



Pengaruh Kadar *Free Fatty Acid* dalam *Used Cooking Oil* (UCO) dan Massa Katalis pada Proses Transesterifikasi terhadap Karakteristik dan Kelimpahan *Used Cooking Oil Methyl Ester* (UCOME)

(The Effect of Free Fatty Acid Content in Used Cooking Oil (UCO) and Catalyst Mass in Transesterification Process on Used Cooking Oil Methyl Ester (UCOME)'s Characteristics and Yield)

Nina Haryani*, Elfrida Rasyidah Desvi Imanda, Andiga Asih Ambarwati Utami

Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya
Jalan Palembang-Prabumulih KM. 32 Indralaya, Ogan Ilir, Sumatera Selatan, 30662, Indonesia

*Corresponding author: ninaharyani@ft.unsri.ac.id

DOI: [10.20961/alchemy.21.1.84661.94-103](https://doi.org/10.20961/alchemy.21.1.84661.94-103)

Received 15 February 2024, Revised 15 March 2024, Accepted 19 December 2024, Published 28 March 2025

Kata kunci:

UCO;
transesterifikasi;
UCOME;
katalis;
yield.

ABSTRAK. Salah satu pemanfaatan kembali minyak jelantah atau *Used Cooking Oil* (UCO) adalah diolah menjadi biodiesel *Used Cooking Oil Methyl Ester* (UCOME). *Free Fatty Acid* (FFA) dalam UCO diolah melalui reaksi transesterifikasi menjadi metil ester. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari pengaruh kadar FFA UCO dan massa katalis terhadap karakteristik dan *yield* UCOME yang dihasilkan. Variasi kadar FFA UCO yang digunakan yaitu 1,493%; 1,536%; 2,56%; dan 5,504%. Reaksi transesterifikasi dilakukan pada temperatur 60 – 65 °C, pengadukan 350 rpm, serta rasio mol UCO dan metanol (1:6) dengan variasi massa katalis KOH yaitu 0,5%, 1,5%, dan 2,5% (b/b) UCO. Parameter uji karakteristik UCOME meliputi densitas, viskositas, API Gravity, dan *Higher Heating Value* (HHV). Analisis komponen kimia dilakukan menggunakan alat Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). *Yield* tertinggi sebesar 96,59% diperoleh pada hasil transesterifikasi sampel dengan kadar FFA 1,493%. Massa katalis KOH yang optimal adalah 1,5% (b/b UCO). Hasil GC-MS produk dengan kadar FFA awal <5% didominasi oleh metil ester rantai C₁₁-C₁₉. Karakteristik seluruh produk dengan kadar FFA awal <5% memenuhi standar biodiesel menurut SNI.

Keywords:

UCO;
transesterification;
UCOME;
catalyst;
yield.

ABSTRACT. One way to take advantage of Used Cooking Oil (UCO) is by recycling it into Used Cooking Oil Methyl Ester (UCOME) biodiesel. The free fatty acids (FFA) in UCO are processed through a transesterification reaction into methyl esters. This study aims to review the effects of FFA content in UCO and the catalyst mass used on the characteristics and yield of UCOME produced. The variations in FFA content in UCO are 1.493%, 1.536%, 2.56%, and 5.504%. The transesterification reaction was carried out at a condition of 60 – 65 °C, with stirring at 350 rpm, and mole ratio between UCO and methanol (1:6) with variations in the amount of KOH catalyst at 0.5%, 1.5%, and 2.5% w/w UCO. The UCOME characteristic test parameters include density, viscosity, API gravity, and Higher Heating Value (HHV). The highest yield of 96.59% was obtained from the transesterification of the sample with an FFA content of 1.493%. The optimal amount of KOH catalyst is 1.5% w/w UCO. The GC-MS results of products with initial FFA content <5% are dominated by C₁₁-C₁₉ methyl esters. The characteristics of all products with initial FFA content <5% fulfill the biodiesel standards according to SNI.

PENDAHULUAN

Metil ester merupakan senyawa oleokimia yang diperoleh dari reaksi antara minyak nabati dengan metanol dibantu katalis basa atau asam dan dikenal sebagai biodiesel. Produksi metil ester, seiring berjalannya waktu, terus mengalami perkembangan. Metil ester awalnya diperoleh dari bermacam jenis minyak nabati, seperti minyak kedelai, minyak bunga matahari, dan minyak kanola. Seiring berkembangnya teknologi, metil ester juga dapat diproduksi dari lemak hewani seperti lemak sapi atau lemak babi.

Cite this as: Haryani, N., Imanda, E. R. D., Utami, A. A. A., 2025. Pengaruh Kadar FFA *Used Cooking Oil* (UCO) dan Massa Katalis pada Proses Transesterifikasi terhadap Karakteristik dan Massa *Yield Used Cooking Oil Methyl Ester* (UCOME). *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia*, 21(1), 84-103. <https://dx.doi.org/10.20961/alchemy.21.1.84661.94-103>.

Evolusi metil ester sebagai biofuel atau bahan bakar nabati dikategorikan ke dalam empat generasi yang berbeda, yang dibagi berdasarkan bahan baku biomasnya. Biofuel generasi pertama merupakan biofuel yang terbuat dari bahan nabati dan hewani, seperti tebu dan lemak hewani. Biofuel generasi kedua merupakan biofuel yang terbuat dari pemanfaatan limbah organik, seperti jerami dan *used cooking oil*. Biofuel yang terbuat dari mikroorganisme dan alga dikategorikan sebagai biofuel generasi ketiga dan keempat, bergantung pada teknologi proses yang digunakan (Vignesh *et al.*, 2021).

Metil ester dari minyak nabati memanfaatkan kandungan asam lemak yang terdapat di dalamnya. *Used Cooking Oil* (UCO) merupakan salah satu minyak nabati yang dapat dijadikan bahan baku pembuatan metil ester. Pemanfaatan UCO sebagai bahan baku juga dapat mengurangi limbah yang dapat merusak lingkungan. UCO memiliki komposisi utama *free fatty acid* (FFA) yang dapat menghasilkan metil ester melalui proses transesterifikasi, dimana transesterifikasi merupakan reaksi antara trigliserida dengan metanol untuk menghasilkan metil ester dengan produk samping berupa gliserol (Purnomo *et al.*, 2020).

