

PENGARUH PENGGUNAAN BAHAN BAKAR BIOSOLAR MINYAK KELAPA SAWIT TERHADAP KADAR GAS BUANG MESIN DAFENG R180

Diovani Dwi Pamungkas

S1 Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: diovani.22143@mhs.unesa.ac.id

Muhaji

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Email: muhaji61@unesa.ac.id

Abstrak

Perkembangan industri otomotif saat ini menunjukkan peningkatan pesat. Biodiesel merupakan energi terbarukan sebagai pengganti bahan bakar diesel yang terdiri dari campuran *monoalkyl* ester dari rantai panjang asam lemak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik sifat fisika bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit (densitas, viskositas, nilai kalor dan titik nyala) dan menganalisis kadar gas buang (CO , CO_2 , HC, dan O_2). Penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Bahan bakar yang digunakan yaitu solar (B0), biosolar minyak kelapa sawit (B10, B20, B30, B40), dan biodiesel (B100). Pengujian karakteristik bahan bakar berpedoman pada standar ASTM (densitas D1298, viskositas D1343, nilai kalor D240 dan titik nyala D93), pengujian kadar gas buang (CO , CO_2 , HC, dan O_2). Pengujian kadar gas buang menggunakan standar SNI 19-7118.2-2005 dengan metode dengan beban tetap 500 watt. Variasi putaran mesin yaitu 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm, dan 2000 rpm. Hasil uji karakteristik bahan bakar densitas, viskositas semakin meningkat seiring bertambahnya konsentrasi biodiesel. Hasil pengujian kadar gas buang didapatkan bahwa B100 memberikan pengaruh terbesar. Hal ini kadar gas buang didapatkan kadar gas buang CO terendah pada lambda 1,15 sebesar 1,2%Vol. Kadar gas buang CO_2 tertinggi pada lambda 1,22 sebesar 15,50%Vol. Kadar gas buang HC terendah pada lambda 1,15 sebesar 250ppmVol. Kadar gas buang O_2 tertinggi 1,22 sebesar 4,9%Vol. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kadar gas buang yang terbaik pada campuran bahan bakar B40 dengan rata-rata penurunan kadar emisi CO terbanyak sebesar 24,1% dan HC terbanyak sebesar 26% jika dibandingkan dengan solar, sedangkan kenaikan kadar gas buang CO_2 tertinggi sebesar 8,1% dan O_2 tertinggi sebesar 6%.

Kata Kunci: minyak kelapa sawit, biodiesel, kadar gas buang.

Abstract

The development of the automotive industry is currently showing a rapid increase. Biodiesel is a renewable energy alternative to diesel fuel consisting of a mixture of *monoalkyl* esters from long chains of fatty acids. This study aims to analyze the characteristics of the physical properties of palm oil biodiesel fuel (density, viscosity, calorific value and flash point) and analyze the exhaust gas levels (CO , CO_2 , HC, and O_2). This research uses an experimental method. The fuels used are diesel (B0), palm oil biodiesel (B10, B20, B30, B40), and biodiesel (B100). Fuel characteristics testing is guided by ASTM standards (density D1298, viscosity D1343, calorific value D240 and flash point D93), exhaust gas (CO , CO_2 , HC, and O_2) testing. Exhaust gas level testing uses SNI 19-7118.2-2005 standard with a method with a fixed load of 500 watts. The engine rotation variations are 1200 rpm, 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm, and 2000 rpm. The results of the fuel density and viscosity characteristics test are increasing as the concentration of biodiesel increases. The results of the exhaust gas level test showed that B100 had the greatest influence. This is the lowest exhaust gas content obtained at lambda 1.15 of 1.2%Vol. The highest CO_2 exhaust level at lambda 1.22 of 15.50%Vol. The lowest HC exhaust gas level at lambda 1.15 of 250ppmVol. The highest O_2 exhaust gas content was 1.22 at 4.9%Vol. So it can be concluded that the exhaust gas content is best in the B40 fuel mixture with the highest average reduction in CO emissions of 24.1% and the most HC of 26% when compared to diesel, while the highest increase in CO_2 exhaust levels is 8.1% and O_2 is the highest of 6%.

Keywords: palm oil, biodiesel, exhaust gas rates.

PENDAHULUAN

Perkembangan industri otomotif saat ini menunjukkan peningkatan pesat, namun hal ini bertolak belakang dengan ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin menipis. Diketahui bahwa meningkatnya jumlah kendaraan yang ada di Indonesia menyebabkan peningkatan kebutuhan penggunaan bahan bakar fosil (Setiawan dkk., 2021). Kebutuhan akan bahan bakar fosil yang meningkat dapat menyebabkan peningkatan ketergantungan akan konsumsi bahan bakar fosil tersebut. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil dapat berdampak pada peningkatan emisi gas buang yang mencemari udara dan mengancam kesehatan manusia, serta lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan

upaya alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi dan mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Salah satu solusi yang banyak dikembangkan adalah pemanfaatan biodiesel sebagai bahan bakar alternatif (Ge *et al.*, 2022).

Bahan bakar biodiesel dikenal sebagai bahan bakar bebas sulfur, *biodegradable*, bersih, dan juga terbarukan (Wicaksono dkk., 2024). Selain itu, biodiesel memiliki efek pelumasan yang lebih baik dan angka setana yang tinggi (>50) yang dapat membantu memperpanjang umur mesin, serta meningkatkan performa mesin tanpa mengorbankan efisiensi mesin (Persulesy dkk., 2022).

Indonesia merupakan salah satu produsen minyak sawit terbesar di dunia. Minyak sawit yang melimpah diharapkan dapat segera dikembangkan agar pemanfaatannya sebagai bahan baku biodiesel menjadi pilihan yang strategis. Industri biodiesel berbasis minyak sawit juga memberikan kontribusi signifikan terhadap perekonomian nasional (Siregar *et al.*, 2021). Penggunaan biodiesel dari minyak sawit terbukti mampu menurunkan emisi gas buang hingga 47% dibandingkan dengan solar konvensional (Siregar *et al.*, 2015). Namun, penggunaan biodiesel juga memiliki masalah, salah satunya adalah potensi peningkatan emisi nitrogenoksida (NOx) yang berkontribusi terhadap polusi udara (Setiawan dkk., 2021).

