

# SINTESIS FAME DARI JELANTAH SEBAGAI BAHAN BAKU BIOSOLAR DAN BLENDING DENGAN BIOADITIF FRAKSI MINYAK ATSIRI SERAI WANGI UNTUK OPTIMALISASI PEMBAKARAN PADA MESIN DIESEL

Noor Fitri<sup>1,2\*</sup>, Anindya Kiranandika Syahrizal<sup>3</sup>, Arif Hidayat<sup>4</sup>, Irfan Aditya Dharma<sup>5</sup>, Riskiyatul Maulidiyah<sup>1</sup>, Khofifah<sup>1</sup>, Qomarudin Sukri<sup>6</sup>, Rahmat Syahputra<sup>6</sup>, Ika Ila Nurhuddah<sup>6</sup>

<sup>1</sup>*Master of Chemistry Universitas Islam Indonesia*

<sup>2</sup>*Center of Essential Oil Study Universitas Islam Indonesia*

<sup>3</sup>*Departement of Chemistry Universitas Islam Indonesia*

<sup>4</sup>*Departement of Chemical Engineering Universitas Islam Indonesia*

<sup>5</sup>*Department of Mechanical Engineering Universitas Islam Indonesia*

<sup>6</sup>*PT. Arutmin Indonesia Tambang Kintap, Kalimantan Selatan.*

\*Email: noor.fitri@uii.ac.id

## ABSTRAK

Kebutuhan bahan bakar diesel di Indonesia yang kian meningkat menimbulkan permasalahan pada kelangkaan BBM. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memanfaatkan *Fatty Acid Metil Ester* (FAME) yang disintesis dari jelantah sebagai bahan baku biosolar B35. Selain itu, penggunaan bahan bakar diesel berdampak negatif terhadap lingkungan berupa emisi gas buang CO, CO<sub>2</sub>, HC, O<sub>2</sub>, dan NO<sub>x</sub> yang dihasilkan dari proses pembakaran yang tidak sempurna. Dalam mengatasi permasalahan tersebut, penambahan bioaditif dilakukan sebagai penyumbang gugus oksigenat untuk mengoptimalkan pembakaran dalam mengurangi emisi gas buang. Tahapan penelitian terdiri dari: 1) Sintesis FAME dari minyak jelantah melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa; 2) B35 diformulasikan dari 35% FAME dengan penambahan 65% Dexlite; 3) Penambahan bioaditif dari fraksi minyak serai wangi; 4) Pengujian emisi gas buang menggunakan mesin diesel Nissan SD 22. Hasil penelitian menunjukkan kadar FAME yang diperoleh 99,86%. Penambahan bioaditif pada B35 mampu menurunkan emisi gas CO sebesar 45%, namun emisi gas HC tidak berubah signifikan.

Kata Kunci: *Fatty Acid Metil Ester*, Biosolar, Bioaditif, Uji Emisi.

## ABSTRACT

*The increasing demand for diesel fuel in Indonesia has caused problems with fuel shortages. This research aims to utilize Fatty Acid Metil Ester (FAME) synthesized from used cooking oil waste as a raw material for B35 biodiesel. In addition, diesel fuel has a negative impact on the environment in the form of CO, CO<sub>2</sub>, HC, and NO<sub>x</sub> exhaust gas emissions resulting from the incomplete combustion process. Therefore, bio additives have been implemented as oxygenated groups to optimize combustion and reduce exhaust emissions. The research stages consisted of 1) FAME synthesized from cooking oil waste through a transesterification reaction using a base catalyst; 2) B35 formulated from 35% FAME with the addition of 65% Dexlite; 3) Bioadditives added from the citronella oil fraction; 4) Emissions tested using a Nissan SD 22 diesel engine. The results have shown the obtained FAME content is 99,86%. The addition of bio additives in B35 has reduced CO emissions by 45%. However, HC emissions didn't change significantly.*

Keywords: *Fatty Acid Metil Ester*, Biosolar B35, Bioadditive, Emission test.

## PENDAHULUAN

Kebutuhan minyak solar dalam sektor industri kian meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan industri di Indonesia, namun hal ini tidak sejalan dengan produksi minyak solar dalam negeri. Bahan bakar minyak (BBM) petrodiesel atau solar merupakan bahan bakar yang tidak dapat diperbaharui sehingga ketersediaannya kian menipis. Menurut Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (2020) cadangan minyak bumi Indonesia hanya cukup untuk memenuhi kebutuhan untuk 9 – 10 tahun kedepan. Ketersediaan bahan bakar minyak yang tidak dapat memenuhi kebutuhan industri menjadikan harga dari minyak tersebut kian meningkat. Salah satu cara untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan penambahan atau pencampuran dengan bahan alam lain seperti minyak nabati yang dapat diperbaharui.

Sejauh ini pengembangan dan pemanfaatan bahan bakar diesel dengan penambahan minyak nabati sudah mulai dikembangkan sebagai pengganti atau sebagai bahan pencampur (Agumsah et al., 2023). Indonesia sebagai salah satu penghasil minyak sawit yang mampu memproduksi sebanyak 42 juta ton/tahun mampu mendorong produksi bahan bakar minyak dengan campuran minyak nabati (biosolar) (Syahbana dkk., 2022). Pemanfaatan dan penggunaan BBM biosolar didukung dengan adanya Undang-undang tentang Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 12 Tahun 2015 tentang pasokan, pemanfaatan dan sistem perdagangan biofuel (Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2008).

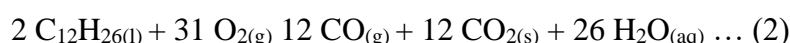
Masalah lain penggunaan mesin bertenaga diesel adalah dampak terhadap lingkungan karena menghasilkan gas buang beracun akibat pembakaran dalam mesin yang tidak sempurna seperti Hidrokarbon (HC), Karbon Monoksida (CO), dan Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), serta partikulat. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka dibutuhkan bahan bakar diesel yang memiliki angka setana yang tinggi. Peningkatan mutu dari bahan bakar dipengaruhi oleh parameter bahan bakar dan ketersediaan oksigen yang cukup. Kesesuaian bahan bakar terhadap parameter yang digunakan akan mempengaruhi kinerja bahan bakar diesel.

Inovasi dan pengembangan energi terbarukan sangat dibutuhkan guna mendapatkan bahan bakar yang lebih efektif, hemat, serta ramah lingkungan sebagai bentuk tindak lanjut dari penggunaan bahan bakar minyak yang tidak dapat diperbaharui serta dampak negatif yang ditimbulkan. Langkah ini termasuk kedalam bentuk konservasi energi. Salah satu bentuk dari konservasi energi yang kini mulai dan terus dikembangkan adalah penggunaan zat aditif untuk bahan bakar (Setyaningsih dkk., 2018). Zat aditif merupakan bahan tambahan yang dilarutkan

dalam bahan bakar guna meningkatkan kinerja dengan efisiensi yang tinggi. Harapannya dari penambahan zat aditif dalam campuran biosolar mampu meningkatkan mutu bahan bakar, memaksimalkan pembakaran dalam mesin dan mengurangi potensi pencemaran lingkungan akibat pembakaran yang tidak sempurna. Hal ini menyebabkan tenaga yang dihasilkan oleh mesin lebih besar, serta mampu menurunkan nilai emisi gas buang yang terbentuk, serta konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit dalam satuan waktu pembakaran bahan bakar minyak (Alfian et al., 2022).

Sumber daya alam di Indonesia yang sangat beragam menjadikan penelitian terus dikembangkan. Salah satunya pengembangan mengenai tumbuhan yang memiliki fungsi sebagai zat aditif seperti minyak atsiri (Muhyi dkk., 2019). Minyak atsiri termasuk ke dalam bahan organik yang memiliki potensi besar sebagai bahan aditif serta tidak memiliki dampak negatif bagi lingkungan karena diperoleh dari tumbuhan. Pemilihan minyak atsiri sebagai bahan bio aditif untuk campuran bahan bakar minyak disesuaikan dengan kemiripan karakteristiknya seperti berat jenis, titik didih, titik nyala, sifatnya yang mudah menguap, mudah larut dalam bahan bakar minyak, serta tersusun dari senyawa hidrokarbon oksigenat.

Hasil pembakaran bahan bakar minyak juga mampu menghasilkan beberapa komponen tidak berbahaya seperti nitrogen, oksigen, dan karbon dioksida serta komponen berbahaya seperti karbon monoksida, berbagai senyawa hidrokarbon, senyawa  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$ , dan partikulat debu termasuk timbal (Pb) (Tenri Lawang dkk., 2019). Menurut Fitri, dkk(2022), terdapat adanya dua kemungkinan reaksi pembakaran yang terjadi dalam system pembakaran bahan bakar dalam mesin yaitu reaksi pembakaran sempurna (persamaan 1) dan reaksi pembakaran tidak sempurna (persamaan 2).



