

Pembuatan Biodiesel dari Virgin Red Palm Oil (VRPO) melalui Proses Transesterifikasi dan Penambahan Zat Aditif Minyak Sereh Wangi untuk Meningkatkan Cetane Number

Siti Iffat Tabriza*, Harunsyah, Fachraniah

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Jl. Banda Aceh-Medan Km. 280.3, Buketrata, Punteut, Blang Mangat, Kota Lhokseumawe, Aceh 24301, Indonesia

*E-mail: sitiiffatbriza@gmail.com

Abstract

Article history:

Received: 27-03-2026

Accepted: 18-03-2026

Published: 29-04-2026

Keywords:

biodiesel;

cetane number;

citronella oil;

transesterification;

VRPO.

This study aims to analyze the effect of reaction temperature and the addition of citronella oil as an additive on the characteristics of biodiesel produced from Virgin Red Palm Oil (VRPO) through a transesterification process. The reaction temperatures were varied at 50°C, 55°C, 60°C, and 65°C, while the volume of citronella oil ranged from 0 to 10 mL. The evaluated parameters included yield, viscosity, density, flash point, and cetane number. The results showed that increasing the temperature up to 60°C improved the biodiesel yield to 57%, while no significant increase was observed at 65°C due to methanol evaporation. The addition of citronella oil at 2–4 mL effectively increased the cetane number up to approximately 55.9 and improved the physical properties of biodiesel, particularly viscosity and flash point. However, excessive additive concentration (≥ 6 mL) led to a decline in biodiesel quality due to increased viscosity and reduced mixture homogeneity. GC-MS analysis indicated that the biodiesel was dominated by fatty acid methyl esters such as methyl oleate and methyl palmitate, which contribute to combustion performance and oxidative stability. The optimum condition was achieved at 60°C with the addition of 4 mL citronella oil, producing biodiesel with the best characteristics and potential to meet fuel quality standards.

1. Pendahuluan

Ketergantungan global terhadap bahan bakar fosil hingga saat ini masih sangat tinggi, terutama pada sektor transportasi dan industri. Kondisi ini menimbulkan dua permasalahan utama, yaitu keterbatasan cadangan minyak bumi serta dampak lingkungan berupa peningkatan emisi gas rumah kaca seperti CO₂ yang berkontribusi terhadap perubahan iklim global[1]. Selain itu, fluktuasi harga minyak dunia yang tidak stabil turut memengaruhi ketahanan energi nasional, khususnya bagi negara berkembang dengan konsumsi energi yang terus meningkat[2]. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi alternatif yang terbarukan, ramah lingkungan, dan berkelanjutan menjadi kebutuhan mendesak di tingkat global.

Salah satu alternatif yang paling potensial adalah biodiesel, yaitu bahan bakar berbasis minyak nabati atau lemak hewani yang dihasilkan melalui proses transesterifikasi dengan alkohol menggunakan katalis. Biodiesel memiliki karakteristik yang mirip dengan solar konvensional, sehingga dapat digunakan langsung pada mesin diesel tanpa modifikasi signifikan. Selain itu, biodiesel memiliki

keunggulan berupa sifat *biodegradable*, emisi yang lebih rendah, serta berasal dari sumber terbarukan[3].

Indonesia sebagai produsen kelapa sawit terbesar di dunia memiliki potensi besar dalam pengembangan biodiesel berbasis minyak sawit. Selama ini, bahan baku utama biodiesel adalah *crude palm oil* (CPO), namun penelitian terkini mulai mengarah pada pemanfaatan produk turunan bernilai tambah seperti *Virgin Red Palm Oil* (VRPO). VRPO merupakan minyak sawit merah yang dihasilkan melalui proses minimal sehingga kandungan senyawa bioaktif seperti karotenoid dan vitamin E tetap tinggi. Kandungan trigliserida yang tinggi dalam VRPO menjadikannya bahan baku yang sangat potensial untuk produksi biodiesel berkualitas[4].

Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa parameter proses seperti temperatur, rasio molar alkohol, dan jenis katalis sangat berpengaruh terhadap *yield* biodiesel[5]. Selain itu, peningkatan kualitas biodiesel juga dapat dilakukan melalui penambahan zat aditif. Salah satu aditif yang mulai dikaji adalah minyak atsiri, seperti minyak sereh wangi (*Cymbopogon nardus*), yang diketahui mengandung senyawa

oksigenat yang dapat meningkatkan angka setana dan memperbaiki karakteristik pembakaran bahan bakar[6]. Penelitian oleh beberapa peneliti menunjukkan bahwa penambahan bio-aditif berbasis minyak atsiri mampu meningkatkan efisiensi pembakaran dan menurunkan emisi gas buang[7].