Mesin diesel banyak digunakan dalam berbagai sektor, baik transportasi maupun industri karena efisiensinya dalam penggunaan bahan bakar serta kemampuannya untuk menghasilkan torsi yang tinggi (Afabek dkk., 2024). Namun, mesin diesel juga dikenal sebagai salah satu sumber utama emisi polutan seperti karbonmonoksida (CO), hidrokarbon (HC), nitrogen oksida (NOx), dan *particulate matter* (PM) yang berbahaya bagi kesehatan (Rohman dan Ponidi, 2021).

Dalam upaya mengurangi dampak negatif emisi, batasan emisi yang ditetapkan untuk mesin diesel di Indonesia mencakup CO 4,0 g/kWh, HC 0,55 g/kWh, NOx 3,5 g/kWh, dan *particulate matter* (PM) 0,03 g/kWh. Indonesia juga mengikuti langkah ini dengan menerapkan standar emisi Euro 4. Penerapan standar ini diharapkan dapat mengurangi polusi udara dari sektor transportasi dan mendorong kualitas udara yang lebih bersih.

Berdasarkan penelitian sebelumnya mengkaji emisi gas buang mesin diesel dengan menggunakan campuran solar dan biodiesel. Menurut Wahyudi dkk., (2019) melakukan penelitian uji kadar gas buang minyak solar dengan konsentrasi 20% (B20) dari masing-masing biodiesel dengan solar. Campuran B20 minyak biji kepuh memiliki tingkat emisi gas CO paling rendah. Campuran B20 minyak biji kepuh memiliki tingkat emisi gas HC yang paling rendah. Campuran B20 minyak biji kepuh menjadi campuran yang memiliki kadar opasitas paling rendah dengan penurunan rata-rata sebesar 26%.

Menurut Hariyanto dkk., (2021) pengujian yang diamati adalah emisi gas buang, yaitu CO dan HC yang diukur menggunakan alat uji orsat. Pengujian ini menggunakan variasi kecepatan, yaitu 1000, 1250, dan 1500 rpm. Diuji dalam mesin diesel satu silinder type R175A. Dari semua campuran bahan bakar, terlihat bahwa minyak atsiri menghasilkan emisi HC lebih tinggi dibandingkan biodiesel (B30). Setiap campuran bahan bakar mengalami kenaikan nilai CO dengan penambahan putaran mesin. Hal ini menunjukkan bahwa minyak atsiri menghasilkan emisi gas CO lebih tinggi daripada biodiesel (B30).

Menurut Wibowo dan Wayan, (2021) pengujian yang diamati adalah emisi gas buang, yaitu CO, CO₂, dan Opasitas untuk mengetahui kadar emisi dan gas buang pada mobil Isuzu Panther 2002 berbahan bakar biodiesel dari buah biji bintaro sebagai solusi alternatif penggunaan minyak bumi. Variasi pengujian yang dilakukan adalah pada 1500 hingga 3000 rpm dengan range 500 rpm menggunakan biodiesel B-0, B-20, dan B-30. Instrumen

penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah *smoke opacity meter*.

Dalam penelitian ini dilakukan pada kelompok besar dengan menggunakan bahan bakar biodiesel yang penulis sajikan tentang karakteristik pencampuran langsung minyak kelapa sawit (*Crude Palm Oil/CPO*) dan solar dalam mesin diesel Dafeng R180. Parameter input utama yaitu putaran mesin dan rasio pencampuran bahan bakar. Output yang dianalisis yaitu kadar gas buang (CO, HC).

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik bahan bakar (densitas dan viskositas) pada bahan bakar biosolar minyak kelapa sawit dan menganalisis pengaruh penggunaan bahan bakar biosolar minyak kelapa sawit terhadap kadar gas buang (CO, HC).

Manfaat dari penelitian ini adalah diharapkan menjadi sebuah ilmu pengetahuan terkait proses pembuatan biodiesel minyak kelapa sawit dan pengaplikasiannya terhadap mesin diesel serta parameter yang diamati.

METODE

Jenis Penelitian

Jenis penelitian ini merupakan penelitian eksperimen. Kadar gas buang yang dilakukan penelitian meliputi CO pada mesin Dafeng R180 dengan pembebanan sebesar 500 watt setiap variasi putaran mesin.

Waktu dan Tempat Penelitian

➤ Waktu Penelitian

Untuk pengambilan sampel dan pengujian dilakukan setelah seminar proposal tugas akhir dan disetujui oleh tim penguji kemudian melakukan pengambilan data dan analisa data.

➤ Tempat Penelitian

- Pengujian karakteristik bahan bakar dilakukan di Laboratorium Motor Bakar, Universitas Brawijaya.
- Pengujian kadar gas buang dilakukan di Laboratorium Motor Bakar, Universitas Brawijaya.

Bahan, Alat, Instrumen Penelitian

➤ Bahan

- Solar (B0)
- Biodiesel minyak kelapa sawit (B100)

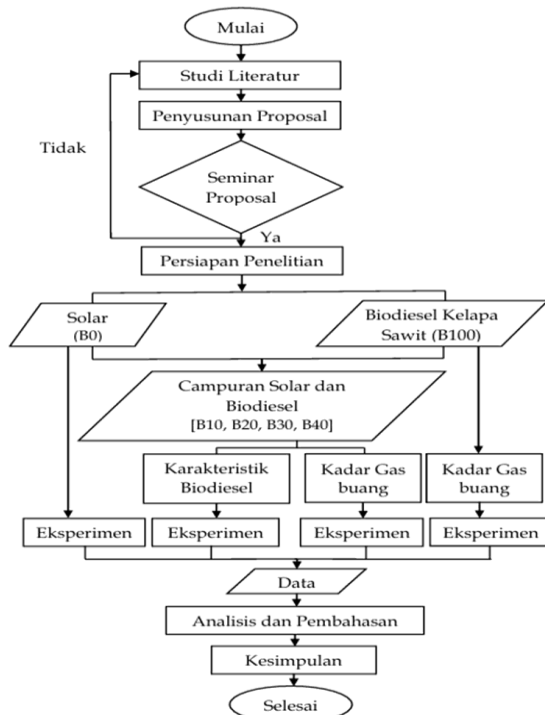
➤ Alat

- Mesin diesel DAFENG R180
- *Blower*
- *Magnetic Stirrer*

➤ Instrumen

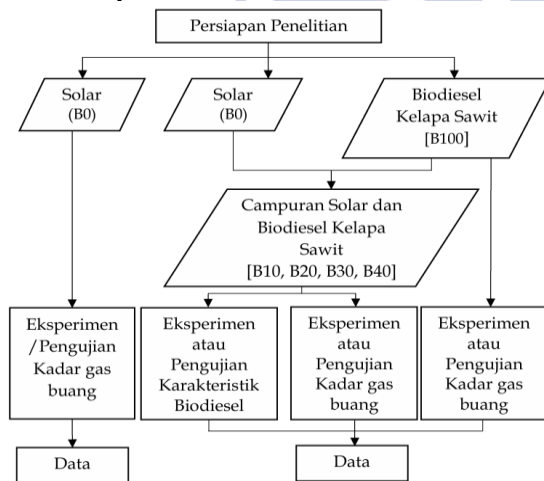
- *Gas Analyzer*
- *Tachometer* digital
- *Thermocouple*
- *Thermometer* digital