(Fitri, dkk., 2020)

Salah satu minyak atsiri yang dapat digunakan sebagai bahan baku bioaditif diantaranya minyak serai wangi. Senyawa utama yang terdapat pada minyak serai wangi yaitu sitronelal, sitronelol, dan geraniol. Ketiga senyawa tersebut tergolong ke dalam senyawa monoterpen yang tersusun dari karbon lurus dengan kandungan atom oksigen yang cukup melimpah. Selain itu, adanya gugus alkohol (-OH) dan aldehyd (-CHO) akan mengalami reaksi dengan gas CO dari hasil pembakaran bahan bakar minyak yang akan membentuk  $\text{CO}_2$ , sehingga menghasilkan emisi gas CO yang lebih rendah (Milenia dkk., 2022).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Dwi Anggryani S, dkk (2014) dalam pengembangan formulasi bioaditif super “RON Booster” pada bahan bakar Minyak melalui Ekstraksi minyak serai wangi menggunakan gelombang mikro menunjukkan bahwa minyak serai wangi berpotensi sebagai bioaditif pada bahan bakar minyak dibuktikan dengan kemampuannya dalam menurunkan laju konsumsi bahan bakar yang digunakan. Konsentrasi campuran optimum yang dapat digunakan sebesar 0,3%. Pada konsentrasi tersebut laju konsumsi bahan bakar dapat diturunkan serta mampu meningkatkan angka setana dari bahan bakar (Agustian dkk., 2014). Selain itu, senyawa utama dalam minyak serai wangi yaitu sitronelal mengandung hidrokarbon oksigenat yang diharapkan dapat memudahkan pembakaran bahan bakar dalam ruang bakar mesin. Ikatan siklis dan rantai terbuka dari senyawa tersebut diharapkan pula mampu membantu menurunkan kekuatan ikatan antar molekul penyusun bahan bakar agar pembakaran terjadi secara efektif.

Tujuan dari penelitian ini adalah sintesis FAME dari minyak jelantah sebagai bahan baku biodiesel dan blending biodiesel dengan bio-aditif fraksi minyak serai wangi untuk menurunkan emisi gas buang. Tahapan penelitian terdiri dari: 1) Sintesis FAME dari minyak jelantah melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis basa; 2) B35 diformulasikan dari 35% FAME dengan penambahan 65% Dexlite; 3) Penambahan bioaditif dari fraksi minyak serai wangi; 4) Pengujian emisi gas buang menggunakan mesin diesel Nissan SD 22

## **METODE PENELITIAN**

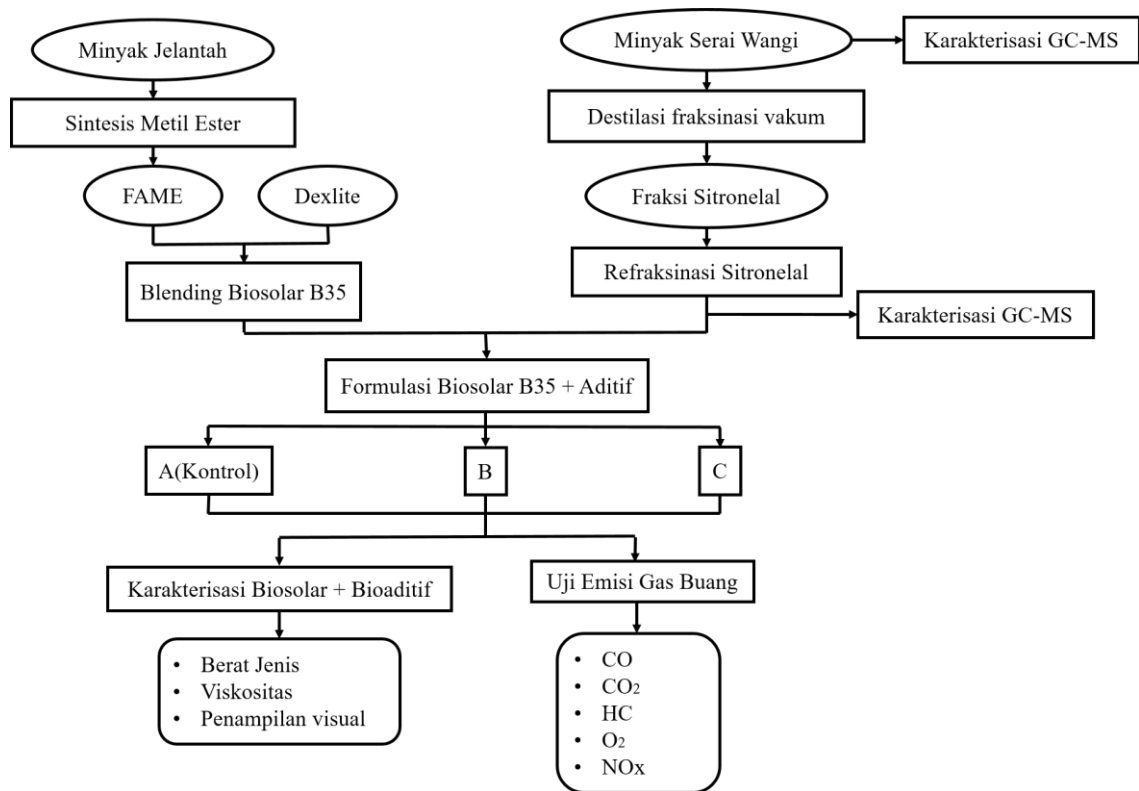
### **Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan peralatan gelas, piknometer, neraca analitik, Viskometer Brookfield LV, seperangkat alat Destilasi Fraksinasi Vakum, Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS QP2010SE Shimadzu, Tokyo, Japan), Mesin Diesel Nissan SD 22, Flue Gas Analyzer (MRU Optima 7), dan Gas Analyzer Stargas 898. Bahan yang dibutuhkan pada penelitian ini yaitu minyak jelantah, Metanol, aquades, jenis aditif yang digunakan berupa bioaditif fraksi sitronelal dari minyak serai wangi.

### **Prosedur Penelitian**

#### **Identifikasi Senyawa atsiri fraksi minyak Serai wangi dengan GC MS**

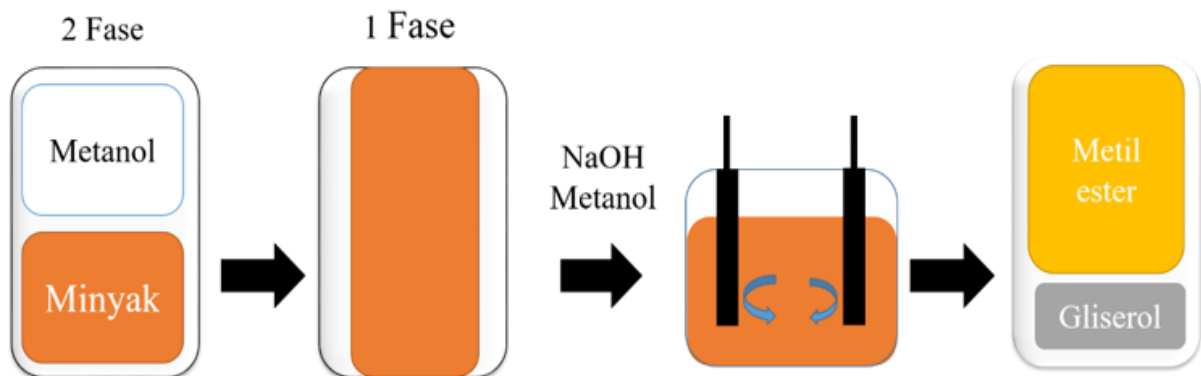
Bagan alir penelitian disajikan pada Gambar 1. Setelah difraksinasi, senyawa atsiri dalam fraksi minyak serai wangi diidentifikasi menggunakan Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (GC-MS QP2010SE) Shimadzu. Hasil analisis kemudian dibandingkan komposisi minyak atsiri serai wangi sebelum fraksinasi.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

### Sintesis FAME dari Minyak Jelantah

Reaksi transesterifikasi dilakukan dalam reaktor putaran bolak-balik dengan pengaduk otomatis serta heater. Sebelumnya dilarutkan NaOH sebanyak 500 gram dalam methanol 3,5 L. Larutan tersebut dimasukkan kedalam reaktor dan ditambahkan sebanyak 5 Liter biosolar. Selanjutnya pengaduk dan pemanas dinyalakan dan diatur pada suhu konstan 60°C selama 2 jam pada 30 rpm. Selanjutnya, hasil Metil ester dipisahkan dari gliserol. Langkah produksi biodiesel dari minyak jelantah ditunjukkan pada Gambar 2. Hasil FAME yang dihasilkan selanjutnya dianalisis menggunakan GC-MS.



