikut diperlukan untuk memproduksi biodiesel minyak bunga matahari:



Gambar 5. Diagram Alir Pembuatan Biodiesel Minyak Bunga Matahari

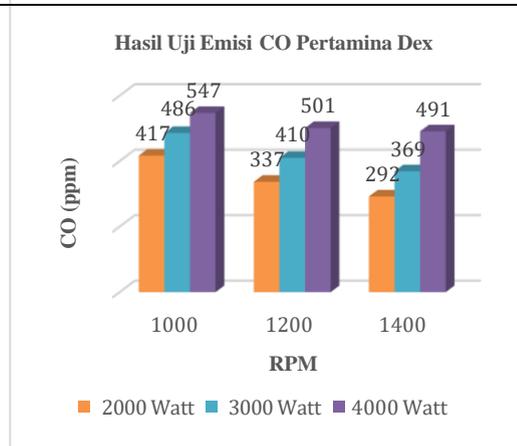
3. Hasil dan Diskusi

3.1 Analisa Karakteristik multi-feedstock

Tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian bahan bakar biodiesel multi-feedstock B20, B35, dan B100 dan minyak solar (HSD) dengan merk dagang Pertamina dex di laboratorium. Hasil uji karakteristik bahan bakar dapat di lihat di tabel 1 sebagai berikut.

Tabel 3. Nilai Karakteristik masing-masing bahan bakar.

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



Gambar 6. Grafik Hasil Uji Emisi Gas Buang CO Pertamina Dex.

Berdasarkan tabel 4.1, Titik nyala B20, B35 dan B100 memiliki nilai *flash point* yang lebih tinggi dibandingkan Pertamina Dex. Semakin rendahnya jumlah Pertamina Dex yang ditambahkan maka

densitas yang dihasilkan akan semakin besar. Besar kecilnya massa bahan bakar yang diinjeksikan ke dalam ruang bakar bergantung dari nilai densitas bahan bakar tersebut, semakin besar densitas maka semakin besar pula massa yang diinjeksikan. Viskositas mempengaruhi kemampuan atomisasi bahan bakar. Viskositas yang tinggi mengakibatkan atomisasi menjadi rendah sehingga memperlambat proses pembakaran. Viskositas meningkat seiring dengan meningkatnya kandungan biodiesel. Angka setana mengukur keterlambatan pembakaran bahan bakar di mesin diesel. Semakin tinggi angka setana, maka semakin cepat pembakarannya. Bahan bakar dengan angka setana tinggi sangat ideal untuk mesin kendaraan besar

Angka setana biodiesel B100 yang berbahan dari minyak kelapa sawit, minyak jelantah, dan minyak bunga matahari telah memenuhi standar mutu SNI biodiesel. SNI menetapkan bahwa angka setana minimal adalah 51. Karena angka setana biodiesel B100 melebihi standart tersebut, yaitu sebesar >62.5, dapat disimpulkan bahwa biodiesel ini memiliki angka setana yang cukup tinggi. Angka setana menunjukkan panjang rantai hidrokarbon dalam bahan bakar; semakin tinggi angka setana, maka semakin mudah terbakar bahan bakar tersebut.

3.2 Hasil Pengujian Emisi Gas Buang (CO) Menggunakan Pertamina Dex

Dalam pengujian emisi yang dihasilkan oleh biodiesel B20, B35 dan B100 penelitian ini menggunakan data pembandingan dengan bahan bakar yang sudah diperdagangkan dengan bebas yaitu Pertamina Dex dan dihasilkan data uji emisi menggunakan CO Meter seperti terlihat di tabel 2 berikut:

Tabel 4. Hasil Uji Emisi Gas Buang (CO)

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 tabel dan grafik tersebut didapatkan kesimpulan bahwa emisi gas buang(CO) menurun dengan adanya peningkatan yang ada pada beban lampu dan RPM, hal ini membuktikan bahwa pembakaran yang baik dapat menurunkan kadar CO

yang dihasilkan oleh Engine. Berikut ini adalah tabel untuk uji emisi gas buang menggunakan alat Carbonmonoksida Meter dengan bahan bakar biodiesel B20, B35, dan B100.