Rancangan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Desain Eksperimen



Gambar 2. Desain Eksperimen

Variabel Penelitian

➤ Variabel Bebas

Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah bahan bakar solar (B0), biodiesel (B100), dan biosolar minyak kelapa sawit (B10, B20, B30 dan B40).

➤ Variabel Terikat

Variabel terikat dalam penelitian ini adalah karakteristik bahan bakar (densitas dan viskositas) dan kadar gas buang (CO, HC).

➤ Variabel Kontrol

Dalam penelitian ini variabel kontrol yang digunakan antara lain:

- Mesin diesel dafeng R180 4 langkah 1 silinder dengan perbandingan kompresi 21:1.

- Pengujian kadar gas buang dilakukan pembebanan sebesar 500 watt setiap variasi putaran mesin.
- Temperatur mesin saat pengujian $\pm 60^{\circ}\text{C}$.

Teknik Analisa Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif. Deskriptif kuantitatif bertujuan untuk menganalisa data kuantitatif yang diperoleh dari data hasil pengujian atau pengukuran yaitu karakteristik sifat fisik bahan bakar (densitas, viskositas, nilai kalor dan titik nyala) dan pengujian kadar gas buang (CO, HC). Data tersebut dimasukkan kedalam tabel kemudian dikonversikan kedalam grafik. Data yang ada didalam tabel dan grafik dianalisis perubahan kadar gas buang kemudian dideskripsikan menjadi kalimat yang sederhana dan mudah dipahami, sehingga dapat diambil kesimpulan.

Prosedur Penelitian

- Proses produksi biodiesel dari bahan dasar minyak kelapa sawit (Crude Palm Oil) dilakukan di Laboratorium Bahan Bakar dan Pelumas, Universitas Negeri Surabaya.
- Melakukan pencampuran bahan bakar yaitu dengan variasi (B10, B20, B30 dan B40) menggunakan magnetic stirrer dengan putaran 300 rpm selama 3 menit agar campuran bahan bakar menjadi homogen.
- Melakukan pengujian karakteristik sifat fisika bahan bakar (densitas dan viskositas) di Laboratorium Motor Bakar, Universitas Brawijaya Malang.
- Melakukan pengujian kadar gas buang mesin diesel (CO, HC).
- Mempersiapkan bahan bakar yang akan dilakukan pengujian kadar gas buang.
- Mempersiapkan instrumen penelitian berupa mesin diesel dafeng R180, Gas analyzer, Thermometer digital, Thermocouple.
- Bahan bakar dituangkan kedalam tabung bahan bakar sebanyak 50ml.
- Menyalakan mesin diesel dafeng dan instrumen pembebanan.
- Mengatur putaran mesin sesuai variasi yang ditentukan yaitu (1200, 1400, 1600, 1800, dan 2000)rpm dan pembebanan sebesar 500watt.
- Mencatat hasil kadar gas buang untuk dilakukan pengolahan data ke dalam tabel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

- Hasil Campuran Bahan Bakar Biodiesel dan Solar



Gambar 3. Bahan bakar solar (B0), biosolar minyak kelapa sawit (B10, B20, B30, dan B40) dan biodiesel (B100)

2. Hasil Pengujian Karakteristik Bahan Bakar

Pengujian karakteristik campuran bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit dengan solar meliputi uji nilai kalor dan titik nyala. Hasil pengujian karakteristik bahan bakar disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengujian karakteristik bahan bakar biodiesel minyak kelapa sawit dengan solar

Parameter Uji	Satuan	Hasil Pengujian					
		B0 *	B10	B20	B30	B40	B100
Densitas	kg/m ³	815	834	838	841	842	883
Viskositas	cSt	2,0	4,4	4,8	4,9	5,2	6,0

3. Hasil Pengujian Kadar Gas Buang Mesin Diesel Dafeng R180

Tabel 2. Hasil rata- rata pengujian kadar gas buang CO

No.	RPM	B0		B10		B20		B30		B40		B100		Presentase Perubahan Kadar Gas Buang CO				
		λ	CO	λ	CO	λ	CO	λ	CO	λ	CO	λ	CO	Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5
1	1200	1,30	1,8	1,27	1,4	1,26	1,4	1,22	1,3	1,16	1,3	1,15	1,2	-22%	-22%	-28%	-28%	-33%
2	1400	1,28	1,9	1,25	1,6	1,24	1,5	1,21	1,4	1,15	1,4	1,13	1,3	-16%	-21%	-26%	-26%	-32%
3	1600	1,26	2,0	1,21	1,6	1,23	1,5	1,18	1,4	1,14	1,5	1,11	1,3	-20%	-25%	-30%	-25%	-35%
4	1800	1,24	2,1	1,20	1,7	1,21	1,7	1,16	1,7	1,13	1,6	1,10	1,5	-19%	-19%	-19%	-24%	-29%
5	2000	1,22	2,3	1,20	2,0	1,18	2,0	1,15	2,1	1,12	1,9	1,08	1,7	-13%	-13%	-9%	-17%	-26%
Rata-rata														-18%	-20,1%	-22,4%	-24,1%	-30,9%

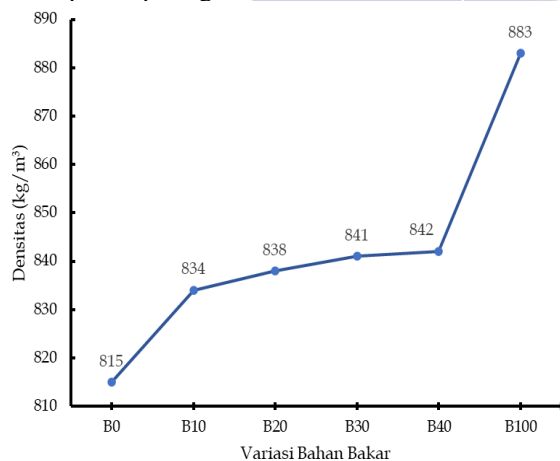
Tabel 3. Hasil rata- rata pengujian kadar gas buang HC