Meskipun penelitian mengenai biodiesel berbasis minyak sawit telah banyak dilakukan, sebagian besar masih berfokus pada penggunaan CPO atau minyak jelantah sebagai bahan baku. Studi yang secara khusus mengeksplorasi pemanfaatan VRPO sebagai bahan baku biodiesel masih relatif terbatas, terutama dalam kaitannya dengan karakteristik bahan bakar yang dihasilkan. Selain itu, penelitian mengenai penggunaan zat aditif alami seperti minyak sereh wangi untuk meningkatkan angka setana biodiesel juga masih belum banyak dikaji secara komprehensif, khususnya dalam kombinasi dengan bahan baku VRPO.

Dengan demikian, terdapat celah penelitian (*research gap*) pada integrasi antara penggunaan VRPO sebagai bahan baku biodiesel dan pemanfaatan minyak sereh wangi sebagai bio-aditif untuk meningkatkan kualitas bahan bakar. *Novelty* dari penelitian ini terletak pada pendekatan kombinatorial antara optimasi proses transesterifikasi VRPO dan penambahan aditif alami berbasis minyak atsiri untuk meningkatkan angka setana biodiesel, yang diharapkan menghasilkan bahan bakar yang lebih ramah lingkungan dan berkinerja tinggi.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kondisi operasi, khususnya temperatur reaksi, terhadap *yield* biodiesel yang dihasilkan dari *Virgin Red Palm Oil (VRPO)* melalui proses transesterifikasi. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penambahan zat aditif minyak sereh wangi terhadap peningkatan angka setana biodiesel. Secara keseluruhan, penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan biodiesel berbasis VRPO dengan kualitas yang memenuhi standar serta memberikan kontribusi terhadap pengembangan energi terbarukan berbasis sumber daya lokal di Indonesia.

2. Metode

Penelitian ini dirancang sebagai studi eksperimental untuk menganalisis pengaruh kondisi operasi dan penambahan zat aditif

terhadap karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari *Virgin Red Palm Oil (VRPO)*.

2.1 Bahan dan Alat

Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Virgin Red Palm Oil (VRPO)* sebagai sumber trigliserida, metanol sebagai alkohol pereaksi, dan natrium hidroksida (NaOH) sebagai katalis basa dalam proses transesterifikasi. Selain itu, digunakan minyak sereh wangi sebagai zat aditif untuk meningkatkan kualitas biodiesel, khususnya angka setana. Bahan pendukung lainnya meliputi akuades untuk proses pencucian dan indikator fenolftalein untuk keperluan analisis.

Peralatan yang digunakan meliputi reaktor labu leher tiga yang dilengkapi dengan sistem pemanas dan pengaduk mekanik, kondensor, corong pisah, oven, neraca analitik, piknometer, serta alat uji sifat bahan bakar seperti *flash point tester* dan alat ukur angka setana.

2.2 Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan variabel tetap berupa volume VRPO sebesar 350 mL, kecepatan pengadukan 80 rpm, waktu reaksi 60 menit, jumlah katalis NaOH sebesar 3 gram, serta rasio molar minyak terhadap metanol sebesar 1:6. Variabel bebas yang diteliti meliputi temperatur reaksi (50°C, 55°C, 60°C, dan 65°C) serta volume penambahan minyak sereh wangi (0; 2; 4; 6; 8; dan 10 mL). Sementara itu, variabel terikat yang diamati meliputi rendemen biodiesel, densitas, viskositas, titik nyala (*flash point*), dan angka setana.

2.3 Prosedur Penelitian

Proses pembuatan biodiesel diawali dengan pembuatan larutan metoksida melalui pelarutan NaOH ke dalam metanol sesuai rasio yang ditentukan hingga homogen. Selanjutnya, VRPO dimasukkan ke dalam reaktor dan dipanaskan hingga mencapai temperatur operasi sambil diaduk secara konstan. Setelah suhu tercapai, larutan metoksida ditambahkan ke dalam reaktor untuk memulai reaksi transesterifikasi. Reaksi berlangsung selama 60 menit dengan pengadukan konstan pada temperatur yang dijaga stabil. Produk hasil reaksi kemudian dipindahkan ke dalam corong pisah dan didiamkan selama ±1 jam hingga terbentuk dua lapisan, yaitu biodiesel pada bagian atas dan gliserol pada bagian bawah.