Gambar 2. Sintesis FAME dari minyak jelantah

## **Formulasi Biosolar B35 dan penambahan bioaditif (Bio-EOF)**

Biosolar jenis B35 merupakan campuran dari 35% FAME dengan 65% Dexlite. Biosolar B35 diformulasikan dalam 5 Liter terdiri dari campuran 3250 mL Dexlite dan 1750 mL FAME. Hasil blending tersebut, dibuat sebanyak 3 kali dengan campuran yang sama. Kemudian, dimasukkan ke dalam jerigen minyak yang telah diberi label. Pada jerigen A diisi dengan 5 Liter biosolar B35 sebagai kontrol, jerigen B dan C diisi dengan 5 Liter biosolar dan ditambahkan bioaditif Bio-EOF. Semua campuran dihomogenkan. Selanjutnya biosolar B35 dengan penambahan bioaditif dikarakterisasi secara fisika-kimia dan dilanjutkan dengan pengujian gas emisi di Laboratorium Konversi Energi UGM.

## **Karakterisasi blending Biosolar B35 - Bio-EOF**

*Berat jenis.* Piknometer kosong ditimbang dalam keadaan kering. Selanjutnya piknometer diisi dengan aquades suhu 20°C, diusahakan tidak ada gelembung yang terperangkap dalam piknometer. Piknometer kembali ditimbang. Berat aquades didapatkan dari selisih antara berat piknometer berisi aquades dengan piknometer kosong. Selanjutnya pengujian dilakukan terhadap bahan uji. Piknometer kosong ditimbang terlebih dahulu. Kemudian diisi dengan sampel. Berat sampel diperoleh dari hasil selisih piknometer berisi sampel dengan piknometer kosong.

*Viskositas.* Sampel dimasukkan ke dalam wadah yang sesuai. Selanjutnya spindle dan kecepatan disesuaikan untuk sampel yang diukur. Spindel dimasukkan ke dalam sampel dengan hati-hati, dan dipastikan tidak ada gelembung udara di sekitar spindle. Kecepatan diatur pada 30 rpm, selanjutnya alat diaktifkan dan spindle akan berputar. Viskometer akan mengukur torsi yang diperlukan untuk memutar spindle pada kecepatan yang ditentukan.

*Pengamatan Visual.* Sampel biosolar dari tiap formulasi ditempatkan pada wadah bersih dan tidak terkontaminasi. Dilakukan pengamatan secara kualitatif terhadap warna, kejernihan, serta endapan yang mungkin terbentuk di bawah cahaya sinar yang jelas. Warna yang ditunjukkan pada sampel disesuaikan dengan skala warna berdasarkan metode uji pada skala 0 – 8.

## **Uji Emisi Gas Buang**

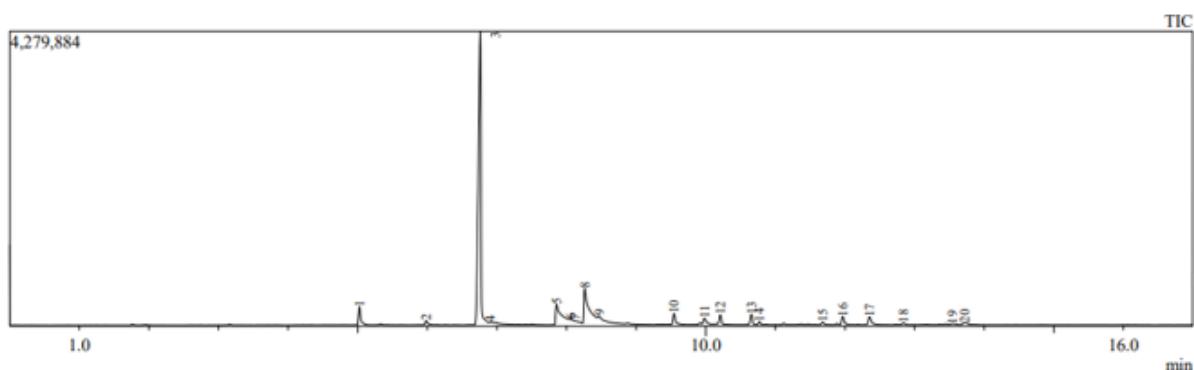
Tiga sampel blending B35- bioaditif diuji untuk mengetahui pengaruh bio-aditif terhadap emisi gas buang. Uji emisi gas buang dilakukan dengan mesin diesel Nissan SD 22 dengan menggunakan dua macam gas analyzer yaitu Stargas 898 dan MRU Optima 7. Gas Analyzer akan mengukur konsentrasi gas buang yang dihasilkan selama proses pembakaran. Alat yang

digunakan dikalibrasi terlebih dahulu untuk mengurangi error yang dihasilkan oleh alat. Gas Analyzer akan mengukur konsentrasi gas buang yang dihasilkan terdiri dari Karbon monoksida (CO), Karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), Nitrogen oksida(NO<sub>x</sub>), Oksigen(O<sub>2</sub>) serta Hidrokarbon (HC).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Analisis komposisi kimia Minyak Serai Wangi menggunakan GC-MS

Karakterisasi minyak atsiri serai wangi perlu dilakukan untuk mengetahui kandungan senyawa yang terdapat dalam minyak atsiri sehingga proses pemisahan senyawa target dengan metode destilasi fraksinasi vakum dapat disesuaikan dengan kandungan senyawa yang terdapat dalam minyak. Hasil dari analisis minyak serai wangi dengan GC ditampilkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Kromatogram Minyak serai wangi Kintap

Kromatogram pada Gambar 3 menunjukkan beberapa senyawa dalam minyak serai wangi. Sitronelal diketahui sebagai senyawa yang dominan dengan % area mencapai 55.90% dan terdapat senyawa lain seperti sitronelol dan geraniol. Senyawa yang terkandung dalam sampel minyak serai wangi yang dianalisis ditunjukkan pada Tabel 1. Kandungan sitronelal dalam minyak serai wangi cukup tinggi, sehingga signifikan difraksinasi menggunakan destilasi fraksinasi vakum untuk meningkatkan kemurnian fraksi sitronelal.

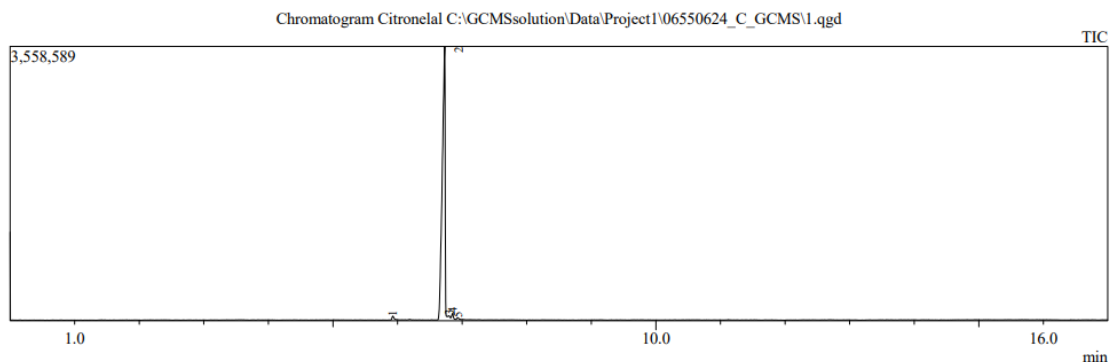
Tabel 1. Komposisi senyawa dalam Minyak serai wangi

Puncak	Kadar relatif (%)	Senyawa
1	2,89	Limonen
2	0,80	Linalool
3	55,9	Citronelal
4	0,96	Cyclohexanol
5	8,87	Beta-citronelol

6	1,54	Z-citral
7	1,05	11-octadecynenitrile
8	13,27	Geraniol
9	2,55	Citral
10	2,00	Citronellyl acetate
11	1,35	Geranyl acetate
12	1,36	Cyclohexane
13	1,71	Trans-caryophyllene
14	0,51	Alpha.-bergamotene
15	0,49	Naphthalene
16	1,67	Naphthalene
17	1,85	Elemol
18	0,35	Caryophyllene oxide
19	0,26	Torreyol
20	0,63	Veridiflorol

#### Analisis senyawa kimia Fraksi Minyak serai wangi menggunakan GC-MS

Fraksi sitronelal yang digunakan merupakan hasil dari destilasi fraksinasi vakum minyak serai wangi yang kemudian direfraksinasi dengan tujuan untuk menaikkan kemurnian sitronelal dalam fraksi minyak. Hasil uji GC-MS minyak sitronelal ditunjukkan pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Kromatogram hasil analisis fraksi sitronelal dengan GC-MS

Kromatogram pada Gambar 4 menunjukkan kandungan senyawa dalam fraksi minyak serai wangi. Pada Gambar 4 terlihat bahwa terdapat 1 puncak dengan kemurnian 96,35%. berdasarkan data MS pada puncak kedua tersebut terdeteksi sebagai sitronelal. hal ini menunjukkan bahwa proses re-fraksinasi fraksi sitronelal telah berhasil mencapai kemurnian

96,35% dengan nilai Similarity Index (SI) mencapai 97. Tabel 2 menampilkan komposisi senyawa dalam fraksi sitronelal.