Tabel 5. Uji Emisi Gas Buang Biodiesel Multi-FeedStock (B20) dengan alat CO Meter

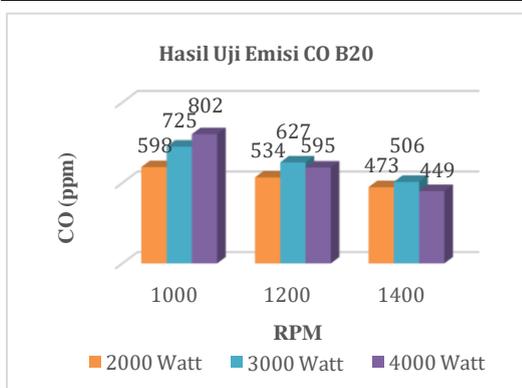
Bahan	RPM	Beban	CO (ppm)	CO (mg/Nm ³)
Biodiesel B20	1000	2000 Watt	598	747.5
	1200		534	667.5
	1400		437	591.25
	1000	3000 Watt	725	906.25
	1200		627	783.75
	1400		506	632.5
	1000	4000 Watt	802	1002.5
	1200		595	743.75
	1400		449	561.25

Tabel 6. Uji Emisi Gas Buang Biodiesel Multi-FeedStock (B35) dengan alat CO Meter

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

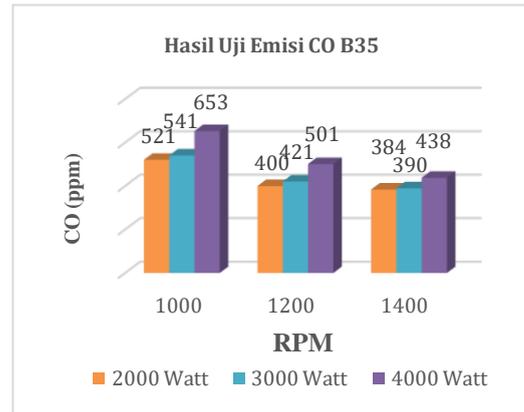
Tabel 7. Uji Emisi Gas Buang Biodiesel Multi-FeedStock (B100) dengan alat CO Meter

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



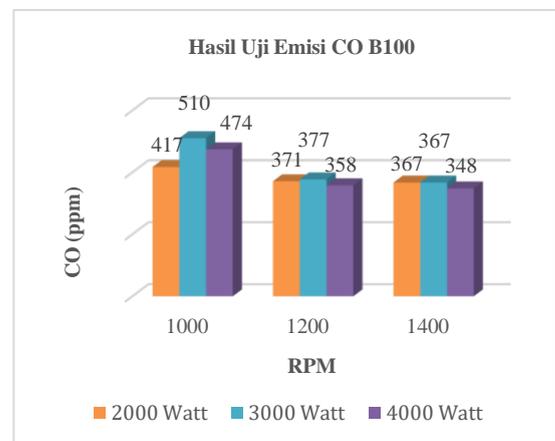
Gambar 7. Grafik Hasil Uji Emisi Gas Buang CO B20

Hasil Uji Emisi yang diukur menggunakan CO meter untuk biodiesel B20 meningkat drastis dibandingkan dengan emisi dari Pertamina Dex. Untuk B20 emisi tertingginya sebesar 802 ppm sedangkan Pertamina Dex hanya di 547 ppm.



Gambar 8. Grafik Hasil Uji Emisi Gas Buang CO B35.