FFA atau asam lemak bebas mengandung asam lemak jenuh yang berantai panjang. Kadar FFA yang tinggi pada UCO dapat berasal dari reaksi oksidasi dan hidrolisis selama proses penggorengan. UCO dengan kadar FFA yang tinggi apabila digunakan dalam reaksi transesterifikasi dapat menyebabkan terjadi reaksi samping berupa penyabunan (Aziz *et al.*, 2011). Reaksi penyabunan yang terjadi dapat mempengaruhi kualitas metil ester yang dihasilkan. Pemilihan proses transesterifikasi dilakukan karena reaksi transesterifikasi akan menghasilkan metil ester dengan kualitas yang lebih baik karena reaksi ini mengalami pertukaran asam lemak dan menghasilkan sebuah ester baru (Busyairi *et al.*, 2020). Penelitian mengenai pembuatan metil ester dengan transesterifikasi juga telah dilakukan oleh Sulistianingsih and Wahyuningtyas (2019) dengan menggunakan UCO serta katalis CaO yang menghasilkan *yield* dengan nilai sebesar 65,58% dengan perbandingan metanol dan UCO yaitu 1:15 dan berat katalis yaitu 4% wt. Massa katalis mempengaruhi *yield* metil ester yang dihasilkan dalam proses transesterifikasi UCO. Penelitian tentang transesterifikasi minyak nabati dilakukan oleh Orchidantya *et al.* (2023) dengan memvariasikan massa katalis MeOH, yaitu 20%, 25%, dan 30% berat minyak pada reaksi transesterifikasi. *Yield* biodiesel tertinggi sebesar 86,6% dihasilkan pada sampel dengan massa katalis MeOH sebanyak 25% berat minyak. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Harmiansyah *et al.* (2023) dengan memvariasikan massa katalis 2%, 4%, 6%, dan 8% pada proses esterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel. Pada penelitian tersebut, hasil biodiesel yang paling tinggi sebesar 94,45% diperoleh pada penggunaan massa katalis sebanyak 4% berat minyak jelantah.

Berdasarkan tinjauan di atas, pada penelitian ini dilakukan percobaan pengolahan UCO menjadi UCOME melalui proses transesterifikasi dengan meninjau pengaruh massa katalis dan kadar FFA UCO. Hasil penelitian ini diharapkan diketahui seberapa besar pengaruh kadar FFA UCO dan massa katalis pada proses transesterifikasi terhadap karakteristik dan jumlah *yield* UCOME yang dihasilkan. Dengan demikian, dapat memberikan informasi terkait pemanfaatan kembali UCO sebagai *feedstock biogasoline* sekaligus mengurangi pencemaran limbah UCO bagi lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode *batch* dalam skala laboratorium. Bahan yang digunakan adalah UCO dan metanol. UCO diperoleh dari limbah rumah tangga di sekitar Sumatera Selatan. UCO telah dilakukan *pre-treatment* terlebih dahulu melalui proses adsorpsi menggunakan ampas tebu sebagai adsorben. Proses *pre-treatment* dengan metode adsorpsi bertujuan untuk menurunkan nilai FFA pada UCO (Haryani *et al.*, 2024). Setelah melalui tahap *pre-treatment*, diperoleh empat kategori UCO yang terdiri dari tiga kategori UCO yang melalui *pre-treatment* (A, B, C) dan kategori D sebagai sampel yang tidak melalui *pre-treatment*. Keempat kategori (A, B, C, D) diurutkan berdasarkan kadar FFA dari yang terendah hingga tertinggi (1,493%; 1,593%; 2,560%; dan 5,504%). Katalis juga digunakan pada proses transesterifikasi ini guna meningkatkan laju reaksi. Katalis yang digunakan adalah kalium hidroksida (KOH) dari Mercks. Variasi massa katalis pada penelitian ini ialah 0,5% (b/b); 1,5% (b/b); dan 2,5% (b/b) UCO. Peralatan laboratorium yang digunakan, di antaranya labu leher tiga, gelas beker, *magnetic stirrer*, corong pemisah, termometer, kondensor, *hotplate*, pompa, statif, dan klem.

Proses Transesterifikasi UCO

Katalis KOH disiapkan terlebih dahulu dengan variasi massa katalis menggunakan perbandingan terhadap berat sampel UCO (0,5 % (b/b), 1,5% (b/b) dan 2,5% (b/b) UCO). Katalis KOH yang telah disiapkan kemudian

dimasukkan ke dalam methanol dalam sebuah gelas beker, lalu diaduk menggunakan *magnetic stirrer* selama 10 menit hingga katalis larut di dalam metanol. Sampel UCO sebanyak 100 mL dimasukkan ke dalam labu leher tiga yang telah terpasang dengan rangkaian alat kondensor serta dilengkapi dengan termometer. UCO kemudian dipanaskan hingga mencapai temperatur 100 °C di atas *hotplate* dengan tujuan untuk menghilangkan kadar air yang masih terkandung di dalam UCO. Setelah temperatur UCO menurun menjadi 45 – 60 °C di dalam labu leher tiga, campuran metanol dan KOH dimasukkan ke dalam UCO. Perbandingan rasio molar antara UCO dan metanol yang digunakan sebesar 1:6. Proses transesterifikasi dibiarkan berlangsung selama 60 menit pada temperatur yang dijaga antara 60 – 65 °C dengan dibantu pengaduk berupa *magnetic stirrer* berkecepatan 350 rpm. Hasil transesterifikasi yang terdiri dari metil ester dan gliserol kemudian dipisahkan menggunakan corong pemisah lalu dicuci hingga diperoleh *Used Cooking Oil Methyl Ester* (UCOME) sebagai produk metil ester.