Lapisan biodiesel dipisahkan dan selanjutnya dilakukan proses pencucian menggunakan akuades sebanyak tiga kali untuk menghilangkan sisa katalis dan pengotor. Biodiesel yang telah dicuci kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100°C selama 1 jam untuk menghilangkan sisa air.

Setelah proses produksi selesai, biodiesel yang diperoleh ditambahkan minyak sereh wangi sesuai variasi volume yang telah ditentukan, kemudian dihomogenkan sebelum dilakukan pengujian karakteristik bahan bakar. Rendemen biodiesel dihitung berdasarkan perbandingan massa biodiesel yang dihasilkan terhadap massa bahan baku awal. Densitas diukur menggunakan piknometer berdasarkan perbandingan massa dan volume sampel. Pengujian titik nyala dilakukan menggunakan flash point tester dengan metode pemanasan bertahap hingga uap bahan bakar menyala. Sementara itu, angka setana diukur menggunakan alat uji cetane melalui prosedur kalibrasi dan pengukuran sampel secara berulang untuk memperoleh hasil yang akurat. Seluruh pengujian dilakukan secara duplo untuk meningkatkan keandalan data.

Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif kuantitatif dengan membandingkan pengaruh variasi temperatur dan penambahan minyak sereh wangi terhadap karakteristik biodiesel yang dihasilkan. Hasil analisis kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi serta penarikan kesimpulan.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Penelitian

Hasil penelitian menunjukkan bahwa variasi temperatur reaksi dan penambahan minyak sereh wangi sebagai zat aditif memberikan pengaruh signifikan terhadap karakteristik biodiesel yang dihasilkan dari *Virgin Red Palm Oil (VRPO)*. Secara umum, peningkatan temperatur dari 50°C hingga 60°C menghasilkan peningkatan volume biodiesel dan yield dari 46% menjadi 57%. Namun, pada temperatur 65°C tidak terjadi peningkatan *yield* yang signifikan. Selain itu, variasi volume minyak sereh wangi mempengaruhi sifat fisik biodiesel seperti viskositas, densitas, *flash point*, dan angka setana. Pada kondisi tertentu, khususnya pada temperatur 60°C dan penambahan aditif 2–4 mL, diperoleh karakteristik biodiesel yang paling optimal.

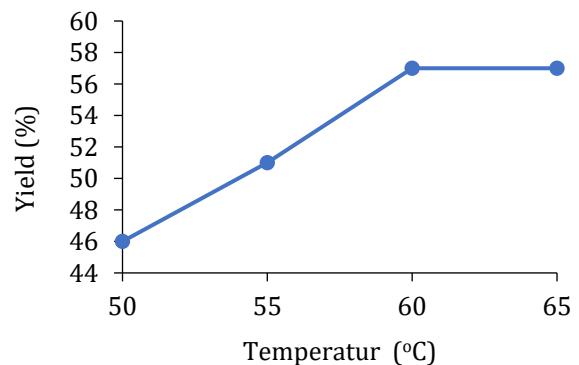
3.2 Pembahasan

3.2.1 Pengaruh Temperatur terhadap Yield Biodiesel

Pengaruh temperatur terhadap *yield* biodiesel ditunjukkan pada Gambar 1, yang menunjukkan bahwa peningkatan temperatur reaksi terbukti meningkatkan *yield* biodiesel hingga mencapai kondisi optimum pada 60°C. *Yield* meningkat dari 46% pada 50°C menjadi 57% pada 60°C, yang menunjukkan bahwa kenaikan temperatur mempercepat laju reaksi transesterifikasi. Hal ini sejalan dengan prinsip kinetika reaksi berdasarkan hukum Arrhenius, di mana peningkatan temperatur meningkatkan energi kinetik molekul sehingga frekuensi tumbukan efektif antar reaktan meningkat[8].

Namun, pada temperatur 65°C, *yield* tidak mengalami peningkatan lebih lanjut. Hal ini disebabkan oleh mendekatnya temperatur terhadap titik didih metanol (~64,7°C), sehingga sebagian metanol menguap dan mengurangi efektivitas reaksi[9]. Fenomena ini juga dilaporkan dalam penelitian sebelumnya bahwa temperatur optimum transesterifikasi minyak nabati umumnya berada pada rentang 55–65°C[10].