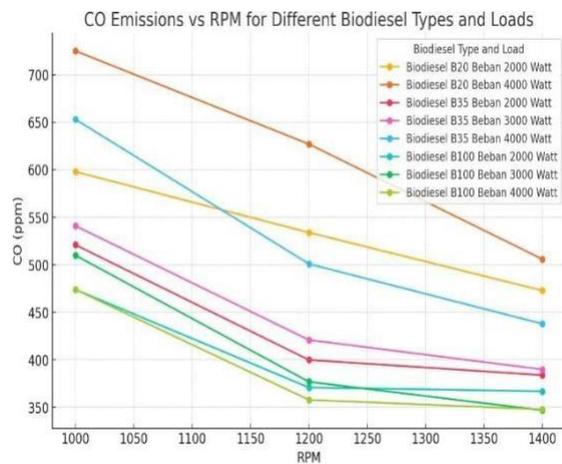
Dalam uji emisi biodiesel B35 nilai CO tertinggi berada pada angka 653 ppm dari grafik di atas menunjukkan bahwa angka dari nilai CO semakin mendekati nilai CO pada pengujian menggunakan Pertamina Dex, hal tersebut membuktikan bahwa pembakaran semakin baik karena emisi CO yang dihasilkan semakin rendah.



Gambar 9. Grafik Hasil Uji Emisi Gas Buang CO B100.

Hasil uji emisi pada bahan bakar Biodiesel B100 pada variasi tertinggi yaitu di RPM 1400 dan pembebanan di 4000 watt menunjukkan 348 ppm kandungan karbon monoksida (CO), sedangkan pada Pertamina Dex hasil CO untuk Pertamina Dex sebesar 491 ppm. Pada variasi terendah hasil pengujian pada B100 yaitu di 1000 RPM dan beban 2000 watt menunjukkan nilai CO sebesar 417 ppm.

namun pada pertamina dex CO yang dihasilkan adalah sebesar 474 ppm.



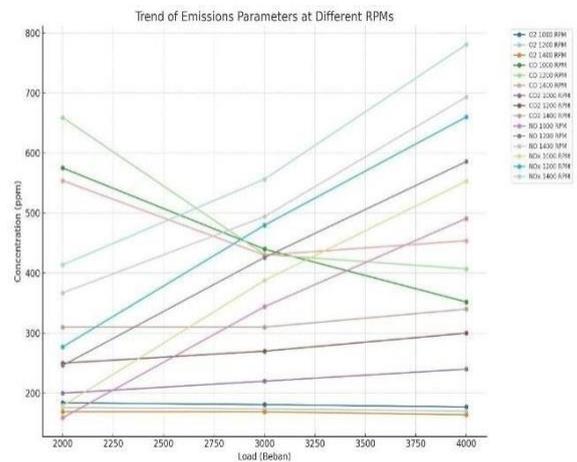
Gambar 10. Grafik Tren Nilai CO dari Multi-Feedstock Biodiesel.

Grafik di atas menunjukkan tren emisi CO (dalam ppm) terhadap RPM untuk berbagai jenis biodiesel dan beban. Biodiesel B20 mencapai nilai CO tertinggi pada beban 4000 Watt dengan nilai 725 ppm pada 1000 RPM. Sebaliknya biodiesel B100 mencapai nilai CO terendah sebesar 348 ppm pada putaran 1400 RPM dengan beban 4000 watt. Garis dengan nilai CO tertinggi adalah Biodiesel B20 Beban 4000 Watt, sedangkan garis dengan nilai CO terendah adalah Biodiesel B100 Beban 4000 Watt. Secara keseluruhan, tren penurunan emisi CO seiring dengan meningkatnya RPM untuk semua jenis biodiesel dan beban yang diuji.

Hasil pengujian ini menunjukkan bahwa kadar CO yang dihasilkan pada berbagai kondisi beban dan RPM jauh melebihi batas maksimum yang ditentukan dalam standar baku mutu. Misalnya, untuk genset berbahan bakar minyak dengan keluaran daya 101 hingga 500 KW, nilai maksimumnya adalah 170 mg/Nm³, namun hasil pengujian untuk semua kondisi beban dan RPM menunjukkan nilai jauh di atas 500 mg/Nm³. Berdasarkan analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa data emisi karbon monoksida (CO) yang terdeteksi pada dari pengujian biodiesel multi-feedstock tidak memenuhi standar baku mutu yang ditetapkan oleh Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia pada tahun 2021. Kadar CO yang dihasilkan melebihi batas maksimum yang diperbolehkan untuk seluruh kelas kategori kapasitas genset yang diuji.