Tabel 2. Komposisi senyawa atsiri dalam fraksi Sitronelal

Peak	%Area	Senyawa
1	0.89	Alpha-Terpinolene
2	96.35	Citronellal
3	1.05	P-Menthone
4	1.28	1-Isopulegol
5	0.43	Trans-Menthan-3-One

### Uji Fisika-kimia Fraksi Sitronelal

Uji fisika Minyak Sitronelal diperlukan untuk memastikan kembali karakteristik minyak yang dihasilkan telah sesuai dengan Standar Nasional Indonesia. Karakteristik minyak sitronelal disesuaikan dengan SNI 06-0026-1987. Hasil yang diperoleh dari hasil karakterisasi fisika minyak sitronelal ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil karakterisasi fraksi sitronelal

Karakterisasi Fisika	SNI 06-0026-1987	Hasil
Berat jenis	0,85 – 0,86	0,8536 g/mL
Indeks bias	1,44 – 1,45	1,44945 (21,7°C)
Putaran optik	(-10) – (+110)	(+)0,45 (23,3°C)
Kelarutan dalam alkohol	Larut jernih dalam alkohol 70%(1:5)	Larut jernih dalam etanol 96% (1:1)
Warna dan aroma	Tidak berwarna dan beraroma khas	Tidak berwarna dan beraroma khas

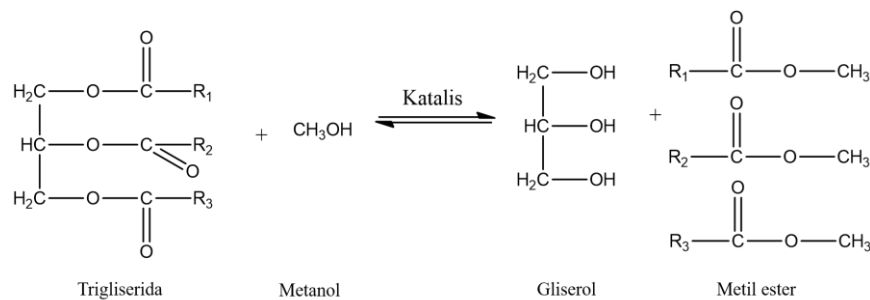
Dari hasil karakterisasi secara fisika fraksi sitronelal yang dihasilkan telah sesuai dengan Standar Nasional Indonesia.

### Hasil Sintesis FAME dari minyak jelantah

Minyak jelantah yang telah melalui proses pemanasan pada suhu tinggi sekitar 170°C – 180°C akan terjadi proses oksidasi, hidrolisis, serta polimerisasi sehingga menimbulkan degradasi minyak keton, aldehyd, dan polimer yang menyebabkan bau serta rasa tengik pada minyak, peningkatan asam lemak bebas (FFA), bilangan Iodin (IV), kekentalan minyak, terbentuknya busa, dan endapan. Minyak jelantah dapat digunakan sebagai bahan biodiesel

setelah melalui beberapa tahapan yaitu pemisahan pengotor untuk menghilangkan endapan atau kotoran yang terbentuk dari penggunaan, esterifikasi berguna untuk menurunkan angka asam lemak bebas yang akan menimbulkan saponifikasi serta kadar air yang dapat memicu reaksi hidrolisis dan transesterifikasi untuk mendapatkan senyawa Metil ester (Yudha, Setiawan, dan Eka Mayangsari, 2017).

Preparasi minyak jelantah dilakukan dengan melakukan penyaringan untuk menghilangkan pengotor yang masih terdapat dalam minyak. Minyak jelantah yang digunakan sudah berwarna coklat pekat dengan aroma yang cukup menyengat. Reaksi transesterifikasi dilakukan dengan menggunakan 5 L minyak jelantah yang dimasukkan ke dalam reaktor dan 3,5 L methanol yang telah ditambahkan dengan 500 mg NaOH dan diputar pada kecepatan 30 rpm selama 2 jam hingga terbentuk lapisan atas (Metil ester dalam methanol) dan lapisan bawah (gliserol). Reaksi transesterifikasi yang akan mengubah senyawa trigliserida pada minyak jelantah menjadi Metil ester dengan penambahan methanol serta katalis basa. Reaksi transesterifikasi ditunjukkan pada Gambar 5 berikut.



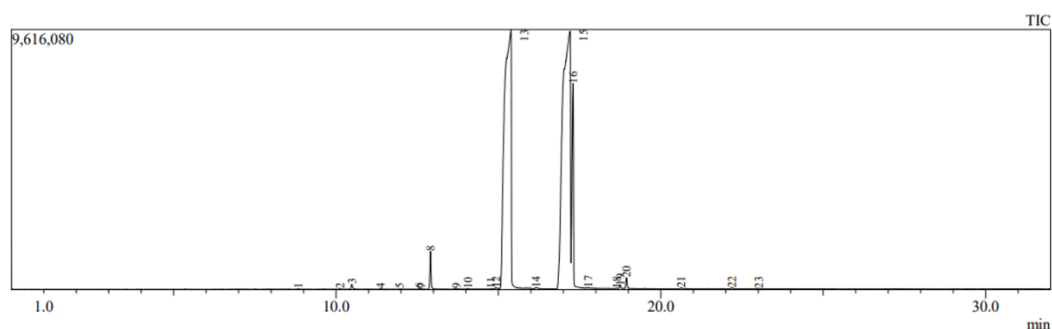
Gambar 5. Reaksi transesterifikasi (Ghifari dan Samik 2023).

Fungsi dari NaCl pada proses transesterifikasi untuk mempercepat reaksi, kenaikan konsentrasi katalis dapat menurunkan energi aktivasi sehingga jumlah molekul yang akan reaksi akan meningkat membentuk Metil ester (Setyawardhani, 2005). Proses pemisahan Metil ester dalam minyak jelantah menggunakan suhu optimal 60°C. Suhu yang digunakan disesuaikan dengan suhu optimal methanol, agar tidak terjadinya perubahan fasa dari air menjadi gas. Kurangnya jumlah methanol dalam fasa cair akan menyebabkan tumbukan antara molekul pereaksi sehingga kecepatan reaksi akan menurun (Mursiti et al., 2014). Kemudian, melakukan sintesis biodiesel berbasis transesterifikasi dengan mengkatalisis basa.