Jumlah *yield* metil ester dianalisis menggunakan metode gravimetri. Adapun karakteristik UCOME meliputi densitas, viskositas, *American Petroleum Institute (API) Gravity*, dan *Higher Heating Value* (HHV) dianalisis secara kuantitatif menggunakan beberapa persamaan. Selain itu, analisis komponen kimia pada UCOME dilakukan menggunakan instrumen *Gas Chromatography-Mass Spectrometric* (GC-MS). Sampel yang dianalisis menggunakan GC-MS berupa produk UCOME terbaik yang mewakili kategori: produk dengan *pre-treatment* dan produk tanpa *pre-treatment*. Kedua sampel ini telah dipisahkan terlebih dahulu ke botol kaca 50 mL. Adapun, volume sampel yang digunakan dalam analisis menggunakan metode GC-MS sebanyak 1 mikroliter (1 µL). Kondisi operasi GC-MS yang digunakan untuk analisis sampel metil ester adalah GC-MS dengan jenis pengionan berupa ionisasi elektron (EI). Temperatur sumber ion yang digunakan sebesar 270 °C dan temperatur injeksi sebesar 60 °C. Hasil yang diperoleh berupa kromatogram yang berisi spektrum massa dengan puncak-puncak yang menunjukkan banyaknya kandungan senyawa. Analisis sampel dengan metode GC-MS ini dilakukan oleh pihak Laboratorium Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Sriwijaya.

Karakterisasi UCOME

Uji Densitas

Densitas atau massa jenis yang diukur pada penelitian ini adalah densitas UCO sebagai sampel serta UCOME sebagai produk transesterifikasi. Pengukuran densitas UCOME dilakukan dengan menggunakan alat piknometer pada temperatur 40 °C. Piknometer kosong semula ditimbang, kemudian diisi dengan air sampai batas tanda untuk menentukan volume piknometer. Setelah diperoleh volume piknometer, piknometer kosong kemudian diisi dengan UCOME yang ingin diukur densitasnya lalu ditimbang. Pengukuran densitas dilakukan dengan menghitung selisih antara massa piknometer sebelum dan setelah diisi UCOME. Perhitungan densitas dilakukan dengan menggunakan [Persamaan \(1\)](#).

$$\text{Densitas } (\rho) = \frac{m \text{ piknometer (isi)} - m \text{ piknometer (kosong)}}{\text{volume piknometer}} \quad (1)$$

dengan ρ merupakan massa jenis (g/ mL), $m \text{ piknometer}_{(\text{isi})}$ merupakan massa piknometer setelah diisi UCOME (g), $m \text{ piknometer}_{(\text{kosong})}$ merupakan massa piknometer kosong atau sebelum diisi UCOME (g), dan volume piknometer merupakan volume piknometer (mL).

Uji Viskositas

Pengukuran nilai viskositas dilakukan pada temperatur 40 °C dengan menggunakan metode Ostwald, yaitu dengan mengukur laju aliran UCOME kemudian dibandingkan dengan laju alir senyawa pembanding yang telah diketahui densitasnya. Alat yang digunakan ialah viskometer Ostwald yang terbuat dari kaca. Senyawa pembanding yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang telah diukur terlebih dahulu densitasnya. Prinsip yang digunakan adalah dengan mengukur waktu yang diperlukan bagi UCOME untuk mengalir melewati dua titik yang ada pada viskometer. Perhitungan viskositas kinematik dilakukan dengan menggunakan [Persamaan \(2\)](#).

$$v_k = \frac{\eta \text{ UCOME}}{\text{densitas UCOME}} \quad (2)$$

dimana viskositas dinamik (η) diukur dengan menggunakan [Persamaan \(3\)](#).

$$\eta \text{ sampel} = \frac{t \text{ UCOME} \times \text{densitas UCOME}}{t \text{ air} \times \text{densitas air}} \times \text{densitas air} \quad (3)$$

dengan η merupakan viskositas dinamik (g/cm.s), ν_k merupakan viskositas kinematik (m²/s), t merupakan waktu alir (detik), dan ρ merupakan massa jenis (g/mL).

Perhitungan Nilai API Gravity

Derajat API yang dihitung mengacu pada standar yang ditetapkan oleh American Petroleum Institute (API). Penentuan nilai API Gravity dihitung menggunakan [Persamaan \(4\)](#).

$$API = \frac{141,5}{SG} - 131,5 \quad (4)$$

dengan API merupakan nilai derajat API, SG merupakan *specific gravity* atau perbandingan berat dari sejumlah volume UCOME terhadap berat air untuk volume yang sama pada temperatur tertentu densitas UCOME, relatif terhadap air. Adapun nilai *specific gravity* diukur dengan menggunakan [Persamaan \(5\)](#).

$$SG_{\text{terhadap air}} = \frac{\text{densitas}_{\text{UCOME}}}{\text{densitas}_{\text{air}}} \quad (5)$$

dengan SG merupakan nilai *specific gravity* dan densitas (ρ) merupakan massa jenis (g/mL).

Perhitungan Nilai HHV

Nilai kalor suatu bahan bakar dihitung berdasarkan banyaknya panas yang dilepas ketika terjadi proses pembakaran sempurna. Alat yang digunakan untuk menghitung nilai kalor suatu bahan umumnya adalah kalorimeter. Nilai kalor UCOME dapat dihitung dengan perhitungan menggunakan rumus empiris. Rumus yang akan digunakan dalam menghitung kalor UCOME tertera pada [Persamaan \(6\)](#).

$$HHV = 43,350 + 93(API \text{ Gravity} - 10) \quad (6)$$

dengan HHV merupakan nilai kalor bahan bakar ketika seluruh air hasil pembakaran berwujud cair (kJ/kg).

Perhitungan Persentase Yield UCOME

UCOME yang diperoleh diukur persentase *yield*nya untuk mengetahui banyaknya bahan baku yang terkonversi menjadi produk. Persentase *yield* dihitung dengan [Persamaan \(7\)](#).