No.	RPM	B0		B10		B20		B30		B40		B100		Presentase Perubahan Kadar Gas Buang CO				
		λ	HC	λ	HC	λ	HC	λ	HC	λ	HC	λ	HC	Δ 1	Δ 2	Δ 3	Δ 4	Δ 5
1	1200	1,30	434	1,27	386	1,26	365	1,22	340	1,16	320	1,15	250	-11%	-16%	-22%	-26%	-42%
2	1400	1,28	446	1,25	395	1,24	373	1,21	345	1,15	320	1,13	280	-11%	-16%	-23%	-28%	-37%
3	1600	1,26	451	1,21	416	1,23	381	1,18	360	1,14	340	1,11	310	-8%	-16%	-20%	-25%	-31%
4	1800	1,24	475	1,20	426	1,21	416	1,16	370	1,13	350	1,10	350	-10%	-12%	-22%	-26%	-26%
5	2000	1,22	491	1,20	442	1,18	424	1,15	380	1,12	370	1,08	410	-10%	-14%	-23%	-25%	-16%
Rata-rata														-10,1%	-14,8%	-21,8%	-26,0%	-30,7%

Analisis dan Pembahasan Karakteristik Bahan Bakar

1. Densitas

Hasil pengujian densitas bahan bakar solar (B0), campuran solar dengan biodiesel minyak kelapa sawit (B10, B20, B30, B40) dan biodiesel (B100) ditampilkan pada gambar berikut ini.



Gambar 4. Grafik pengujian bahan bakar densitas

Berdasarkan tabel 1. dan gambar 4. densitas bahan bakar terus mengalami kenaikan. Semakin besar campuran biodiesel terhadap solar maka semakin tinggi nilai densitas dari bahan bakar tersebut. Dimana solar (B0) memiliki densitas terendah yaitu diangka 815 kg/m³, sedangkan untuk densitas tertinggi adalah biodiesel (B100) sebesar 883 kg/m³. Kenaikan densitas dari bahan bakar solar (B0) hingga bahan bakar biosolar (B40) sebesar 27,0 kg/m³ atau 3,31%. Sedangkan kenaikan densitas dari bahan bakar solar

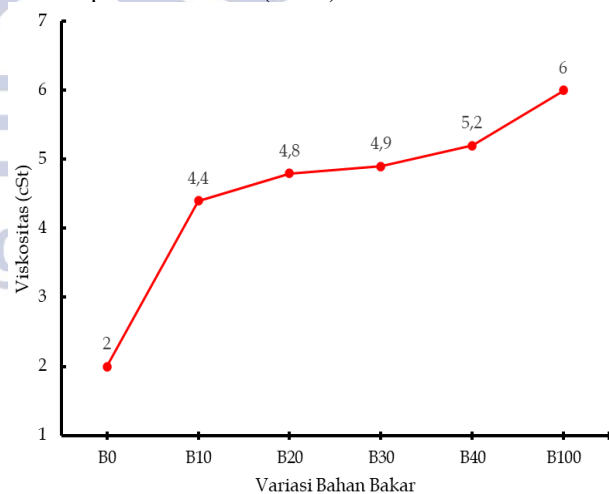
(B0) hingga bahan bakar biodiesel (B100) adalah sebesar 68,0 kg/m³ atau 8,34%.

Hal ini karena biodiesel minyak kelapa sawit (B100) memiliki nilai densitas yang lebih tinggi dari solar murni (B0). Peningkatan densitas pada biosolar dari B10 hingga B40 disebabkan oleh semakin banyaknya biodiesel dalam campuran.

Biodiesel minyak kelapa sawit B100 memiliki nilai densitas yang lebih tinggi dari solar B0. Densitas biodiesel dipengaruhi oleh kandungan komponen asam lemak tak-jenuh, dengan densitas yang semakin meningkat seiring dengan peningkatan kandungan asam lemak tak-jenuh (Abdurrojaq, *et al.*, 2021). Menurut penelitian Prabowo, (2020) Peningkatan nilai densitas terjadi disebabkan oleh peningkatan interaksi molekul dalam rangka pembentukan produk oksidasi. Bahan bakar yang memiliki rantai hidrokarbon yang lebih pendek dan lebih banyak asam lemak jenuh cenderung lebih rentan untuk terkristalisasi, sehingga menyebabkan penurunan volume dan akibatnya meningkatkan densitasnya. Secara bersamaan, massa bahan bakar meningkat pula sebagai akibat dari produk oksidasi.

2. Viskositas

Hasil pengujian viskositas bahan bakar solar (B0), campuran solar dengan biodiesel minyak kelapa sawit (B10, B20, B30, B40) dan biodiesel (B100) ditampilkan pada tabel 1. dan gambar 5. dapat dianalisis bahwa nilai viskositas terendah adalah solar (B0) sebesar 2 cSt, sedangkan untuk viskositas tertinggi adalah biodiesel (B100) sebesar 6 cSt. Ini menunjukkan kenaikan dari solar (B0) hingga biosolar (B40) sebesar 3,20 cSt atau 160%. Sedangkan peningkatan viskositas dari solar (B0) hingga biodiesel (B100) sebesar 4 cSt atau 200%. besarnya konsentrasi campuran biodiesel (B100).



Gambar 5. Grafik pengujian bahan bakar viskositas

Peningkatan nilai viskositas pada biosolar (B10, B20, B30, B40) dipengaruhi oleh viskositas pada biosolar yang mengandung biodiesel disebabkan oleh struktur kimia asam lemak penyusunnya, terutama panjang rantai karbon dan tingkat kejenuhan. Menurut penelitian Boichenko *et al.* (2025) menunjukkan bahwa

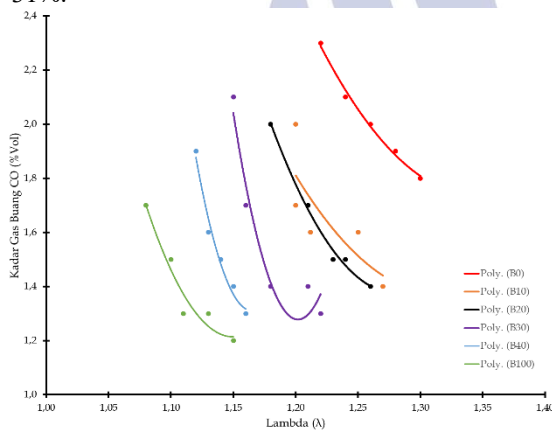
biodiesel dengan kandungan asam lemak jenuh dan rantai karbon lebih panjang memiliki viskositas yang lebih tinggi dibandingkan dengan asam lemak tak jenuh dan rantai yang lebih pendek. Selain itu, Menurut Folayan *et al.* (2019) memperlihatkan bahwa viskositas kinematik meningkat seiring panjang rantai asam lemak dalam ester.