Gambar 6. Hasil reaksi transesterifikasi

Dari dua lapisan yang terbentuk selanjutnya dipisahkan antara Metil Ester dengan Gliserol. Lapisan Metil ester dianalisis dengan menggunakan Gass Chromatography-Mass Spectrometry(GC-MS) untuk mengetahui hasil dari sintesis FAME yang telah dilakukan dari minyak jelantah. Hasil dari analisis GCMS FAME ditunjukkan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Kromatogram hasil GC FAME

Pada Gambar 7 yang menunjukkan %area tertinggi terdapat pada puncak 13, 15, dan 16 yang diidentifikasi sebagai Hexadecanoic acid, metil ester (CAS) dan Octadecenoic acid (Z)-, metil ester (CAS). Komposisi senyawa kimia lainnya dari hasil transesterifikasi minyak jelantah menjadi FAME ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Komposisi produk transesterifikasi minyak jelantah

Puncak	%Area	Senyawa Kimia
1	0,02	Hexadecane
2	0,02	Hexadecane
3	0,17	Dodecanoic acid, metil ester (CAS)
4	0,02	Heptadecane
5	0,01	pentadecane
6	0,02	Hexadecane

7	0,02	Pentadecane
8	1,01	Tetradecanoic acid, metil ester (CAS)
9	0,02	Heptadecane
10	0,01	Hexadecanoic acid, metil ester (CAS)
11	0	Decane
12	0,05	9-Hexadecenoic acid, metil ester, (Z)- (CAS)
13	42,42	Hexadecanoic acid, metil ester (CAS)
14	0,07	Heptadecanoic acid, metil ester (CAS)
15	47,89	9-Octadecenoic acid (Z)-, metil ester (CAS)
16	7,61	Octadecanoic acid, metil ester (CAS)
17	0,04	Octadecanoic acid, 2-oxo-, metil ester (CAS)
18	0,02	Heptacosane
19	0,12	9-Octadecenoic acid, metil ester, (E)- (CAS)
20	0,33	Eicosanoic acid, metil ester (CAS)
21	0,04	Tetracosanoic acid, metil ester (CAS)
22	0,05	Tetracosanoic acid, metil ester (CAS)
23	0,02	2,6,10,14,18,22-Tetracosahexaene

Dari tabel 4 menunjukkan Metil ester yang diperoleh 99,86% yang terdiri dari Dodecanoic acid, Tetradecanoic acid, Hexadecanoic acid, Heptadecanoic acid, Octadecanoic acid, Eicosanoic acid, Tetracosanoic acid.

### Hasil Karakterisasi Formulasi Biosolar dengan Campuran Bioaditif

Karakterisasi terhadap biosolar B35 dari hasil blending 35% FAME dan 65% Dexlite yang telah ditambahkan bioaditif dilakukan untuk mengetahui adanya perubahan karakter serta sifat dari bahan bakar setelah ditambahkan bioaditif. Hasil dari karakterisasi ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Karakterisasi Biosolar dengan campuran bioaditif

Karakteristik	Standard Mutu B35	A (control)	B	C
Berat jenis (pada suhu 15°C)	815 – 880 kg/m <sup>3</sup>	877 kg/m <sup>3</sup>	865 kg/m <sup>3</sup>	853 kg/m <sup>3</sup>
Viskositas (pada suhu 40°C)	2.0 – 5.0 mm <sup>2</sup> /det	5.0 mm <sup>2</sup> /det	5.0 mm <sup>2</sup> /det	4.8 mm <sup>2</sup> /det
Penampilan visual	Jernih terang	Jernih terang	Jernih terang	Jernih terang

## ASTM

---

Hasil karakterisasi menunjukkan ketiga sampel sesuai dengan standar mutu yang telah ditetapkan. Penambahan bioaditif dalam campuran biosolar tidak memberikan pengaruh spesifik terhadap karakteristik biosolar.

Uji densitas merupakan parameter yang penting dalam menentukan karakteristik fisikokimia dari sampel yang digunakan. Prinsip dari penentuan densitas yaitu perbandingan massa sampel tanpa udara dengan massa air pada volume dan suhu yang sama dan tertentu. Uji ini dilakukan untuk memastikan kualitas, memahami sifat, serta kesesuaian sampel terhadap standar yang ditentukan. Hasil dari sampel yang telah ditambahkan bioaditif tidak merubah berat jenis sesuai dengan standar yang ditetapkan. Pada pengujian densitas beberapa faktor dapat mempengaruhi hasil yang diberikan. Salah satunya adalah konversi asam lemak menjadi Metil ester yang dapat mempengaruhi massa dan volume. Menurut Prihandana, dkk(2006) densitas yang melebihi ketentuan dari yang ditetapkan akan mempengaruhi pembakaran yang tidak sempurna sehingga mampu meningkatkan gas emisi yang dihasilkan serta menurunkan kinerja mesin (Muhriansyah. et al., 2016).

Viskositas merupakan bagian dari uji yang harus dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari suatu cairan. Viskositas merupakan ukuran untuk menentukan kekentalan dari suatu cairan untuk mengalir sebagai ukuran hambatan fluida cair untuk mengalir. Semakin tinggi viskositas pada minyak maka akan semakin kental dan sulit mengalir dengan demikian penentuan viskositas terhadap sampel yang digunakan perlu dilakukan (Mariono et al., 2023). Dalam hal ini, pengujian viskositas sampel ditujukan untuk mengetahui jika adanya perubahan yang terjadi pada bahan bakar yang digunakan setelah penambahan bioaditif. Untuk menguji viskositas sampel digunakan alat viscometer jenis Brookfield LV (Low Viscosity) yang merupakan alat untuk mengukur kekentalan cairan dengan viskositas yang rendah. Prinsip dari viscometer brookfield LV dengan mengukur kekentalan berdasarkan torsi yang dibutuhkan untuk memutar spindle yang dimasukkan ke dalam cairan. Semakin kental cairan, maka semakin tinggi torsi yang diperlukan untuk memutar spindle. Dari uji yang dilakukan viskositas bahan bakar setelah ditambahkan dengan bioaditif tidak mengalami perubahan dan sesuai dengan standar yang ditetapkan.

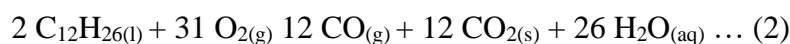
Pengujian visual pada sampel menjadi salah satu identifikasi adanya kontaminan atau kekotoran dalam biosolar yang mungkin dapat mempengaruhi performa dari bahan bakar. Pengamatan yang dilakukan dapat berupa kejernihan, indikasi warna, serta adanya endapan.

Dengan dilakukannya pengamatan visual dapat memberikan informasi mengenai kondisi dasar serta permasalahan yang mungkin muncul dari sampel. Seperti perubahan warna dapat mengindikasikan kualitas dan stabilitas dari biosolar yang digunakan sebagai sampel. Beberapa faktor yang mempengaruhi perubahan warna yaitu kualitas dari bahan baku, kontaminasi air yang dapat menyebabkan oksidasi serta degradasi bahan bakar, dan pengotor (Salsabillah et al., 2024).

### **Hasil Uji Emisi Biosolar**

Uji emisi bahan bakar menggunakan gas Analyzer merupakan uji yang dapat digunakan untuk mengevaluasi dampak lingkungan dari hasil pembakaran bahan bakar. Pada penelitian ini bahan bakar yang digunakan yaitu biosolar dengan dengan konsentrasi 35% FAME dan 65% solar. Dari hasil uji emisi gas buang yang dihasilkan, pengukuran terhadap efektivitas serta kinerja dari bioaditif yang ditambahkan dapat diamati. Sampel yang diuji terdiri dari tiga formulasi yaitu formulasi A berisi biosolar B35 murni sebagai control, formulasi B dan C yang berisi campuran B35 dengan penambahan bioaditif. Pengujian ketiga formulasi yang diuji menggunakan dua jenis gas analyzer yang berbeda yaitu Stargass Analyzer 898 dan MRU Optima 7.

Menurut Fitri, dkk (2022), terdapat adanya dua kemungkinan reaksi pembakaran yang terjadi dalam system pembakaran bahan bakar dalam mesin yaitu reaksi pembakaran sempurna dan reaksi pembakaran tidak sempurna. Pembakaran sempurna terjadi apabila terdapat cukup oksigen dalam ruang bakar mesin. Sedangkan pembakaran tidak sempurna terjadi ketika molekul oksigen tidak mencukup untuk membakar suatu molekul hidrokarbon kompleks dalam bahan bakar diesel secara sempurna. Reaksi pembakaran sempurna ditampilkan pada persamaan 1 dan reaksi pembakaran tidak sempurna ditampilkan pada persamaan 2 berikut.



Pada penelitian ini bahan bakar yang digunakan merupakan jenis biosolar dengan campuran 35% FAME dan 65% solar. Penambahan bioaditif harapannya mampu menyumbangkan oksigen sehingga mampu memaksimalkan proses pembakaran sehingga pembakaran dapat berlangsung secara sempurna serta dapat menurunkan emisi gas buang.