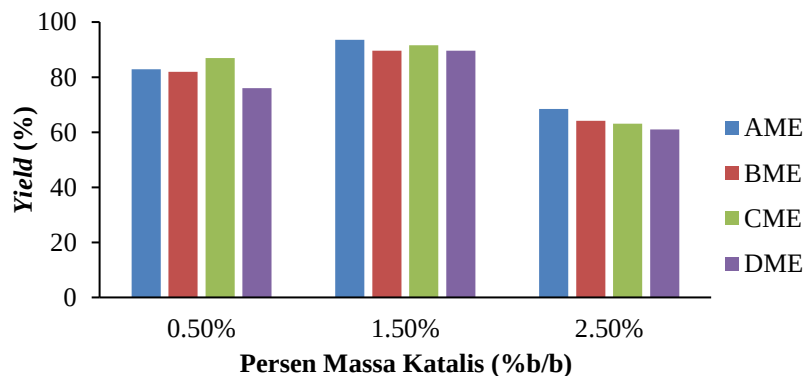
$$\% \text{ yield} = \frac{m_{\text{UCOME}}}{m_{\text{UCO}}} \times 100\% \quad (7)$$

dengan *yield* merupakan hasil konversi UCO menjadi UCOME yang dihasilkan, m_{UCOME} merupakan massa UCOME (g), dan m_{UCO} merupakan massa UCO (g).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kelimpahan (yield) dari Produk

Hasil transesterifikasi menunjukkan data seperti pada [Gambar 1](#). Data tersebut menunjukkan pengaruh massa katalis terhadap *yield* metil ester. Produk dengan massa katalis 1,5% yaitu AME₂, BME₂, dan CME₂ memiliki persentase *yield* tertinggi di antara variasi massa katalis lainnya. Adapun *yield* tertinggi terdapat pada produk AME₂ sebesar 93,57%. Produk AME₂ merupakan hasil transesterifikasi dari UCO kategori A, yang mana kadar FFA nya merupakan yang terendah dibanding kategori lainnya, yakni sebesar 1,493%.



Gambar 1. Grafik pengaruh kadar FFA dan massa katalis terhadap persentase *yield* UCOME.

Pengaruh Kadar FFA dan Massa Katalis terhadap Karakteristik UCOME Hasil Transesterifikasi

Hasil pengukuran densitas, viskositas, API Gravity, HHV, dan *yield* produk UCOME dapat dilihat pada [Tabel 1](#). Produk UCOME yang diperoleh dari UCO kategori A dinamakan AME, begitu pula dengan UCOME yang diperoleh dari UCO kategori B dinamakan BME dan seterusnya. Penomoran produk diurutkan sesuai massa katalis yang digunakan dari yang terendah hingga tertinggi, seperti AME₁, BME₁, CME₁, dan DME₁ sebagai produk yang diperoleh dari reaksi transesterifikasi menggunakan massa katalis 0,5% dan seterusnya.

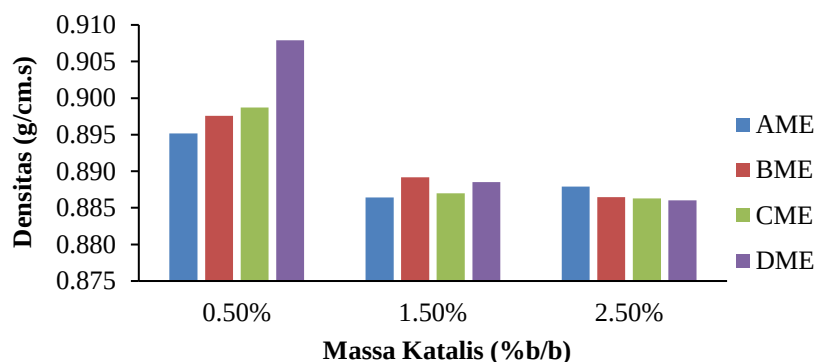
Tabel 1. Pengaruh kadar FFA dan massa katalis terhadap karakteristik dan jumlah *yield* UCOME.

Produk	Kadar FFA (%)	%b/b Katalis	Densitas (g/cm.s)	Viskositas (cSt)	API Gravity (°)	HHV (kkal/kg)	Yield UCOME (%)
AME ₁	1,493	0,50	0,89518	3,743	26,569	10728	82,82
AME ₂	1,493	1,50	0,88643	2,713	28,129	10763	93,57
AME ₃	1,493	2,50	0,88789	2,548	27,867	10757	68,50
BME ₁	1,536	0,50	0,89756	4,064	26,150	10719	81,97
BME ₂	1,536	1,50	0,88916	2,861	27,639	10752	89,64
BME ₃	1,536	2,50	0,88645	2,475	28,125	10763	64,10
CME ₁	2,560	0,50	0,89870	4,266	25,950	10715	86,87
CME ₂	2,560	1,50	0,88697	2,722	28,032	10761	91,52
CME ₃	2,560	2,50	0,88628	2,622	28,156	10764	63,10
DME ₁	5,504	0,50	0,90791	13,624	24,352	10679	76,05
DME ₂	5,504	1,50	0,88852	2,870	27,754	10755	89,58
DME ₃	5,504	2,50	0,88604	2,597	28,199	10765	61,00

Produk dengan massa katalis 2,5% yang terdiri dari AME₃, BME₃, CME₃ dan DME₃ mengalami penurunan *yield* dengan *yield* yang paling rendah pada sampel DME₃ sebesar 61%. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi reaksi transesterifikasi dengan massa katalis 2,5% bukan merupakan kondisi yang optimal untuk diterapkan. Pada kondisi tersebut, jumlah *yield* UCOME yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan reaksi dengan massa katalis 0,5% dan 1,5%. Penurunan *yield* dapat disebabkan oleh kesetimbangan reaksi yang telah tercapai. Katalis akan mempengaruhi laju pembentukan metil ester dan reaksi akan kembali seperti semula karena reaksi transesterifikasi yang bersifat *reversible* (Khairul *et al.*, 2018). Persentase *yield* yang dihasilkan oleh UCO dengan kadar FFA rendah lebih banyak dibandingkan UCO dengan kadar FFA tinggi. Hal ini dikarenakan pada sampel dengan FFA yang tinggi, FFA dapat bereaksi dengan katalis KOH sehingga akan berpengaruh pada jumlah *yield* UCOME yang dihasilkan. Menurut Aziz *et al.* (2011), FFA yang berlebih akan bereaksi dengan katalis basa atau disebut dengan reaksi saponifikasi atau reaksi penyabunan.