Dengan demikian, semakin tinggi kandungan biodiesel dalam campuran B10 hingga B40 semakin dominan sifat molekul berat dan jenuh yang secara langsung menaikkan viskositas dari keseluruhan bahan bakar.

Kadar Gas Buang Mesin Diesel Dafeng R180

1. Kadar Gas Buang CO

Berdasarkan tabel 2. kadar gas buang yang dihasilkan oleh campuran bahan bakar solar dengan biosolar minyak kelapa sawit yang masing-masing mengalami penurunan jika dibandingkan dengan B0, B10 menurun sebesar 18%, B20 menurun sebesar 20%, B30 menurun sebesar 22%, B40 menurun sebesar 24%. Sedangkan pada B100 mengalami penurunan sebesar 31%.



Gambar 6. Grafik pengujian kadar gas buang CO

Dari hasil pengujian kadar gas buang CO pada tabel 2., jika ditampilkan dalam bentuk grafik akan terlihat seperti pada gambar 6. Kadar gas buang CO tertinggi dihasilkan oleh bahan bakar B0 sebesar 2,3%Vol pada putaran mesin 2000 rpm dengan lambda 1,22. Sedangkan kadar gas buang CO terendah dihasilkan oleh bahan bakar B100 sebesar 1,2%Vol pada putaran mesin 1200 rpm dengan lambda 1,15.

Grafik pada gambar 6. menunjukkan bahwa kadar gas buang CO secara konsisten menurun seiring meningkatnya campuran biodiesel dari B0 hingga B40, dan kecenderungan penurunan tersebut tetap terlihat hingga B100. Pada rentang lambda 1,15-1,08 biodiesel berada pada posisi yang paling rendah. Hal ini menunjukkan penambahan biodiesel memperbaiki kualitas bahan bakar sehingga bahan bakar memiliki cukup oksigen untuk bereaksi sempurna dalam proses pembakaran dan meminimalisir kadar gas buang CO. Hal ini terjadi karena biodiesel membantu bahan bakar mencukupi kandungan oksigen untuk bereaksi sehingga dapat meminimalisir kadar gas buang CO.

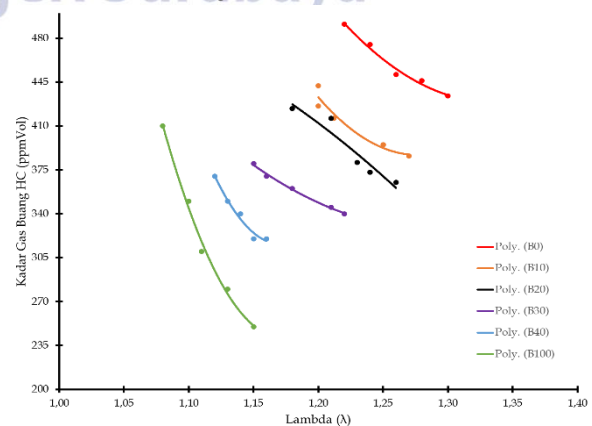
Selain itu, dipengaruhi oleh sifat kimia dan fisik biodiesel seperti densitas dan viskositas bahan bakar yang seimbang. Densitas yang tinggi (883kg/m^3) memungkinkan suplai energi yang besar per volume injeksi. Viskositas yang tinggi (6cSt) mendukung atomisasi yang baik dan pembakaran yang stabil. Sementara nilai kalor (9873cal/gr), meski lebih rendah dari B0, masih cukup untuk mendukung proses pembakaran yang efisien karena kandungan oksigen biosolar mempercepat reaksi pembakaran.

Kadar gas buang karbon monoksida tinggi pada saat lambda (λ) rendah terjadi karena pada saat lambda rendah campuran udara dan bahan bakar menjadi lebih gemuk sehingga campuran udara dan bahan bakar mengandung oksigen yang minim. Proses pembakaran yang terjadi tidak sempurna sehingga setelah terjadinya proses pembakaran terbentuk kadar HC dan CO meningkat sedangkan CO_2 menurun. Pada saat lambda tinggi kadar gas buang karbon monoksida menjadi rendah, hal ini disebabkan campuran udara dan bahan bakar menjadi lebih kurus karena campuran udara dan bahan bakar memiliki kandungan oksigen yang cukup sehingga terjadi pembakaran yang sempurna.

Hal ini yang ditunjang dengan penelitian terdahulu oleh Atadashi *et al.* (2024) menyatakan bahwa kandungan oksigen biodiesel meningkatkan kualitas pembakaran pada mesin diesel tekanan tinggi sehingga menurunkan emisi CO. Penelitian lain oleh Sharma *et al.* (2024) menemukan bahwa biodiesel blends secara konsisten menghasilkan emisi CO lebih rendah pada uji *dyno engine* dengan variasi AFR (*Air Fuel Ratio*). Kadar gas buang CO terhadap lambda pada putaran mesin apabila dilakukan perhitungan rata-rata dari masing-masing hasil pengujian mesin sudah memenuhi standar kadar gas buang CO yaitu maksimal 4,0 gr/kWh.

2. Kadar Gas Buang HC

Berdasarkan tabel 3., kadar gas buang yang dihasilkan oleh campuran bahan bakar solar dengan biosolar minyak kelapa sawit yang masing-masing mengalami penurunan jika dibandingkan dengan B0, B10 menurun sebesar 10%, B20 menurun sebesar 15%, B30 menurun sebesar 19%, B40 menurun sebesar 26%. Sedangkan pada B100 mengalami penurunan sebesar 31%.