Gambar 1. Pengaruh variasi suhu terhadap yield



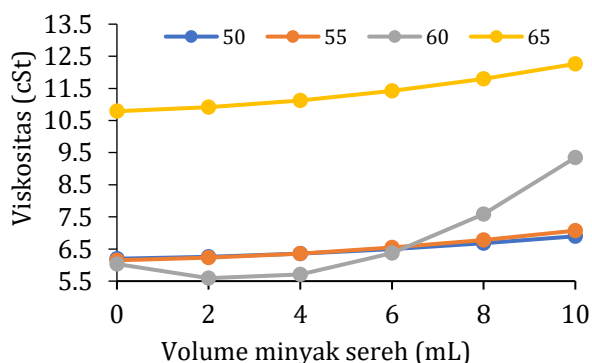
biodiesel

3.2.2 Pengaruh Minyak Sereh Wangi terhadap Viskositas Biodiesel

Penambahan minyak sereh wangi sebagai bio-aditif menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap viskositas biodiesel. Pengaruh penambahan minyak sereh wangi terhadap viskositas biodiesel diperlihatkan pada Gambar 2. Dari Gambar 2 terlihat bahwa pada penambahan 2–4 mL, viskositas cenderung menurun, khususnya pada suhu 60°C (hingga sekitar 5,59–5,70 cSt). Hal ini menunjukkan bahwa minyak sereh wangi berperan sebagai agen pengencer (*diluent*) yang mampu

menurunkan gaya intermolekuler dalam biodiesel[11].

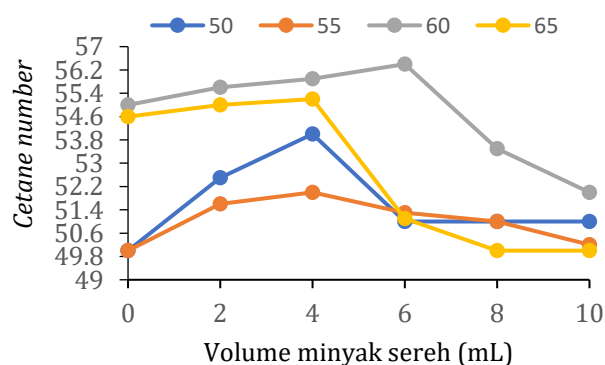
Namun, pada penambahan lebih tinggi (≥ 6 mL), viskositas kembali meningkat secara signifikan hingga mencapai >10 cSt pada suhu 65°C . Peningkatan ini disebabkan oleh ketidakhomogenan campuran serta kemungkinan terbentuknya interaksi kompleks antar komponen minyak atsiri dan biodiesel[12]. Jika dibandingkan dengan standar SNI 7182:2015 (2,3–6,0 cSt), maka kondisi optimum berada pada penambahan 2–4 mL pada suhu 60°C .



Gambar 2. Pengaruh volume minyak sereh wangi terhadap viskositas

3.2.3 Pengaruh Minyak Sereh Wangi terhadap Cetane Number

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan minyak sereh wangi mampu meningkatkan angka setana biodiesel pada konsentrasi tertentu seperti diperlihatkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengaruh volume minyak sereh wangi terhadap cetane number

Dari Gambar 3 terlihat bahwa pada suhu 60°C , nilai cetane number meningkat dari 55 (tanpa aditif) menjadi sekitar 55,6–55,9 pada penambahan 2–4 mL. Peningkatan ini disebabkan oleh kandungan senyawa oksigenat dalam minyak sereh wangi yang dapat

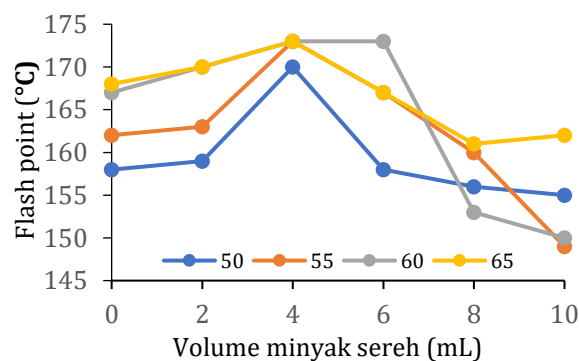
memperbaiki kualitas pembakaran bahan bakar [13, 14].