### **Karbon Monoksida(CO)**

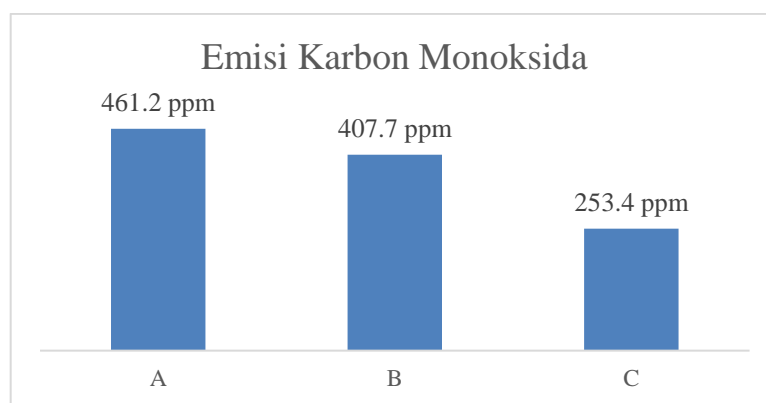
Karbon monoksida(CO) merupakan komponen gas yang tidak memiliki warna, bau, serta rasa. Senyawa ini terbentuk akibat pembakaran yang tidak sempurna terhadap unsur karbon atau komponen yang mengandung karbon, reaksi antara karbon dioksida(CO<sub>2</sub>) dengan

komponen yang mengandung karbon, serta hasil penguraian CO<sub>2</sub> menjadi CO dan O<sub>2</sub> pada suhu yang tinggi. Campuran dari bahan bakar biosolar dengan bioaditif yang berasal dari minyak serai wangi serta fraksi sitronelal diharapkan mampu mengurangi gas buang CO. Hal ini disebabkan kandungan gugus fungsi aldehida teroksigenasi (-CHO) dan alkohol (-OH) yang berperan dalam ketersediaan oksigen di ruang bakar pada saat mesin diesel hidup. Pengujian terhadap sampel dilakukan dengan menggunakan gass Analyzer MRU Optima 7 dengan beberapa pengulangan untuk menghasilkan angka yang lebih akurat. Hasil uji tersebut ditampilkan pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Hasil uji emisi gas karbon monoksida dengan MRU Optima 7

Pengulangan	A (ppm)	B (ppm)	C (ppm)
1	462	415	257
2	460	413	264
3	461	410	264
4	461	407	259
5	463	402	253
6	460	399	252
7	-	-	243
8	-	-	245
9	-	-	244
Rata-rata	461,2	407,7	253,4

Dari hasil pengujian dengan beberapa pengulangan diperoleh nilai %RSD untuk menentukan presisi dari pengulangan data yang dilakukan harus < 2%. Maka, formula A dan B telah memenuhi %RSD yang ditentukan sedangkan formula C dengan %RSD melebihi 2% maka diperlukan batas CV Horwitz dengan hasil nilai %RSD < 0,5 CV Horwitz, maka data tersebut formulasi C dapat dikatakan telah presisi. Dengan demikian, dapat disimpulkan ketiga data yang dihasilkan telah presisi dan rata-rata kadar yang ditunjukkan merupakan emisi gas buang karbon monoksida. Hasil pengujian gas emisi CO menggunakan gass analyzer MRU Optima 7 dari ketiga sampel dibandingkan ditunjukkan pada Gambar 8 berikut.



Gambar 8. Kadar emisi CO dari blending formula A, B, dan C

Dari kromatogram tersebut diketahui bahwa kadar nilai emisi gas buang karbon monoksida yang terdeteksi paling rendah ditunjukkan oleh formulasi C 0,03%, formulasi B menunjukkan kadar emisi gas buang karbon monoksida 0,04% dan formulasi A sebagai kontrol dengan kadar emisi gas buang 0,05%. Penurunan kadar emisi gas buang karbon monoksida untuk formulasi B yang mengandung bioaditif sebesar 11% sedangkan formulasi C dengan penambahan bioaditif sebesar 45%. Sehingga bioaditif yang ditambahkan ke dalam formulasi C dianggap mampu memaksimalkan proses pembakaran dengan menurunkan kadar emisi gas buang karbon monoksida berdasarkan reaksi pembakaran. Dimana, reaksi pembakaran bahan bakar yang terjadi berlangsung lebih sempurna dengan adanya penambahan bioaditif akibat adanya gugus aldehyd(-CHO) serta alkohol (-OH) sehingga mampu menyumbangkan oksigen selama proses pembakaran (Fitri et al., 2022).

Hasil pengujian tersebut selanjutnya disesuaikan dengan baku mutu emisi kendaraan bermotor sesuai dengan peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023 tentang Penerapan Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor. Berdasarkan peraturan tersebut untuk parameter emisi gas buang senyawa CO berada pada rentang maksimal 0,5 – 1% (Menteri LHK, 2023). Dengan demikian, hasil pengujian kadar emisi gas buang karbon monoksida dari ketiga formulasi tidak ada yang melebihi batas yang telah ditetapkan.

### **Karbon Dioksida(CO<sub>2</sub>)**

Unsur kedua yang termasuk ke dalam pengujian emisi gas buang yaitu CO<sub>2</sub>. Kandungan CO<sub>2</sub> diuji untuk menentukan efektivitas dari proses pembakaran bahan bakar yang dicampurkan dengan bioaditif. Karbon dioksida merupakan salah satu gas emisi yang berperan dalam efek rumah kaca yang menyebabkan pemanasan global. Pengujian emisi gas karbon dioksida dilakukan dengan menggunakan gass analyzer MRU Optima 7 yang ditampilkan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Hasil pengulangan uji Emisi Karbon Dioksida

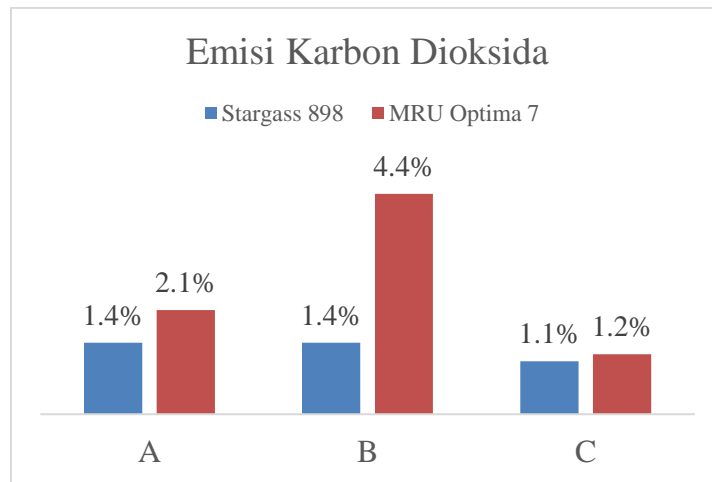
Pengulangan	A (%)	B (%)	C (%)
1	2	4,3	1,2
2	2,1	4,4	1,2
3	2,1	4,4	1,2
4	2,1	4,4	1,2
5	2,1	4,4	1,2
6	2,1	4,5	1,2
7	-	-	1,2
8	-	-	1,2
9	-	-	1,2
Rata-rata	2,1	4,4	1,2
SD	0,0408	0,0634	0
%RSD	1,9	1,4	0

Dari nilai %RSD ketiga formulasi menghasilkan nilai yang  $< 2\%$  maka pengulangan uji dari ketiga formulasi tersebut telah presisi. Pada pengujian emisi gas buang karbon dioksida digunakan jenis gass analyzer lainnya sebagai pembandingan yaitu Stargass 898. Hasil dari kedua jenis gass analyzer pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Hasil uji emisi gas buang CO<sub>2</sub>

Sampel	Stargass 898	MRU Optima 7
A	1,4%	2,1%
B	1,4%	4,4%
C	1,1%	1,2%

Dari kedua jenis gass analyzer yang digunakan menghasilkan nilai emisi yang berbeda. Pada gass analyzer jenis Stargass 898 kadar emisi karbon dioksida untuk formula A dan B sama yaitu sebesar 1,4%, dan formula C memberikan kadar yang lebih rendah yaitu 1,1%. Sedangkan untuk gass analyzer jenis MRU Optima 7 formula A menghasilkan kadar emisi karbon dioksida sebesar 2,1%, formula B menghasilkan kadar yang paling tinggi sebesar 4,4% dan formula C menghasilkan emisi yang paling rendah yaitu 1,2%.



Gambar 9. Diagram hasil pengujian emisi CO<sub>2</sub>

Diagram pada Gambar 9 menunjukkan persentase kadar dari emisi gas CO<sub>2</sub>. Jika diamati dari jenis agass analyzer Stargass 898 formula B tidak mengalami penurunan kadar dari formula A yang digunakan sebagai control sedangkan formula C mengami penurunan sebesar 21,43%. Sedangkan pada gass analyzer MRU Optima 7 kadar emisi karbon dioksida formula B menunjukkan kenaikan kadar emisi mencapai 110%, seangkan formula C mengalami penurunan sebesar 43%. Jika disesuaikan dengan reaksi pembakaran sempurna, formulasi B menunjukkan hasil yang sesuai. Kenaikan emisi karbon dioksida dikarenakan adanya reaksi antara oksigen yang disumbangkan oleh zat aditif yang bereaksi dengan karbon monoksida sehingga dapat membentuk karbon dioksida, dengan demikian kadar karbon dioksida kian meningkat.