Gambar 7. Grafik pengujian kadar gas buang HC

Dari hasil pengujian kadar gas buang HC pada tabel 3., jika ditampilkan dalam bentuk grafik akan terlihat seperti pada gambar 7. Kadar gas buang HC tertinggi dihasilkan oleh bahan bakar B0 sebesar 491ppmVol pada putaran mesin 2000 rpm dengan lambda 1,22. Sedangkan kadar gas buang HC terendah dihasilkan oleh bahan bakar B100 sebesar 250ppmVol pada putaran mesin 1200 rpm dengan lambda 1,15.

Pada gambar 7. di atas menunjukkan hasil pengujian kadar gas buang dari kelompok standar (B0) dengan kelompok eksperimen (B10, B20, B30, B40, dan B100), terlihat bahwa kadar emisi HC cenderung menurun seiring dengan peningkatan nilai lambda. Hal ini menunjukkan penambahan biodiesel membantu menyempurnakan proses pembakaran sehingga bahan bakar dapat habis terbakar dan mengurangi gas buang HC.

Kadar gas buang hidrokarbon tinggi pada saat lambda (λ) rendah terjadi karena campuran bahan bakar dan udara memiliki lebih sedikit bahan bakar sehingga terjadi lambatnya rambatan api yang menyebabkan bahan bakar tidak terbakar semua. Pada saat lambda ideal kadar gas buang HC menjadi rendah, hal ini terjadi pada saat lambda ideal campuran bahan bakar-udara stoikiometri sehingga bahan bakar dapat habis terbakar. Pada saat lambda rendah kadar gas buang hidrokarbon menjadi sangat tinggi, hal ini disebabkan campuran bahan bakar menjauhi stoikiometri ($\lambda < 1$) dan menjadi lebih gemuk sehingga proses pembakaran yang terjadi secara tidak sempurna kekurangan O_2 sehingga setelah terjadinya proses pembakaran terbentuk kadar HC dan CO meningkat sedangkan kadar CO_2 menurun.

Meskipun demikian, secara umum menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai lambda, kadar gas buang HC tetap cenderung menurun pada seluruh variasi bahan bakar. Dengan demikian, peningkatan nilai lambda terbukti berkontribusi positif dalam mengurangi hidrokarbon tidak terbakar, meskipun pengaruhnya bervariasi tergantung pada proporsi biodiesel dalam campuran bahan bakar.

Hal ini ditunjang dengan penelitian terdahulu oleh Giakoumis (2023) menyatakan bahwa biodiesel secara konsisten menurunkan HC karena oksigen terikat meningkatkan stabilitas penyalan api dan mengurangi pembentukan hidrokarbon residu. Penelitian yang lain oleh Atadashi *et al.* (2024) menjelaskan bahwa seluruh jenis biodiesel dari minyak nabati menunjukkan penurunan HC pada mesin diesel karena angka setana yang lebih tinggi mempercepat pembakaran.

Kadar gas buang HC terhadap lambda pada putaran mesin apabila dilakukan perhitungan rata-rata dari masing-masing hasil pengujian mesin sudah memenuhi standar kadar gas buang HC yaitu maksimal 0,55 gr/kWh.

PENUTUP

➤ Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, analisis dan pembahasan dari pembakaran bahan bakar solar (B0), campuran bahan bakar solar dengan biodiesel minyak

kelapa sawit (B10, B20, B30, B40) dan biodiesel minyak kelapa sawit (B100) terhadap kadar gas buang mesin diesel Dafeng R180 adalah sebagai berikut:

- Karakteristik bahan bakar meliputi densitas, viskositas mengalami kenaikan seiring meningkatnya presentase biodiesel pada bahan bakar biosolar. Nilai densitas, viskositas tertinggi dihasilkan oleh biodiesel minyak kelapa sawit B100. Penambahan biodiesel pada bahan bakar solar mempengaruhi nilai karakteristik bahan bakar yang dihasilkan.
- Hasil uji kadar gas buang CO terendah didapatkan pada putaran mesin 1200 rpm dengan lambda 1,15 yaitu sebesar 1,2%Vol dan mengalami penurunan rata-rata sebesar 30,9% dihasilkan oleh bahan bakar B100 jika dibandingkan dengan B0.
- Hasil uji kadar gas buang HC terendah didapatkan pada putaran mesin 1200 rpm yaitu sebesar 250ppmVol dengan lambda 1,15 dan mengalami penurunan rata-rata sebesar 30,7% dihasilkan oleh bahan bakar B100 jika dibandingkan dengan bahan bakar B0.

➤ Saran

Dari hasil penelitian, analisis, serta pembahasan yang telah dilaksanakan, diberikan saran untuk penelitian di masa mendatang sebagai berikut:

- Pengujian karakteristik bahan bakar dapat dilanjutkan dengan perbandingan bahan bakar yang lebih tinggi dan menambahkan pengujian cetane number atau angka setana. Supaya bisa digunakan sebagai bahan dasar pembahasan dan pertimbangan semakin detail terkait analisa kinerja mesin diesel.
- Hendaknya pada saat pengujian putaran mesin yang lebih tinggi dan beban yang lebih tinggi agar data pengujian yang dihasilkan valid.
- Penggunaan konsentrasi biosolar yang digunakan pada campuran hendaknya disesuaikan dengan kondisi mesin kalau bisa mesin diesel keluaran terbaru.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ir. Priyo Heru Adiwibowo, S.T., M.T., IPM., selaku Koordinator Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya, Prof. Dr. Drs. Muhaji, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan pengarahan dan nasehat kepada penulis. Aris Purwanto, S.Pd., M.Sc., dan Sumardi selaku Kalab dan Teknisi Laboratorium Motor Diesel, Teknik Mesin, Universitas Negeri Surabaya atas dukungan dan tempat dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrojaq, A., Putra, A. P., & Suryawan, I. W. (2021). Characteristics and density behavior of palm-oil-based biodiesel with varying unsaturated fatty acid composition. *Journal of Renewable Fuels and Energy Conversion*, 6(2), 85–94.