Namun, pada penambahan lebih tinggi (≥ 6 mL), nilai cetane number mengalami penurunan. Hal ini menunjukkan bahwa kelebihan aditif dapat menurunkan homogenitas bahan bakar dan mengganggu proses pembakaran[15, 16]. Dengan demikian, terdapat konsentrasi optimum aditif, yaitu sekitar 4 mL pada suhu 60°C , yang menghasilkan angka setana tertinggi.

3.2.4 Pengaruh Minyak Sereh Wangi terhadap Flash Point

Flash point biodiesel meningkat dengan penambahan minyak sereh wangi hingga konsentrasi 4 mL, dengan nilai mencapai sekitar $170\text{--}173^\circ\text{C}$ pada suhu 60°C seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Peningkatan ini menunjukkan bahwa biodiesel menjadi lebih aman dalam penyimpanan dan penanganan karena volatilitasnya menurun[17, 18].

Namun, pada penambahan aditif yang lebih tinggi, flash point cenderung menurun. Hal ini disebabkan oleh kemungkinan meningkatnya kandungan senyawa volatil dari minyak sereh wangi yang mempengaruhi kestabilan bahan bakar[19, 20]. Secara keseluruhan, seluruh nilai flash point yang diperoleh telah memenuhi standar SNI ($>100^\circ\text{C}$).

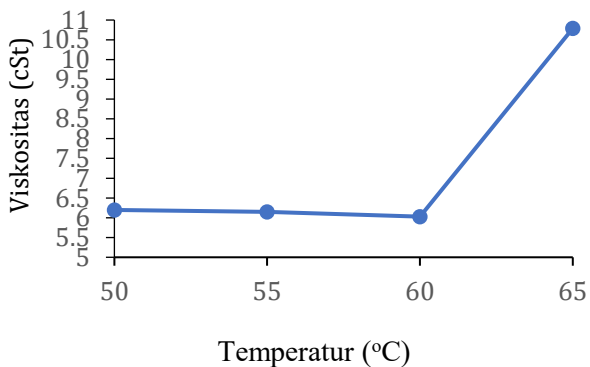


Gambar 4. Pengaruh volume minyak sereh wangi terhadap flash point

3.2.5 Pengaruh Temperatur terhadap Viskositas Biodiesel

Pengaruh temperatur terhadap viskositas biodiesel diperlihatkan pada Gambar 5. Viskositas biodiesel tanpa aditif menunjukkan tren menurun dari 6,19 cSt pada 50°C menjadi 6,03 cSt pada 60°C . Hal ini sesuai dengan teori bahwa viskositas fluida berbanding terbalik dengan temperatur, di mana peningkatan suhu akan menurunkan gaya kohesi antar molekul[21, 22].

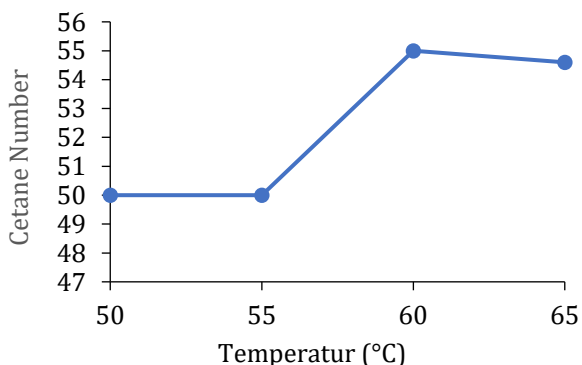
Namun, pada suhu 65°C terjadi peningkatan viskositas yang signifikan hingga 10,79 cSt. Hal ini diduga akibat adanya reaksi samping seperti saponifikasi atau ketidaksempurnaan pemisahan gliserol dan sabun yang mempengaruhi sifat aliran biodiesel[23].



Gambar 5. Pengaruh temperatur terhadap viskositas

3.2.6 Pengaruh Temperatur terhadap Cetane Number

Nilai cetane number relatif konstan pada suhu 50–55°C, kemudian meningkat pada suhu 60°C seperti diperlihatkan pada Gambar 6. Hal ini menunjukkan bahwa pada suhu rendah, konversi trigliserida menjadi metil ester (FAME) belum optimal, sehingga kualitas pembakaran belum meningkat secara signifikan[24].