Densitas

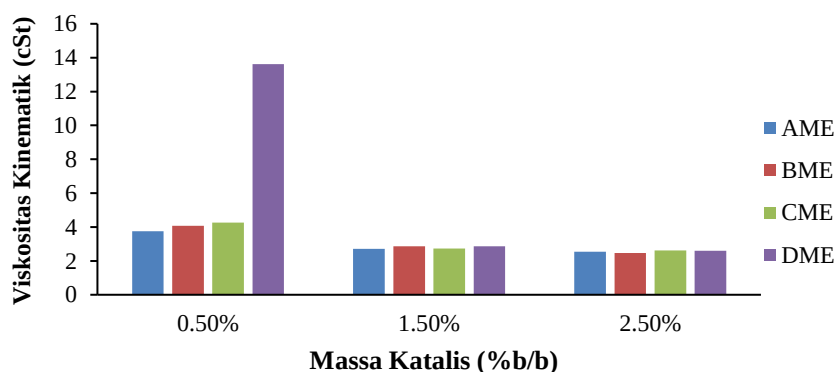
Data densitas produk UCOME yang diperoleh memiliki *range* densitas di antara 0,88 – 0,89 gr/ml yang ditunjukkan pada [Gambar 2](#). Standar densitas metil ester menurut SNI adalah di antara 0,85 – 0,9 gr/mL, sehingga dapat disimpulkan bahwa densitas seluruh produk UCOME yang dihasilkan memenuhi persyaratan SNI, kecuali produk DME₁. Produk DME₁ dengan massa katalis 0,5% menghasilkan densitas yang jauh di bawah standar SNI metil ester. Hal tersebut dikarenakan pada produk ini, UCO belum terkonversi secara sempurna sehingga masih terdapat gliserol yang kemungkinan belum terpisah dari hasil reaksi. Ketika terjadi reaksi penyabunan, gliserol akan lebih sulit dipisahkan dari produk metil ester sehingga densitas juga akan semakin besar (Samosir *et al.*, 2012). Densitas semakin menurun seiring dengan penambahan konsentrasi KOH. Katalis KOH berperan dalam mengganggu kestabilan ikatan ester dalam proses transesterifikasi. Jika massa katalis yang digunakan sedikit, maka ikatan rantai karbon yang terputus juga sedikit sehingga berat molekul metil ester masih cukup besar. Sebaliknya, massa katalis yang lebih banyak akan memutus ikatan rantai karbon yang lebih banyak sehingga berat molekul metil ester menjadi lebih ringan.



Gambar 2. Grafik pengaruh kadar FFA dan massa katalis terhadap densitas produk UCOME.

Viskositas

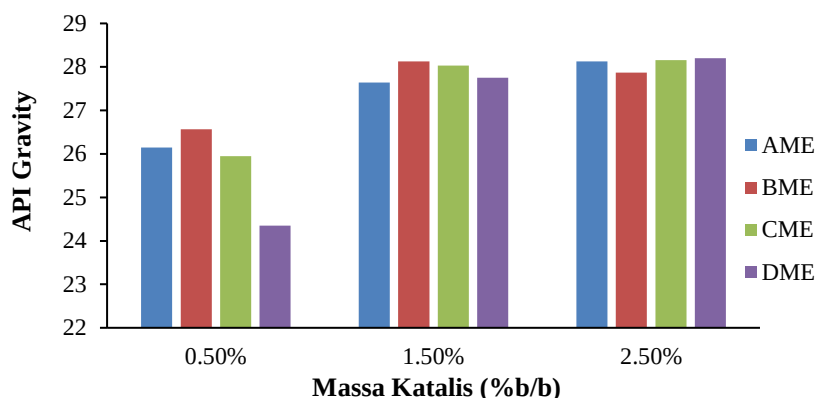
Viskositas metil ester akan mempengaruhi kualitas metil ester sebagai bahan bakar. Hasil pengujian viskositas menunjukkan *range* antara 2,4 – 4,2 centistokes (cSt) yang dapat dilihat pada [Gambar 3](#). Standar viskositas menurut SNI, yang mengacu pada *Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids* (ASTM D445) oleh American Society for Testing and Materials (ASTM), berada pada rentang nilai 2,3 – 6,0 cSt. Berdasarkan hal tersebut, viskositas seluruh produk telah memenuhi SNI untuk kategori metil ester, kecuali produk DME₁. Viskositas produk DME₁ yang diperoleh adalah sebesar 13,62 cSt. Nilai tersebut berada jauh di bawah rentang standar viskositas SNI. Hal ini disebabkan oleh reaksi transesterifikasi yang tidak berjalan sempurna karena masih tingginya kadar FFA, sehingga menyebabkan terjadinya reaksi penyabunan yang mengakibatkan gliserol sukar untuk dipisahkan dari produk metil ester ([Samosir *et al.*, 2021](#)).



Gambar 3. Grafik pengaruh kadar FFA dan massa katalis terhadap viskositas produk UCOME.

American Petroleum Institute Gravity (API Gravity)

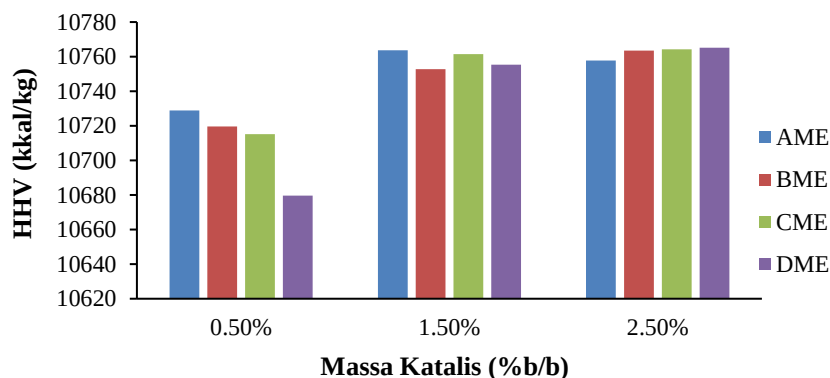
Data keseluruhan nilai API Gravity dapat dilihat pada [Gambar 4](#). Nilai API Gravity yang diperoleh berada pada rentang 25 – 29. Nilai API Gravity berbanding terbalik dengan nilai *Specific Gravity*. Semakin kecil nilai *Specific Gravity*, maka semakin besar nilai API Gravity. Nilai API Gravity akan menentukan *cetane number* dari suatu bahan bakar. Menurut [R. O. Dunn \(2011\)](#), nilai minimal API Gravity yang direkomendasikan oleh insinyur teknik untuk mempertahankan produksi daya yang berkualitas dan keekonomisan bahan bakar adalah di atas 30 derajat. API Gravity juga digunakan sebagai dasar pengklasifikasian fraksi bahan bakar. Berdasarkan klasifikasi oleh World Petroleum Conference pada [Pavlov *et al.* \(2021\)](#), kategori bahan bakar dibagi menjadi empat, yaitu kategori produk fraksi ringan, produk fraksi sedang, produk fraksi berat, dan produk fraksi sangat berat. Produk fraksi ringan merupakan produk dengan nilai API Gravity $\geq 31,1$. Produk fraksi sedang merupakan produk dengan nilai API Gravity pada rentang 22,3 – 31,1. Produk fraksi berat dan sangat berat merupakan produk dengan nilai API Gravity masing-masing pada rentang 10 – 22,3 dan <10 . Oleh karena itu, UCOME yang diperoleh tergolong ke dalam produk fraksi sedang.