- Amirulhadi, M., & Fathul Hakim, A. (2020). Effects of CPO Biodiesel Blend Ratio on the Performance and Emission of Compression Ignition Engine. *Progress in Engineering Application and Technology*, 1(1), 428–437. <https://doi.org/10.30880/peat.2020.01.01.045>.
- Atadashi, I. M., Aroua, M. K., & Aziz, A. A. (2024). Combustion and emission characteristics of biodiesel and its blends: A comprehensive review. *Renewable Energy*, 230, 1205–1220.
- Boichenko, S., Ivanova, O., Koryachkina, S., & Sokolov, A. (2025). Viscosity behavior of fatty-acid-based biodiesel with varying saturation and carbon-chain length. *Renewable Energy*, 245, 122153.
- Busyairi, M., Za'im Muttaqin, A., Meicahyanti, I., & Saryadi, S. (2020). Potensi Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis Serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 5(2), 933-940.
- Cappenberg, A. D. (2017). Pengaruh Pemberian Aditif Terhadap Prestasi Mesin Dieselm444la. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur*, 4, 37-44.
- Chakiim, L., Supriyadi, S., & Hermana, R. (2023). Uji Performa Mesin Diesel Isuzu C190 Menggunakan Campuran Bahan Bakar Biodiesel Minyak Jelantah 30% Dengan Pertamina Dex 70%. In *Proceeding Science and Engineering National Seminar* (Vol. 8, No. 1, pp. 356-363).
- Fadhilah, G.N., & Sari, A.D. (2023). Produksi Biodiesel Yang Berbahan Baku Kelapa Sawit Dengan Melibatkan Katalis Homogen Dan Heterogen. Program Studi S-1 Teknik Kimia, Universitas Singaperbangsa Karawang.
- Folayan, J. A., Babalola, R., & Ogbuagu, U. (2019). Effect of fatty acid chain length on kinematic viscosity of biodiesel fuels. *Energy Reports*, 5, 1459–1466.
- Ge, J. C., Yoon, S. K., & Song, J. H. (2022). Combustion and emission characteristics of a diesel engine fueled with crude palm oil blends at various idling speeds. *Applied Sciences*, 12(13), 6294.
- Giakoumis, E. G. (2023). A critical analysis of biodiesel combustion phenomena and emission behavior in diesel engines. *Fuel*, 353, 129–145.
- Hariyanto, H., Gamayel, A., & Mulyana, F. (2021). Pengaruh Campuran Biodiesel-Minyak Nabati-Minyak Atsiri Terhadap Emisi Gas Buang Mesin Diesel. *Jurnal Mekanik Terapan*, 2(1), 41-47.
- Hasibuan, (2012). Kajian mutu dan Karakteristik Minyak Sawit Indonesia serta Produk Fraksinasinya. 13-21.
- Hodijah, N., Amin, B., & Mubarak, M. (2014). Estimasi Beban Pencemar dari Emisi Kendaraan Bermotor di Ruas Jalan Kota Pekanbaru. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 1(2), 71-79.
- Ilmhanfik, A., Pratama, R. D., & Wijaya, H. (2025). Pengaruh rasio pencampuran biodiesel (B0–B40) pada nilai pemanasan dan karakteristik pembakaran bahan bakar diesel. *Jurnal Ilmu Biofuel dan Kinerja Mesin*, 12(1), 44–55.
- Irfan, S., & Purnomo, H. (2018). Studi komparasi emisi gas buang mesin diesel menggunakan bahan bakar solar dan minyak kelapa (virgin coconut oil). *Jurnal 7 Samudra*, 3(1), 18-25.
- Jayanti, N. E., Hakam, M., & Santiasih, I. (2014). Emisi Gas Carbon Monooksida (Co) Dan Hidrocarbon (Hc) Pada Rekayasa Jumlah Blade Turbo Ventilator Sepeda Motor “Supra X 125 Tahun 2006”. *Rotasi*, 16(2), 1-5.
- Maharbudi, D., Bugis, H., & Ranto, R. (2021). Pengaruh Penggunaan Variasi Jenis Busi Dan Variasi Bahan Bakar Terhadap Emisi Gas Buang HC, CO, CO2 Dan O2 Pada Sepeda Motor Honda Beat FI Tahun 2016. *NOZEL Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 3(1), 66. <https://doi.org/10.20961/nozel.v3i1.63317>
- MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA. (2017). PENERAPAN BAKU MUTU EMISI KENDARAAN BERMOTOR KATEGORI M, KATEGORI N, KATEGORI O, DAN KATEGORI L. PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 20 TAHUN 2017.
- Nasution, M. (2022). Bahan Bakar Merupakan Sumber Energi Yang Sangat Diperlukan Dalam Kehidupan Sehari Hari. *Journal of Electrical Technology*, 7(1), 29-33.
- Novela, R., Pratiwi, S., & Lestari, D. (2019). Pengaruh karakteristik minyak nabati terhadap titik nyala biodiesel yang dihasilkan. *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, 8(2), 101–108.
- Ooi, K. B., Tan, G. W. H., Al-Emran, M., Al-Sharafi, M. A., Capatina, A., Chakraborty, A., & Wong, L. W. (2025). The potential of generative artificial intelligence across disciplines: Perspectives and future directions. *Journal of Computer Information Systems*, 65(1), 76-107.
- Pakan, Y., & Fadli, E. R. (2021). Analisis variasi putaran terhadap torsi dan daya pada motor diesel satu silinder. *Jurnal Voering*, 6(1), 33-38.
- 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.
- Prabowo, A. (2024). Karakteristik biodiesel nyamplung–jelantah pada variasi kadar campuran B0–B40. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. <https://etd.umsy.ac.id/id/eprint/48424/>
- Pratama, R. (2023). Perencanaan Motor Bakar Diesel dengan Daya 824 Hp untuk Menggerakkan Generator Listrik dengan Kapasitas 512, 5 Kva (Doctoral dissertation, Universitas Tjut Nyak Dhien).
- PT. Pertamina (Persero). (2023). Ini Dia Jenis Bahan Bakar Mesin Diesel Pertamina. <https://onesolution.pertamina.com/Insight/Page/ini-dia-jenis-bahan-bakar-mesin-diesel-pertamina> diakses pada 1 November 2024.
- Purnomo, H., Barokah, B., Kriswanto, K., Darmawan, P. D., Rizki, R. A., & Aring, J. N. (2023, November). INVESTIGASI KADAR CARBON MONOXIDE (CO) EMISI GAS BUANG HASIL PEMBAKARAN BEBERAPA JENIS BAHAN BAKAR DIESEL:-. In