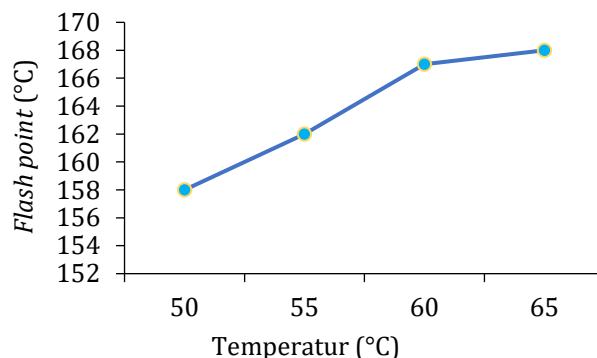
Gambar 6. Pengaruh temperatur terhadap cetane number

Pada suhu 60°C, peningkatan cetane number menunjukkan bahwa konversi FAME telah mencapai kondisi optimum. Namun, pada suhu 65°C terjadi sedikit penurunan yang kemungkinan disebabkan oleh degradasi termal atau kehilangan komponen penting akibat penguapan[25].

3.2.7 Pengaruh Temperatur terhadap Flash Point

Pengaruh temperatur terhadap flash point ditunjukkan pada Gambar 7. Flash point biodiesel meningkat seiring kenaikan temperatur reaksi hingga mencapai 167°C pada 60°C. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan metanol sisa dalam biodiesel semakin rendah akibat proses pemurnian yang lebih efektif[26].

Namun, pada temperatur 65°C terjadi kecenderungan penurunan, yang mengindikasikan adanya kemungkinan kontaminasi senyawa volatil akibat reaksi yang kurang stabil. Secara umum, seluruh nilai flash point telah memenuhi standar kualitas biodiesel, yang menunjukkan keamanan bahan bakar yang baik.

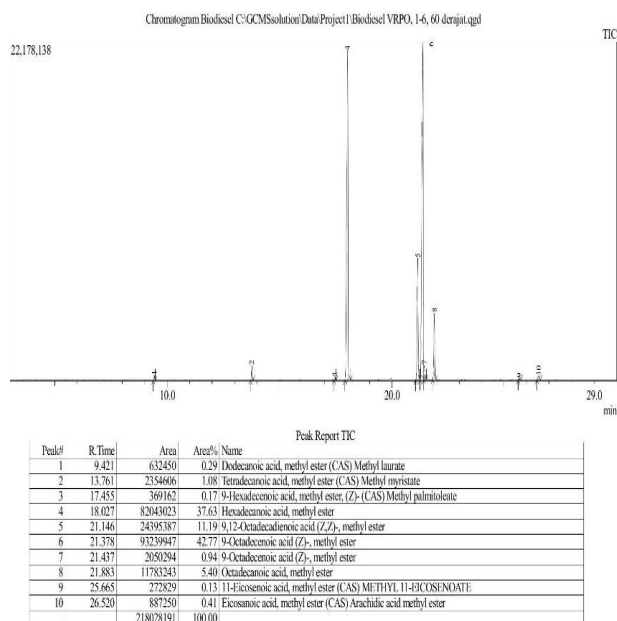


Gambar 7. Pengaruh temperatur terhadap flash point

3.2.8 Analisis Komposisi Metil Ester

Hasil analisis GC-MS menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan didominasi oleh senyawa metil ester (FAME), terutama methyl oleate (~42,77%) dan methyl palmitate (~37,63%) seperti diperlihatkan pada Gambar 8. Methyl oleate sebagai asam lemak tak jenuh berperan dalam meningkatkan kualitas pembakaran dan angka setana, sedangkan methyl palmitate sebagai asam lemak jenuh memberikan kontribusi terhadap stabilitas oksidasi[27].

Dominasi kedua senyawa ini menunjukkan bahwa biodiesel memiliki keseimbangan antara stabilitas dan performa pembakaran. Kandungan FAME yang tinggi mengindikasikan bahwa proses transesterifikasi berlangsung dengan baik dan biodiesel yang dihasilkan berpotensi memenuhi standar kualitas bahan bakar biodiesel.



Gambar 8. Pengujian GCMS produk biodiesel

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa temperatur reaksi dan penambahan minyak sereh wangi sebagai zat aditif memberikan pengaruh signifikan terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan dari *Virgin Red Palm Oil (VRPO)*.