Gambar 4. Grafik pengaruh kadar FFA dan massa katalis terhadap *API gravity* produk UCOME.

Higher Heating Value

Hasil perhitungan HHV dapat dilihat pada [Gambar 5](#). HHV atau nilai kalor pembakaran merupakan angka yang menyatakan jumlah panas yang diperoleh dari proses pembakaran bahan bakar dengan udara atau oksigen. Nilai kalor kotor bahan bakar minyak diesel berada disekitar 10.800 kkal/kg ([Sumartono et al., 2018](#)). Berdasarkan nilai tersebut dapat disimpulkan bahwa seluruh sampel UCOME memenuhi nilai tersebut karena berada dalam jangkauan 10.600 – 10.770 kkal/kg.



Gambar 5. Grafik pengaruh kadar FFA dan massa katalis terhadap HHV produk UCOME.

Pengaruh Kadar FFA dan Massa Katalis terhadap Kandungan Komponen Kimia dalam UCOME

Analisis GC-MS dilakukan untuk mengetahui serta mengidentifikasi senyawa yang terkandung di dalam produk metil ester. Metode ini juga memberikan informasi mengenai jenis turunan asam lemak yang terdapat di dalam sampel ([Mukminin et al., 2022](#)). Produk yang dianalisis dengan menggunakan metode GC-MS adalah produk AME₂ sebagai perwakilan hasil UCO dengan kadar FFA <5% dan sampel DME₂ sebagai perwakilan hasil UCO dengan kadar FFA >5% karena kedua sampel menunjukkan nilai *yield* serta karakteristik yang memenuhi standar metil ester. Hasil pada [Tabel 2](#) dan [Tabel 3](#) menunjukkan perkiraan senyawa yang terdapat pada hasil metil ester AME₂ dan DME₂.

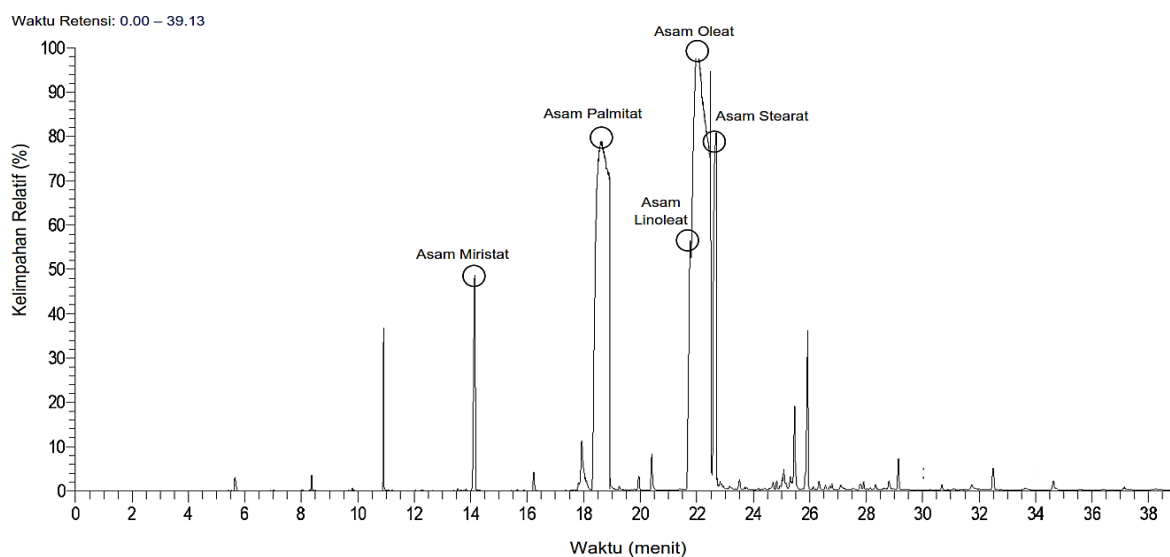
Tabel 2. Komponen dengan puncak tertinggi pada produk AME₂.

Puncak	Waktu Retensi (RT)	Area (%)	Komponen Kimia	Rumus Molekul
1	22,03	45,18	<i>Trans-13-Octadecenoic acid methyl ester</i> (Asam Oleat Metil Ester)	C ₁₉ H ₃₆ O ₂
2	18,62	32,2	<i>Hexadecanoic acid, methyl ester</i> (Asam Palmitat Metil Ester)	C ₁₇ H ₃₄ O ₂
3	22,69	7,73	<i>Methyl Stearate</i> (Asam Stearat Metil Ester)	C ₁₉ H ₃₈ O ₂
4	21,77	3,68	<i>9,12-Octadecadienoic acid (Z,Z)-, methyl ester</i> (Asam Linoleat Metil Ester)	C ₁₉ H ₃₄ O ₂
5	14,15	2,81	<i>Methyl Tetradecanoate</i> (Metil Miristat)	C ₁₅ H ₃₀ O ₂