Hal ini membuktikan bahwa emisi yang dihasilkan oleh Biodiesel murni (B100) lebih baik

dibanding dengan Pertamina Dex. Hasil tersebut membuktikan bahwa pembakaran yang ada pada engine lebih sempurna apabila menggunakan Biodiesel murni (B100), namun Biodiesel masih memiliki kelemahan yaitu mudah mengendap dan menghasilkan kerak pada dinding *cylinder*. Hal ini lah yang menyebabkan pihak-pihak komersil masih melakukan pencampuran antara Biodiesel murni dengan minyak bumi, agar dapat meningkatkan *performance* pada *engine* dan mengurangi emisi untuk keberlangsungan lingkungan yang lebih baik.



Gambar 11. Gambar Grafik Tren dari Emisi Gas Buang Biodiesel B35.

Grafik-grafik di atas menggambarkan tren berbagai parameter emisi (O₂, CO, CO₂, NO, dan NO_x) pada berbagai kecepatan putaran mesin (1000 RPM, 1200 RPM, dan 1400 RPM) dan beban (2000, 3000, dan 4000). Secara umum, parameter O₂ menunjukkan tren menurun seiring dengan peningkatan beban pada semua RPM, dengan nilai terendah pada 1400 RPM dan tertinggi pada 1000 RPM. Parameter CO menunjukkan tren menurun pada 1000 RPM dan 1200 RPM, tetapi sedikit meningkat pada 1400 RPM dengan peningkatan beban, di mana nilai terendah pada beban tinggi ditemukan pada 1200 RPM dan tertinggi pada 1000 RPM. CO₂ memperlihatkan tren meningkat secara konsisten pada semua RPM dengan peningkatan beban, dengan nilai tertinggi pada 1400 RPM dan terendah pada 1000 RPM. Sementara itu, NO dan NO_x menunjukkan tren meningkat seiring dengan peningkatan beban pada semua RPM, dengan nilai tertinggi pada 1400 RPM dan terendah pada 1000 RPM.

Secara keseluruhan, grafik menunjukkan bahwa semakin tinggi RPM dan beban, semakin tinggi pula konsentrasi emisi, terutama untuk NO dan

NO_x. Sebaliknya, konsentrasi O₂ cenderung menurun dengan peningkatan beban. Konsentrasi CO dan CO₂ menunjukkan variasi, tetapi umumnya meningkat dengan beban yang lebih tinggi. Tren garis terendah dalam grafik adalah konsentrasi O₂ pada 1400 RPM, sedangkan tren garis tertinggi adalah konsentrasi NO_x pada 1400 RPM.

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

Untuk biodiesel, nilai emisi CO pada beban 2000, 3000, dan 4000 Watt masing-masing adalah 1047 ppm (1308.75 mg/Nm³), 640 ppm (800 mg/Nm³), dan 408 ppm (510 mg/Nm³), yang semuanya melebihi batas standar baku mutu yang ditetapkan sebesar 168 mg/Nm³. Emisi NO_x pada beban yang sama adalah 485 mg/Nm³, 1012 mg/Nm³, dan 1242 mg/Nm³, yang semuanya berada di bawah nilai standar 2300 mg/Nm³. Oleh karena itu, emisi CO dari biodiesel tidak memenuhi standar, namun emisi NO_x memenuhi standar.

Untuk biosolar, emisi CO pada beban 2000, 3000, dan 4000 Watt masing-masing adalah 575 ppm (718.75 mg/Nm³), 440 ppm (550 mg/Nm³), dan 352 ppm (440 mg/Nm³), yang juga melebihi batas standar baku mutu sebesar 168 mg/Nm³. Emisi NO_x pada beban yang sama adalah 337 mg/Nm³, 729 mg/Nm³, dan 1040 mg/Nm³, yang semuanya berada di bawah batas standar 2300 mg/Nm³. Oleh karena itu, seperti halnya biodiesel, nilai emisi CO dari biosolar tidak memenuhi standar, namun emisi NO_x memenuhi standar. Secara keseluruhan, baik biodiesel maupun biosolar memenuhi standar baku mutu untuk emisi NO_x tetapi tidak untuk emisi CO.