Penambahan minyak sereh wangi pada konsentrasi tertentu, khususnya 2–4 mL, terbukti dapat meningkatkan angka setana serta memperbaiki sifat fisik biodiesel seperti viskositas dan *flash point*. Namun, penambahan aditif dalam jumlah berlebih (≥ 6 mL) justru menurunkan kualitas biodiesel akibat peningkatan viskositas dan menurunnya homogenitas campuran.

Kondisi operasi optimum pada penelitian ini diperoleh pada temperatur 60°C dengan penambahan minyak sereh wangi sebesar 4 mL, yang menghasilkan biodiesel dengan rendemen tinggi, angka setana optimal, serta karakteristik fisik yang mendekati standar kualitas bahan bakar. Hasil analisis komposisi menunjukkan bahwa biodiesel didominasi oleh senyawa metil ester yang mendukung performa pembakaran dan stabilitas bahan bakar.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Laboratorium Teknik Kimia atas penggunaan peralatan untuk pengujian biodiesel.

Daftar Pustaka

- [1] Pramudiyanto, A. S. & Suedy, S. W. A., 2020. *Energi bersih dan ramah lingkungan dari biomassa untuk mengurangi efek gas rumah kaca dan perubahan iklim yang ekstrim*. Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan, Vol. 1, No. 3, pp. 86-99.
- [2] Putri, F. B., 2026. *Analisis ketahanan energi nasional berbasis indeks ketergantungan impor dan emisi karbon*. Jurnal Lingkungan Hidup dan Energi Terbarukan, Vol. 1, No. 1, pp. 10-18.
- [3] Iklima, I. K., Hidayat, T., Sofinila, M. F. A., Abrilia, P. R., Sanjaya, E. H., & Utomo, Y., 2025. *Evaluasi dan strategi biodiesel sebagai energi terbarukan di Indonesia: Literature review*. Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan (JPPL), Vol. 7, No. 2, pp. 68-79.
- [4] Purnama, K. O., Setyaningsih, D., Hambali, E., & Taniwiryono, D., 2020. *Processing, characteristics, and potential application of red palm oil-a review*. International Journal of Oil Palm, Vol. 3, No. 2, pp. 40-55.
- [5] Rochyani, N., Barutu, A., & Wahyudi, A., 2026. *Analisa variabel biodiesel hasil transesterifikasi dengan variasi rasio metanol-etanol*. RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, Vol. 4, No. 4, pp. 7782-7789.
- [6] Milenia, R., Islam, L. S., Ihsan, M., & Sarosa, A. H., 2022. *Studi potensi minyak sereh wangi sebagai alternatif bahan aditif pada bahan bakar minyak*. Jurnal Rekayasa Bahan Alam Dan Energi Berkelanjutan, Vol. 6, No. 1, pp. 6-15.
- [7] Prasetyo, D. H. T. & Wahyudi, D., 2022. *Pengaruh rasio ekuivalen dan komposisi bahan bakar terhadap karakteristik api dengan menggunakan bahan bakar biodiesel kesambi*. Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin, Vol. 11, No. 2, pp. 270-277.
- [8] Suzihaque, M., Alwi, H., Ibrahim, U. K., Abdullah, S., & Haron, N., 2022. *Biodiesel production from waste cooking oil: A brief review*. Materials Today: Proceedings, Vol. 63, pp. S490-S495.
- [9] Prihanto, A. & Irawan, T. B., 2018. *Pengaruh temperatur, konsentrasi katalis dan rasio molar metanol-minyak terhadap yield biodiesel dari minyak goreng bekas melalui proses netralisasi-transesterifikasi*. Metana, Vol. 13, No. 1, pp. 30-36.