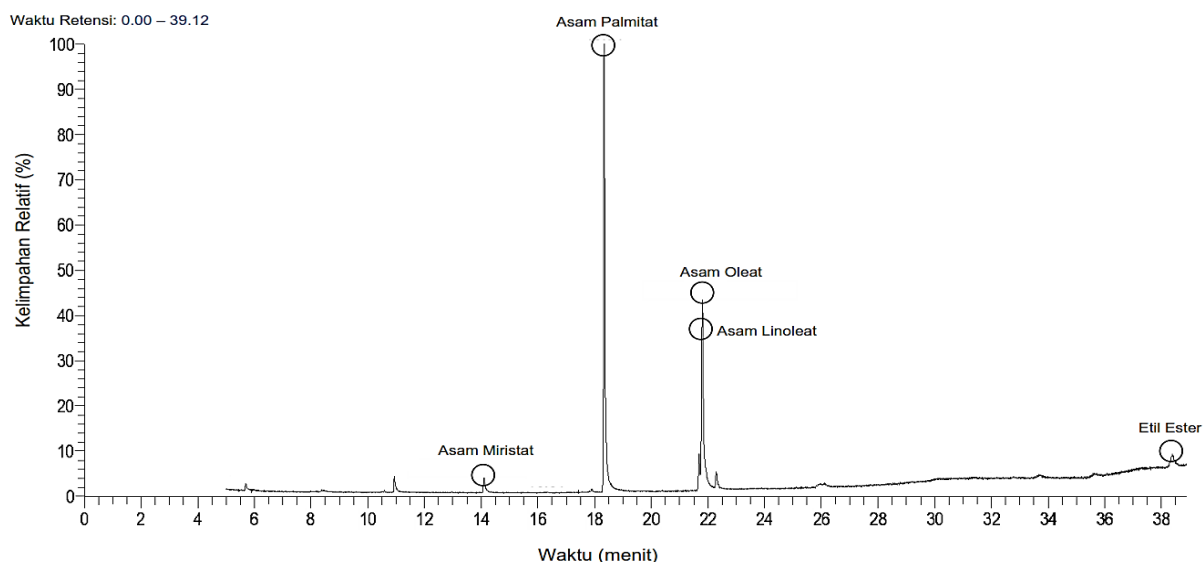
Tabel 3. Komponen dengan puncak tertinggi pada produk DME₂.

Puncak	Waktu Retensi (RT)	Area (%)	Komponen Kimia	Rumus Molekul
1	18,34	50,54	<i>Hexadecanoic acid, methyl ester</i> (Asam Palmitat Metil Ester)	C ₁₇ H ₃₄ O ₂
2	21,79	28,07	<i>Trans-13-Octadecenoic acid methyl ester</i> (Asam Oleat Metil Ester)	C ₁₉ H ₃₆ O ₂
3	21,68	3,89	<i>Methyl 9-cis, 11-trans-octadecadienoate</i> (Asam Linoleat Metil Ester)	C ₁₉ H ₃₄ O ₂
4	38,38	3,72	<i>Ethyl iso-allocholate</i> (<i>Cholic Acid Ethyl Ester</i>)	C ₂₆ H ₄₄ O ₅
5	14,10	2,55	<i>Methyl Tetradecanoate</i> (Metil Miristat Metil Ester)	C ₁₅ H ₃₀ O ₂

Produk AME₂ menunjukkan komponen yang terbentuk didominasi oleh metil ester secara keseluruhan, yang terdiri dari asam oleat, asam palmitat, asam stearat, dan asam linoleat. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa *yield* yang dihasilkan memang besar dan sesuai dengan perhitungan. Adapun puncak waktu retensi 10,92; 25,93; dan 29,14 pada [Gambar 6](#) menunjukkan senyawa asam dodekanoat, metil nonadekanoat, dan asam dokosanoat dengan persentase area <2%. Berdasarkan [Tabel 2](#) dan [Tabel 3](#), produk UCOME AME₂ menghasilkan *yield* sebesar 96,59% dan produk DME₂ sebesar 90,62%. Persentase *yield* yang diperoleh dari analisis GC-MS lebih besar daripada [Tabel 1](#). Hal ini dapat disebabkan pada saat proses pemisahan setelah transesterifikasi, metil ester yang dihasilkan dapat ikut terbuang saat pemisahan dengan gliserol sehingga angka yang dihasilkan melalui perhitungan seperti pada [Tabel 1](#) tidak seakurat hasil metode GC-MS.

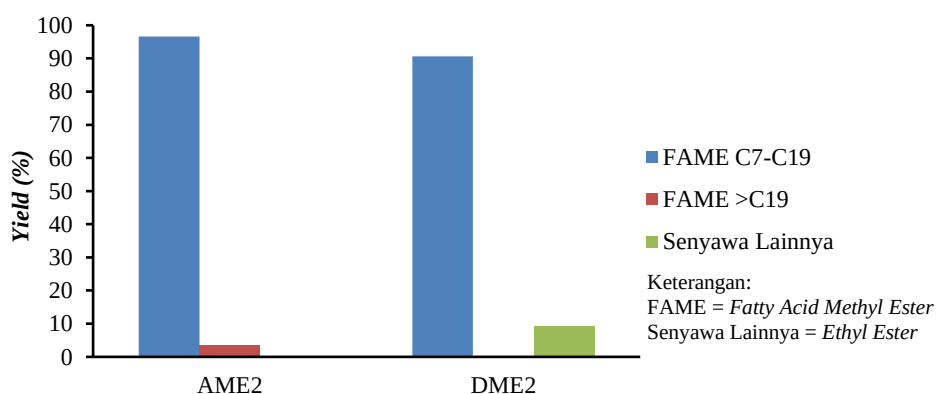
**Gambar 6.** Kromatogram produk AME₂ sebagai produk dengan kadar FFA <5% yang mewakili.

Komponen yang teridentifikasi pada produk UCOME DME₂ seperti pada [Gambar 7](#) menunjukkan hasil metil ester yang lebih sedikit dibandingkan dengan produk UCOME AME₂ pada [Gambar 6](#). Produk DME₂ menunjukkan terdapat kandungan turunan ester yang tidak diharapkan berupa etil ester sebagai salah satu komponen utama. Produk AME₂ memiliki lima komponen utama metil ester, yaitu asam oleat, asam palmitat, asam stearat, asam linoleat dan asam miristat. Kelima asam tersebut termasuk komponen utama dalam UCO.



Gambar 7. Kromatogram produk DME₂ sebagai produk dengan kadar FFA >5% yang mewakili.