4. Kesimpulan

Setelah dilakukan percobaan dalam pengujian terhadap karakteristik dan kadar gas buang CO untuk bahan bakar biodiesel dengan beberapa komposisi campuran, maka kesimpulan yang dapat diambil dalam pengujian nilai karakteristik yaitu bahwa perbedaan prosentase biodiesel pada campuran menimbulkan perbedaan nilai karakteristik dari masing-masing bahan bakar. Semakin tinggi prosentase biodiesel *multi-feedstock* yang dimana ditambahkan pada minyak solar (HSD) pertamina dex, menyebabkan kenaikan Titik Nyala yaitu pada B20 senilai 58, B35 senilai 65, B100 senilai 131. Selanjutnya nilai densitas, biodiesel B100 (biodiesel 100% solar 0%) menghasilkan nilai angka setana yang cukup tinggi. Menurut Standar dan Mutu (Spesifikasi) Bahan Bakar *Biofuel* jenis biodiesel tercatat bahwa minimum nilai angka setana sebesar 51. Karena angka setana biodiesel B100 yang lebih tinggi dari

standar tersebut, yaitu sebesar >62.5, maka dapat disimpulkan bahwa biodiesel ini memiliki angka setana yang cukup tinggi. Angka setana menunjukkan panjang rantai hidrokarbon dalam bahan bakar. Semakin tinggi angka setana bahan bakar tersebut semakin mudah bahan bakar terbakar. Berdasarkan data nilai karakteristik yang didapatkan kesimpulan bahwa semakin tinggi kadar prosentase biodiesel terhadap campuran bahan bakar, semakin tinggi pula nilai densitas masing-masing bahan bakar seperti pada B20 didapatkan densitas sebesar 844 kg/m³, B35 sebesar 864 kg/m³, dan B100 sebesar 884 kg/m³. Tingginya kadar prosentase biodiesel *multi-feedstock* di dalam campuran bahan bakar, membuat nilai viskositas semakin tinggi pada masing-masing bahan bakar.

Biodiesel *multi-feedstock* B100 merupakan bahan bakar paling optimal dan paling ramah lingkungan seperti yang ditunjukkan oleh pengujian CO meter yang dilakukan pada variasi 3 kecepatan berbeda. Pengujian ini menghasilkan kadar karbon monoksida (CO) terendah yaitu pada kondisi pengujian maksimal 474 ppm dengan beban maksimum dan putaran mesin tertinggi pada 1400 RPM. Bandingkan variasi kadar karbon monoksida tertinggi yang menggunakan bahan bakar Pertamina Dex dengan kadar CO 547 ppm. Kesimpulan dari pengujian menggunakan CO meter adalah pembakaran biodiesel B100 *multi-feedstock* lebih hemat pembakaran dibandingkan dengan Pertamina Dex karena pembakaran yang lebih baik menghasilkan kadar karbon monoksida yang lebih rendah.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyadari bahwa penelitian uji emisi ini tidak dapat terselesaikan dengan baik apabila tanpa bantuan serta bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

Bapak Abdul Ghafur, S.T., M.T. selaku Ketua Lab Reparasi Mesin Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

Pak Widodo, A. Md. selaku Penguji K3 yang bertugas di Dinas Lingkungan Hidup Kota Surabaya, atas dukungan dan bantuannya demi kelancaran uji emisi.

Daftar Pustaka

- Devita, L., Penyuluhan, S. T., & Medan, P. (2015). Biodiesel Sebagai Bioenergi Alternatif dan Prospektif. *Agrica Ekstensia*, Vol. 9 No., 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.minyak.jelantah>
- Haryono, E., & Witjonarko, R. D. E. (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. *Inovtek Polbeng*, 7(2), 179–187. <http://ejournal.polbeng.ac.id/index.php/IP/article/view/220>
- 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*. <https://coaction.id/membedah-kebijakan-dan-plus-minus-penggunaan-biodiesel-di-indonesia/>
- Setyadji, M. (2008). Karakteristik Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dan Solar Di Dalam Mesin Diesel. *Bimipa*, 18(2), 102–113.
- 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.>