- [10] lestari Lilla, L. P., Sri, S. P., & Firmansyah, F., 2024. *Optimasi transesterifikasi minyak nyamplung dengan katalis heterogen: Studi pengaruh suhu dan waktu reaksi*. Mechonversio: Mechanical Engineering Journal, Vol. 7, No. 1, pp. 35-41.
- [11] Sufin, T. & Daryono, E. D., 2024. *Pengaruh suhu dan konsentrasi minyak atsiri sereh terhadap sifat fisik minyak jelantah sebagai bahan bakar pengganti biodiesel*. Jurnal Integrasi Proses, Vol. 13, No. 2, pp. 141-146.
- [12] Adiguna, I., Purwanto, R., & Nugroho, D. K., 2025. *Reaksi pembentukan ester dari komponen minyak atsiri cengkih (syzygium aromaticum) menggunakan etanol*. Pure Chemistry Research, Vol. 1, No. 2, pp. 28-33.
- [13] Hartanto, S., Ihsan, A. M., & Yuliana, G. C., 2019. *Pemanfaatan bioaditif serai wangi-etanol pada kendaraan roda dua berbahan bakar pertalite*. J. Tek. Mesin ITI, Vol. 3, No. 2, p. 35.
- [14] Fitri, N., Mauludiyah, R., Sukri, Q., Syahputra, R., & Nurhuddah, I. I., 2024. *Initiation of z-fract formula as a bio-additive for industrial machine efficiency inisiasi z-fract formula sebagai bio-aditif efisiensi mesin industri*. Indonesian Journal of Chemical Research, Vol. 9, No. 1.
- [15] Monasari, R., Firdaus, A. H., & Qosim, N., 2021. *Pengaruh penambahan zat aditif pada campuran bahan bakar bensin-bioethanol terhadap specific fuel consumption*. Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha, Vol. 9, No. 1, pp. 1-10.
- [16] Wulan, S., 2023. *Optimasi proses pembakaran dan emisi gas buang pada mesin pembakaran internal dengan penambahan aditif biofuel berbasis biomassa lokal*. TATAL, Vol. 2, No. 01.
- [17] Wahyudi, W., 2025. *Korelasi sifat fisik biodiesel campuran jatropha-kedelai: Densitas, viskositas, titik nyala dan nilai kalor*. INSOLOGI: Jurnal Sains dan Teknologi, Vol. 4, No. 3, pp. 669-679.
- [18] Cakrawardana, C., 2021. *Dampak kondisi lingkungan dalam penyimpanan biodiesel terhadap kualitas bahan bakar B30*. JST (Jurnal Sains Terapan), Vol. 7, No. 2, pp. 60-67.
- [19] Permanasari, A., Sukarni, S., Wulandari, R., Puspitasari, P., Mauludi, M., & Ramadani, R., 2020. *Density, flash point, viscosity, and heating value of waste cooking biodiesel (B20) with bioadditive essential oil (lemon, lemongrass, eucalyptus)*. in *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1595, No. 1: IOP Publishing.
- [20] Cahyono, B., Semin, S., & Putri, I. C., 2024. *Experimental investigation of citronella oil as bioadditive in biodiesel fuel on diesel engine performance, vibration and emissions*. International Journal of Marine Engineering Innovation and Research, Vol. 9, No. 2, pp. 395-401.
- [21] Mishra, S., Bukkarapu, K. R., & Krishnasamy, A., 2021. *A composition based approach to predict density, viscosity and surface tension of biodiesel fuels*. Fuel, Vol. 285, p. 119056.
- [22] Mujtaba, M. et al., 2021. *Development of empirical correlations for density and viscosity estimation of ternary biodiesel blends*. Renewable Energy, Vol. 179, pp. 1447-1457.
- [23] Monika, Pathak, V. V., & Banga, S., 2025. *A comprehensive analysis of refining technologies for biodiesel purification*. Brazilian Journal of Chemical Engineering, pp. 1-17.
- [24] Irfandy, F. & Siqhny, Z. D., 2025. *Pengaruh suhu dan penambahan zat aditif dietil eter terhadap pembuatan biodiesel (B35) dari minyak jelantah*. Journal of Syntax Literate, Vol. 10, No. 7.
- [25] Yusuff, A. S., Bangwal, D. P., Gbadamosi, A. O., & Atray, N., 2023. *Kinetic and thermodynamic analysis of biodiesel and associated oil from jatropha curcas l. during thermal degradation*. Biomass Conversion and Biorefinery, Vol. 13, No. 7, pp. 6121-6131.
- [26] Gultom, E., Lestari, H., & Hestina, H., 2024. *Analisis pengaruh suhu pemanasan pada transesterifikasi minyak jelantah dalam pembuatan biodiesel*. Innovative: Journal of Social Science Research, Vol. 4, No. 1, pp. 6413-6421.
- [27] Wang, W. et al., 2021. *Effects of unsaturated fatty acid methyl esters on the oxidation stability of biodiesel determined by gas chromatography-mass spectrometry and information entropy methods*. Renewable Energy, Vol. 175, pp. 880-886.