Perbandingan antara *yield* AME₂ dan DME₂ dapat dilihat pada [Gambar 8](#). Berdasarkan tabel *yield* yang dihasilkan dari sampel DME₂ adalah sebesar 90,62% dimana nilai ini lebih kecil daripada sampel AME₂. Hal ini dapat disebabkan oleh masih terdapat senyawa pengotor serta kadar FFA yang tinggi pada sampel DME₂ sehingga *yield* yang dihasilkan tidak maksimum dan pengotor yang bereaksi menjadi metil ester sehingga terdapat senyawa yang tidak diinginkan.



Gambar 8. Komponen senyawa produk UCOME berdasarkan hasil GC-MS.

KESIMPULAN

Kadar FFA yang terkandung pada UCO mempengaruhi karakteristik produk yang dihasilkan setelah reaksi transesterifikasi, dimana UCO dengan kadar FFA terendah (1,493%) dan massa katalis 1,5% b/b UCO menghasilkan *yield* yang paling optimal, yaitu mencapai 93,6% (berdasarkan perhitungan manual) dan 97% (berdasarkan analisis GC-MS). Karakteristik UCOME yang dihasilkan dari UCO yang melalui *pre-treatment* memenuhi persyaratan SNI untuk kategori biodiesel.

KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan dalam artikel ini.

KONTRIBUSI PENULIS

NH, EI, dan AU: Konseptualisasi, Metodologi, Analisis Data, Penulisan Draf Manuskrip; Telaah dan Penyuntingan Manuskrip.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis berikan kepada Universitas Sriwijaya dan seluruh pihak terkait yang telah membantu serta memfasilitasi berjalannya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, I., Nurbayti, S., and Ulum, B., 2011. Esterifikasi Asam Lemak Bebas dari Minyak Goreng Bekas. *Jurnal Kimia VALENSI*, 2, 384–388. <https://doi.org/10.15408/jkv.v2i2.201>.
- Busyairi, M., Muttaqin, A.Z., Meicahyanti, I., and Saryadi, S., 2020. Potensi Minyak Jelantah Sebagai Biodiesel dan Pengaruh Katalis serta Waktu Reaksi Terhadap Kualitas Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Serambi Engineering*, 5, 933–940. <https://doi.org/10.32672/jse.v5i2.1920>.
- Harmiansyah, Efendi, R., Muslimah, S., Hikmawati, M., Apriani, S., Simbolon, S., and Setiawan, W., 2023. Analisis Pengaruh Jumlah Variasi Katalis MeOH pada Pembuatan Biodiesel Melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Elektro dan Mesin Terapan*, 9, 113–120. <https://doi.org/10.35143/elementer.v9i1.5927>.
- Haryani, N., Imanda, E.R.D., and Utami, A.A.A., 2024. The Effect of Used Cooking Oil (UCO) Pre-Treatment Using Bagasse on Free Fatty Acid (FFA) Content. *Jurnal Teknik Kimia*, 30, 130–139. <https://doi.org/https://doi.org/10.36706/jtk.v30i2.1674>.
- Khairul, A., Bahri, S., and Wisrayetti, W., 2018. Pengaruh Berat Katalis La/ZnO dan Waktu Reaksi terhadap Pembuatan Biodiesel dari *Crude Palm Oil*. *Jom FTEKNIK*, 5, 1-5.
- Mukminin, A., Megawati, E., Warsa, I.K., Yuniarti, Y., Umara, W.A., and Islamiati, D., 2022. Analisis Kandungan Biodiesel Hasil Reaksi Transesterifikasi Minyak Jelantah Berdasarkan Perbedaan Konsentrasi Katalis NaOH Menggunakan GC-MS. *Sang Pencerah: Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 8, 146–158. <https://doi.org/10.35326/pencerah.v8i1.1897>.
- Orchidantya, N.S., Mas'udah, and Santosa, S., 2023. Pengaruh Rasio Katalis Ca-O-NaOH dan Waktu Reaksi Transesterifikasi terhadap Kualitas Biodiesel dari Minyak Sawit. *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, 9, 330–337. <https://doi.org/10.33795/distilat.v9i3.3154>.
- Pavlov, V., Aguiar, V.C.M. de, Hole, L.R., and Pongrácz, E., 2021. A 30-Year Probability Map for Oil Spill Trajectories in the Barents Sea to Assess Potential Environmental and Socio-Economic Threats. *Resources*, 11, 1–19. <https://doi.org/10.3390/resources11010001>.
- Purnomo, V., Hidayatullah, A.S., Inam, A., Prastuti, O.P., Septiani, E.L., and Herwoto, R.P., 2020. Biodiesel dari Minyak Jarak Pagar dengan Transesterifikasi Metanol Subkritis. *Jurnal Teknik Kimia*, 14, 73–79. https://doi.org/10.33005/jurnal_tekkim.v14i2.2032.
- R. O. Dunn, 2011. Specific Gravity and API Gravity of Biodiesel and Ultra-Low-Sulfur Diesel (ULSD) Blends. *Transactions of the ASABE*, 54, 571–579. <https://doi.org/10.13031/2013.36461>.
- Samosir, B.G.I., Fradriyan, A., and Buchori, L., 2012. Pengaruh Katalis Asam (H₂SO₄) dan Suhu Reaksi Dalam Pembuatan Biodiesel dari Limbah Minyak Ikan. *Jurnal Teknologi Kimia dan Industri*, 1, 474-481.
- Sulistianingsih, and Wahyuningtyas, D., 2019. Optimasi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah dengan Katalisator Kalsium Oksida (CaO) dengan Proses Metanolisis (Variabel Suhu Reaksi). *Jurnal Inovasi Proses*, 4, 81–87.
- Sumartono, N.W., Wahyono, J., Latifah, S., Pratiwi, A.R., and Siswani, E.D., 2018. Sintesis dan Karakterisasi Metil Ester Minyak Biji Carica Dieng (*Carica candamarcensis*) Sebagai Bahan Bakar Biodiesel. *Jurnal Sains Dasar*, 7. <https://doi.org/10.21831/jsd.v7i1.22241>.
- Vignesh, P., Pradeep Kumar, A.R., Ganesh, N.S., Jayaseelan, V., and Sudhakar, K., 2021. Biodiesel and Green Diesel Generation: An Overview. *Oil & Gas Science and Technology*, 76, 1–16. <https://doi.org/10.2516/ogst/2020088>.