- Prosiding SNITP (Seminar Nasional Inovasi Teknologi Penerbangan) (Vol. 7, No. 1).
- Qomaruddin, A. (2014). Eksperimen Pembuatan Bioetanol Berbahan Baku Umbi Suweg (*Amorphophallus Campanulatus*) Sebagai Bahan Bakar Alternatif. S1 Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya.
- R. El-Araby, Ashraf Amin, A.K. El Morsi, N.N. El-Ibiari, G.I. El-Diwani. (2018). —Study on the characteristics of pal oil-biodiesel-diesel fue blendl. *Egyptian Journal of Petroleum* 27 187-194.
- Rahardja, S., & Ramadhan. (2019). Analisis Kalori Biodiesel Crude Palm Oil (CPO) dengan katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit (ATJKS). *Jurnal seminar Sains dan Teknologi*, ISSN: 2407-1846, 16 Oktober 2019.
- Rohman, I. M. (2021). Pengaruh Penggunaan Bahan Bakar Biosolar, Biosolar Dengan Aditive Dan Pertamina Dex Pada Mitsubishi L-300 Terhadap Kepekatan Asap. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur dan Energi*, 4(1), 73-82.
- Rusli, M. S., Ramadhan, G., Setiaprja, H., & Farobie, O. (2022). Pengaruh penambahan bioaditif minyak atsiri pada bahan bakar biosolar terhadap kinerja mesin diesel. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32(1), 65-73.
- Saksono, P. (2023). Analisis Pengaruh Jenis Bahan Bakar Terhadap Nilai Emisi Gas Buang Pada Diesel Engine Common Rail System. *Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 8(2).
- Samlawi, A. K. (2018). Teori Dasar Motor Diesel.
- Sasmita, A., Yohanes, Y., & Yolanda, K. (2022). Analisis Emisi Gas Buang dari Mesin Diesel Modifikasi Dipengaruhi Daya Mesin dan Bahan Bakar Campuran Oli Bekas dan Dexlite. *Semesta Teknika*, 25(2), 170-178.
- Setiawan, D. (2012). Karakteristik bahan bakar dan implikasinya terhadap keselamatan penyimpanan. Jakarta: Penerbit Teknik Energi.
- Sharif, P. M., Aziz Hairuddin, A., As' arry, A., Rezali, K. A. M., Noor, M. M., Norhafana, M., & Shareef, S. M. (2019, January). Nano gas bubbles dissolve in gasoline fuel and its influence on engine combustion performance. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 469, p. 012062). IOP Publishing.
- Sharma, P., Singh, R., & Agarwal, A. K. (2024). Performance and emission behavior of diesel engines fueled with biodiesel blends: Recent advances. *Energy Conversion and Management*, 295, 117350.
- Siregar, K., Sofyan, H., Nasution, I. S., Ichwana, R., Syafriandi, S., Sofiah, I., & Miharza, T. (2021). Study of life cycle assessment in biodiesel production from crude palm oil and its benefits for the sustainability of oil palm industry in Aceh province Indonesia. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 644, No. 1, p. 012017). IOP Publishing.
- Siregar, K., Tambunan, A. H., Irwanto, A. K., Wirawan, S. S., & Araki, T. (2015). A comparison of life cycle assessment on oil palm (*Elaeis guineensis* Jacq.) and physic nut (*Jatropha curcas* Linn.) as feedstock for biodiesel production in Indonesia. *Energy Procedia*, 65, 170-179.
- Sugiantoro, Shah, M., & Haryono, E. (2023). Analisis Unjuk Kerja Four Stroke Diesel Engine Menggunakan Bahan Bakar Multi-Feesdstock Biodiesel Menggunakan (Minyak Kelapa Sawit, Minyak Kelapa, Minyak Jagung).
- Sugiarto, B. (2024). Efek rasio pencampuran biodiesel pada perilaku titik nyala bahan bakar diesel-biodiesel. *Jurnal Sifat Bahan Bakar dan Analisis Pembakaran*, 15(1), 55–63.
- Sugiyono. (2008). metode penelitian kualitatif ,kualitatif dan r&d. Metode. *Metode Penelitian*, 1(5). Sugiyono. (2022). Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif.
- Sukri, S., Sasongko, M. N., & Widodo, T. D. (2021). Pengaruh Campuran Bahan Bakar Biodiesel Wco-Diesel Terhadap Karakteristik Api Hasil Pembakaran Spray Difusi Pada Concentric Jet Burner. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(2), 459-466.
- Syahrani, A. (2006). Analisa kinerja mesin bensin berdasarkan hasil uji emisi. *SMARTek*, 4(4), 222-271.
- Syarifudin, S., Supriyadi, A., Nurcahyo, H., & Dairoh, D. (2019). PENGARUH VISKOSITAS BIODIESEL CAMPURAN SOLAR-MINYAK SAWIT-ALKOHOL TERHADAP POTENSI PENURUNAN PERFORMA DAN PENINGKATAN EMISI JELAGA. *SNATIF*, 5(2), 92-95.
- Telaombanoea, F. (2016). Penelitian Kandungan Gas Buang Beracun Pada Mesin Diesel 2500 CC Yang menggunakan Bahan Bakar Solar dan Bahan Bakar Biosolar. *Warta Dharmawangsa*, (50).
- Thifal, M., Mustaqimah, M., & Darwin, D. (2023). Analisis Rendemen Biodiesel yang Dihasilkan CPO (Crude Palm Oil) dengan Metode Elektrolisis. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 8(1), 278-282.
- Topayung, A., Haryanto, A., & Nuraini, L. (2024). Kontribusi sifat fisik (kepadatan dan viskositas) terhadap peningkatan titik nyala dalam campuran biodiesel sawit. *Jurnal Internasional Penelitian Biofuel*, 7(1), 33–41.
- V.L. Meleev. (1945). *Internal Combustion Engines Theory and Design*. McGraw-Hill.
- Wahyudi, D. A., Ranto, R., & Basori, B. (2019). ANALISIS PERBANDINGAN BIODIESEL MINYAK SAWIT, MINYAK BIJI KEPUH DAN MINYAK JELANTAH TERHADAP EMISI GAS BUANG DAN OPASITAS PADA MESIN DIESEL. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Dan Kejuruan*, 11(1), 22. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v11i1.19094>
- Wibowo, N., & Susila, W. (2021). ANALISA KADAR EMISI DAN GAS BUANG MOBIL ISUZU PANTHER 2002 BERBAHAN BAKAR BIODIESEL DARI BUAH BIJI BINTARO. *Jurnal Teknik Mesin*, 9(03), 137-144.
- Wicaksono, Y. A., Trihatmojo, A. A., & Winangun, K. (2024). Studi Simulasi Pengaruh Variasi Waktu Injeksi Terhadap Karakteristik Pembakaran dan Emisi Gas Buang Mesin Diesel 1 Silinder Berbahan Bakar Biodiesel B30. Turbo: *Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 13(1).