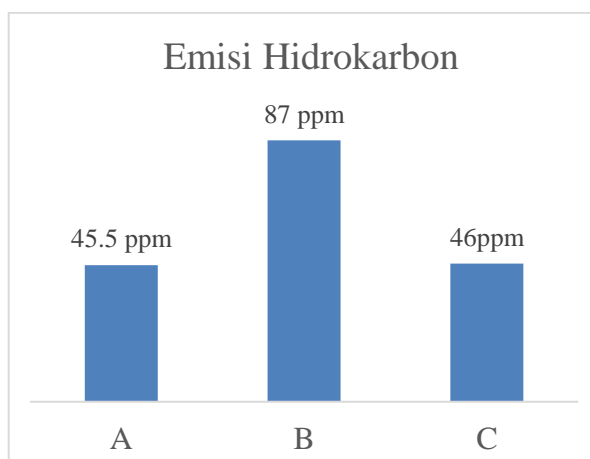
### **HidroKarbon (HC)**

Emisi gas buang Hidrokarbon (HC) merupakan bagian dari bahan bakar mentah yang tidak terbakar sempurna didalam ruang bakar. Emisi hidrokarbon terbentuk dari beberapa macam sumber diantaranya adalah akibat bahan bakar yang tidak terbakar secara sempurna, tidak terbakarnya minyak pelumas pada silinder (Jayanti et al., 2014). Emisi gas hidrokarbon yang dihasilkan memiliki dampak berbahaya bagi kesehatan yang dapat menyebabkan leukemia dan kanker. Pengujian emisi hidrokarbon menggunakan gass analyzer jenis Stargass 898. Hasil pengujian emisi gas buang Hidrokarbon dari ketiga formulasi ditunjukkan pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Hasil uji emisi gas buang Hidrokarbon

Sampel	Hidrokarbon (%ppm vol)
A	45,5
B	87
C	46

Dari data tersebut nilai emisi gas buang hidrokarbon tertinggi dihasilkan oleh formula B sebesar 87 ppm dengan kenaikan 91,4% dibandingkan dengan formula A sebagai control.



Gambar 10. Diagram hasil uji emisi Hidrokarbon

Kenaikan yang terjadi pada formula B sebesar 91,4% dapat disebabkan oleh tingginya putaran mesin dan suhu mesin, karena pada kondisi tersebut bahan bakar tidak terbakar sempurna akibat banyaknya bahan bakar yang terhisap sehingga meningkatkan kadar emisi hidrokarbon (KIYONO, 2018).

Kadar emisi gas buang hidrokarbon dari ketiga formula selanjutnya disesuaikan dengan baku mutu emisi kendaraan bermotor pada peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023 tentang Penerapan Baku Mutu Emisi Kendaraan Bermotor. Batas maksimum untuk paramter Hidrokarbon berada pada rentang 150 – 200 ppm. Sehingga dari ketiga hasil tersebut nilai kadar Hemisi gas buang hidrokarbon tidak melebihi batas maksimal baku mutu.

### Oksigen (O<sub>2</sub>)

Hasil pengujian selanjutnya yaitu O<sub>2</sub> yang ditunjukkan pada Tabel 10 berikut.

Tabel 10. Hasil pengujian O<sub>2</sub>

Pengulangan	A (%)	B (%)	C (%)
1	18,2	15,2	19,3
2	18,2	15,1	19,4

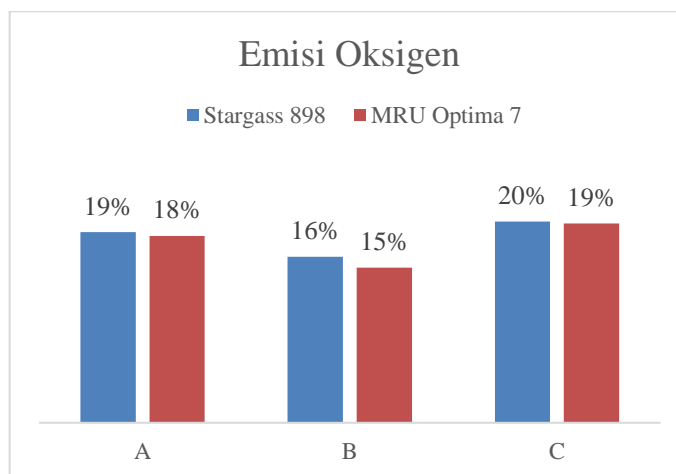
3	18,2	15,1	19,4
4	18,2	15,1	19,4
5	18,2	15,1	19,4
6	18,2	15	19,4
7	-	-	19,4
8	-	-	19,4
9	-	-	19,4
Rata-rata	18,2	15,1	19,4
SD	0	0,0632	0,0333
%RSD	0	0,4188	0,1719

Dari nilai %RSD ketiga formulasi menghasilkan nilai yang < 2% maka pengulangan uji dari ketiga formulasi tersebut telah presisi. Pada pengujian emisi gas oksigen digunakan jenis gass analyzer lainnya sebagai pembanding yaitu Stargass 898. Hasil dari kedua jenis gass analyzer pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil uji emisi gas buang oksigen

Sampel	Stargass 898	MRU Optima 7
A	19 %	18 %
B	16 %	15 %
C	20 %	19 %

Dari kedua jenis gass Analyzer hasil emisi gas buang oksigen tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Gas buang oksigen bisa berasal dari gas yang diinjeksikan dari mesin untuk membantu proses pembakaran. Dalam pembakaran sempurna semua atom karbon dan hidrogen bereaksi dengan udara yaitu oksigen. Sedangkan dalam pembakaran tidak sempurna memiliki kemungkinan kelebihan ataupun kekurangan oksigen (Kiyono 2018).



Gambar 11. Diagram hasil uji O<sub>2</sub>

Dari diagram pada Gambar 11 ketiga formula menunjukkan nilai emisi gas oksigen yang tidak jauh berbeda. Kandungan senyawa  $O_2$  yang kaya dalam bahan bakar biosolar mampu memberikan efek yang baik yaitu dapat meningkatkan efisiensi terhadap bahan bakar yang digunakan. Gugus alcohol(-OH) serta aldehyd(-CHO) yang terkandung dalam sitronelal akan bereaksi dengan gas CO dan arang (C) membentuk  $CO_2$ , yang mana akan menghasilkan lebih sedikit CO dan emisi hijau. Ketersediaan oksigen dalam ruang bakar sangatlah penting dalam menghasilkan reaksi kimia yang efisien dan konstan pada proses pembakaran (Fitri et al., 2022)

### Nitrogen Oksida ( $NO_x$ )

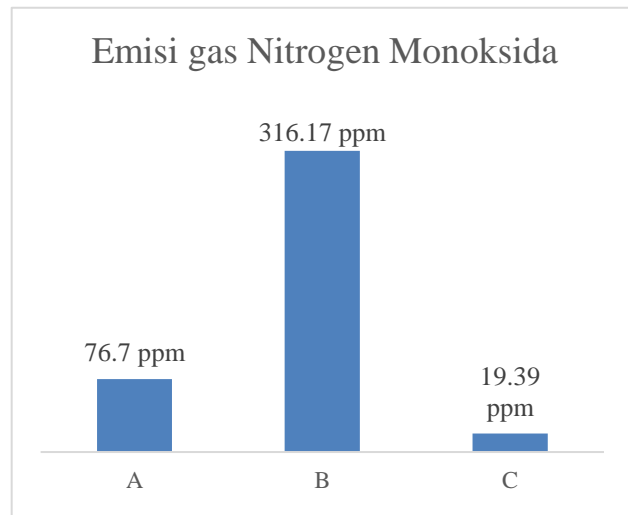
Nitrogen oksida( $NO_x$ ) merupakan golongan gas yang terdapat di atmosfer yang berbentuk Nitrogen monoksida(NO) dan nitrogen dioksida( $NO_2$ ). Pembentukan  $NO_x$  dipengaruhi oleh jumlah oksigen berlebih, suhu, dan waktu atau lamanya gas hasil pembakaran berada pada suhu tersebut. Semakin tinggi suhu pembakaran, maka semakin tinggi konsentrasi  $NO_x$  yang dihasilkan. Uji emisi gas buang  $NO_x$  turut dilakukan pada penelitian ini. Karena  $NO_x$  merupakan senyawa berbahaya yang apabila bereaksi dengan air akan bersifat toksik.

Tabel 12. Hasil pengujian  $NO_x$  dengan MRU Optima 7

Pengulangan	A (ppm)	B (ppm)	C (ppm)
1	78	318	60
2	76	316	57
3	76	317	57
4	75	317	56
5	77	313	56
6	78	316	57
7	-	-	55
8	-	-	54
9	-	-	52
Rata-rata	76,7	316,2	56
SD	1,2111	1,7224	2,2361
%RSD	1,5796	0,5448	3,9930
1/2 CV	4,1632	3,3637	4,3648

Dari hasil pengujian dengan beberapa pengulangan diperoleh nilai %RSD untuk menentukan presisi dari pengulangan data yang dilakukan harus  $< 2\%$ . Maka, formula A dan B telah memenuhi %RSD yang ditentukan sedangkan formula C dengan %RSD melebihi  $2\%$  maka diperlukan batas CV Horwitz dengan hasil nilai %RSD  $< 0,5$  CV Horwitz, maka data tersebut formulasi C dapat dikatakan telah presisi. Dengan demikian, dapat disimpulkan ketiga

data yang dihasilkan telah presisi dan rata-rata kadar yang ditunjukkan merupakan emisi gas buang karbon monoksida. Hasil pengujian gas emisi  $\text{NO}_x$  menggunakan gass analyzer MRU Optima 7 dari ketiga sampel dibandingkan ditunjukkan pada Gambar 12 berikut.



Gambar 12. Diagram hasil uji emisi gas  $\text{NO}_x$

Pengujian gas emisi  $\text{NO}_x$  dilakukan dengan gass analyzer MRU Optima 7. Formulasi C menunjukkan kadar  $\text{NO}_x$  yang paling rendah dibandingkan dengan kedua formulasi lainnya dengan penurunan sebesar 74,7%. Formula B menunjukkan nilai emisi yang cukup tinggi sebesar 316,2 ppm. Dengan demikian zat aditif yang ditambahkan ke dalam formulasi C berperan dalam menurunkan dan mengurangi pembentukan gas emisi  $\text{NO}_x$  dari hasil pembakaran bahan bakar yang digunakan.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini telah berhasil mensintesis FAME dari minyak jelantah dengan kemurnian 99,86%. FAME hasil sintesis digunakan untuk membuat B35 yang kemudian diblending dengan bioaditif fraksi minyak serai wangi. Pengujian hasil blending pada mesin diesel skala laboratorium menunjukkan adanya penurunan emisi gas CO sebesar 45%. Penelitian selanjutnya akan dilakukan pengujian emisi dan efisiensi langsung di lapangan menggunakan alat berat seperti excavator PC300 untuk mengetahui kinerja bio-aditif pada mesin diesel industri.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan terima kasih kepada Dikti atas grant hibah PDP dengan No.kontrak 48/Dir.DPPK/01/DPPK/VI/2024; Kepada Direktorat Simpul Tumbuh UII atas fasilitas yang

diberikan; Kepada PT. Arutmin Indonesia Tambang Kintap atas pendanaan dan kerjasama riset ini; Pusat Studi Minyak Atsiri (CEOS UII) atas fasilitas laboratorium yang diberikan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agumsah, A. F., Rusli, M. S., Setyaningsih, D., Agustian, E., & Kurniawan, A. (2023). Addition of Essential Oil Bioadditives as a Mixture of Biodiesel B35 Fuel on the Performance of Reducing Water content and Particulate Content. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung (Journal of Agricultural Engineering)*, 12(4), 807.
- Agustian, H. D., Anggryani, D., Baskoro, H., Khoirunnisa, A., Pudjihastuti, I., Siswanti, F., Soedharto, J. P., Tembalang -Semarang, S. H., Kunci, K., Energi, :, Minyak, B., Wangi, S., & Mikro, G. (2014). Formulasi Bioaditif Super “Ron Booster” Pada Bahan Bakar Minyak Melalui Ekstraksi Minyak Sereh Wangi (Citronella Oil) Menggunakan Gelombang Mikro. *Prosiding SNST Fakultas Teknik*, 1, 1.
- Alfian, D., Prahmana, R., Silitonga, D., Muhyi, A., & Supriyadi, D. (2022). Uji Performa Mesin Bensin Menggunakan Bioaditif Cengkeh Dengan Bensin Brkadar Oktan 90. *Journal of Science and Applicative Technology*, 4, 49–52.
- Arita, S., Dara, M. B., & Irawan, J. (2008). Pembuatan Metil Ester Asam Lemak Dari Cpo Off Grade Dengan Metode Esterifikasi- Transesterifikasi. *Jurnal Teknik Kimia*, 15(2), 34–43.
- Azriyenni, Mulyadi, A., Kusumawaty, Y., A, Y., & Zurani, I. (2022). 10508-34039-1-Pb. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Teknik*, 4(2), 82–88.
- Daryono, E. D., Rahman, F. F. A., & Zukhriyah. (2022). Penggunaan Metanol Sisa Reaksi Sebagai Reaktan Pada Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi Biodiesel. *Teknologi*, 14(2), 155–162.
- Endyani, I. D., & Putra, T. D. (2011). Pengaruh Penambahan Zat Aditif Pada Bahan Bakar. *Proton*, 3(1), 29–34.
- Fitri, N. (2020). *Pengaruh Bioaditif Fraksi Sitronelal dan Fraksi Sitronelol-Geraniol terhadap Kualitas Bahan Bakar Biosolar*.
- Fitri, N., Riza, R., Akbari, M. K., Khonitah, N., Fahmi, R. L., & Fatimah, I. (2022). Identification of Citronella Oil Fractions as Efficient Bio-Additive for Diesel Engine Fuel. *Designs*, 6(1).
- Ghifari, M. I. Al, & Samik, dan S. (2023). Review: Pembuatan Biodiesel Dengan Metode Transesterifikasi Menggunakan Katalis Berbahan Limbah Tulang. *Unesa Journal of*

- Chemistry*, 12(1), 1–11.
- Jaelani, M. A. K. (2021). Uji Konsumsi Bahan Bakar Mesin Pencacah Plastik. *Jurnal Teknik Mesin*, 1(1), 1–56.
- 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.
- Julianto, T. S., & Huda, T. (2016). Pengaruh Pola Agitasi pada Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Warung Pecel Lele Menggunakan Katalis Kitosan. *Eksakta*, 13(1–2), 33–39.
- Kadorahman, A. (2009). Eksplorasi Minyak Atsiri Sebagai Bioaditif Bahan Bakar Solar. *Jurnal Pengajaran MIPA*, 14(2), 121–141.
- Kiyono, S. (2018). Analisis Pengaruh Suhu Mesin Terhadap Emisi Gas Buang Pada Kondisi Torsi Dan Daya Maksimum Studi Kasus: Sepeda Motor YAMAHA VEGA ZR. *Journal of the Japan Society for Precision Engineering*, 84(4), 330–330.
- Maindra, M., Harmen, H., & Susila, M. (2014). Studi Komparasi Dari Zat Aditif Sintetik Dengan Zat Aditif Alami Terhadap Pemakaian Bahan Bakar Dan Emisi Gas Buang Pada Mesin Genset Motor Bensin 4-Langkah. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin FEMA*, 2(1), 98490.
- MENTERI ENERGI DAN SUMBER DAYA MINERAL REPUBLIK Indonesia. (2008). Permen ESDM Nomor 12 Tahun 2015. *Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Nomor 32 Tahun 2008*.
- Menteri LHK. (2023). Permen Lhk\_8\_2023. *Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan*, 1–15.
- Milenia, R., Islam, L. S., Ihsan, M., & Saroso, A. H. (2022). Studi Potensi Minyak Sereh Wangi Sebagai Alternatif Bahan Aditif pada Bahan Bakar Minyak. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan*, 6(1), 6–15.
- Muhriansyah., F., Daryanti, & Santi. (2016). Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Variasi Penambahan Katalis KOH Pada Proses Transesterifikasi. *Jurnal Redoks*, 2, 35–43.
- Salsabillah, Z., Rizki, M. A., & Hendrasti, A. (2024). Strategi Perbaikan Kualitas Biosolar Berdasarkan Kandungan Air Dan TAN Yang Meningkatkan Akibat Penyimpanan Di Ruang Terbuka. 2(2), 113–120.
- Syahbana, M., Setiapraja, H., Farobie, O., Rusli, M. S., Ramadhan, G., Setiapraja, H., &

Farobie, O. (2022). Pengaruh Penambahan Bioaditif Minyak Atsiri Pada Bahan Bakar Biosolar Terhadap Kinerja Mesin Diesel. *Jurnal Teknologi Industri Pertanian*, 32(April), 65–73.