



INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research

Volume 4 Nomor 1 Tahun 2024 Page 12178-12189

E-ISSN 2807-4238 and P-ISSN 2807-4246

Website: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative>

Pemisahan Metil Ester Minyak Goreng Bekas Menjadi Biofuel

Ahmad Zulfakar^{1✉}, Andi Suryanto², Ummu Kalsum³

Teknik Kimia, Universitas Muslim Indonesia, Makassar

Email: ahmad.zulfikar@gmail.com^{1✉}

Abstrak

Minyak goreng bekas dapat menjadi bahan baku untuk bahan bakar alternatif karena berasal dari limbah minyak nabati sehingga dapat dimanfaatkan. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan: (1) Mempelajari suhu fraksinasi untuk mendapatkan biofuel dari pemanfaatan minyak goreng bekas. (2) Mempelajari komposisi biofuel dari pemanfaatan minyak goreng bekas pada proses distilasi vakum. (3) Mempelajari karakteristik biofuel saat proses pemisahan metil ester pada minyak goreng bekas. Minyak goreng bekas diesterifikasi terlebih dahulu menggunakan katalis dari metanol dan H₂SO₄ untuk mengurangi asam lemak bebas hingga dibawah 2% agar menghasilkan yield yang banyak. Setelah itu dilakukan transesterifikasi menggunakan katalis metanol dan NaOH sehingga memisahkan metil ester. Untuk memperoleh biofuel dilakukan distilasi vakum pada metil ester menggunakan tekanan 600mmHG selama 30 menit. Dari proses distilasi tersebut dapat diketahui bahwa yield meningkat saat suhu meningkat. Dari feed 500mL metil ester, volume total distilat sebanyak 220mL. Densitas pada produk distilat mengalami penurunan saat suhu meningkat meskipun hanya sedikit dengan rentang 885-874 kg/m³. Hasil viskositas juga mengalami penurunan dengan rentang 4,76-5,89 cst. Pengujian Gas Kromatografi (GC) untuk produk distilat dilakukan hanya pada produk distilat terbanyak dengan suhu 375°C. Komposisi biofuel pada dari hasil uji GC tersebut terdiri dari rantai karbon C₉-C₂₅ dengan luas area terdapat pada Methyl Stearat (C₁₉) dengan luas area 50,35% dan Methyl Hexadecenoic (C₁₇) dengan luas area 34,86%..

Kata Kunci: *Metil Ester, Biofuel, Distilasi Vakum*

Abstract

Used cooking oil can be raw material for alternative fuel because it comes from waste vegetable oil so it can be utilized. This research was carried out with the aim of (1) Studying the fractionation temperature to obtain biofuel from the use of used cooking oil. (2) Studying the composition of biofuel from the use of used cooking oil in the vacuum distillation process. (3) Study the characteristics of biofuel during the process of separating methyl esters from used cooking oil. Used cooking oil is esterified first using a catalyst from methanol and H₂SO₄ to reduce free fatty acids to below 2% to produce a high yield. After that, transesterification is carried out using methanol and NaOH catalysts to separate the methyl ester. To obtain biofuel, vacuum distillation is carried out on methyl ester using a pressure of 600 mmHG for 30 minutes. From the distillation process, it can be seen that the yield increases with increasing temperature. From a feed of 500 mL of methyl ester, the total volume of distillate is 220 mL. The density of the distillate product decreased when the temperature increased, although only slightly in the range of 885-874 kg/m³. The viscosity results also decreased with a range of 4.76-5.89 CST. Gas Chromatography (GC) testing for distillate products is carried out only on the largest distillate products at a temperature of 375°C. The composition of the biofuel from the GC test results consists of C₉-C₂₅ carbon chains with an area of Methyl Stearate (C₁₉) with an area of 50.35% and Methyl Hexadecenoic (C₁₇) with an area of 34.86%.

Keywords: *Methyl Ester, Biofuel, Vacuum Distillation*

PENDAHULUAN

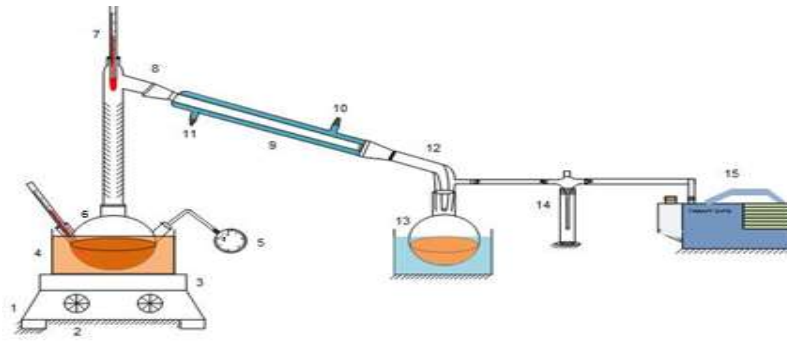
Penggunaan energi sebagai bahan bakar digunakan untuk aktivitas perekonomian global, seperti perbaikan standar kualitas hidup, pertumbuhan konsumsi, dan pemekaran penduduk. Hingga saat ini Indonesia masih menggunakan energi fosil dalam bentuk minyak bumi, gas bumi dan batubara. Penggunaan energi fosil secara besar-besaran mendorong pertumbuhan ekonomi, namun seringkali dibarengi dengan kerusakan ekologis yang nantinya akan membawa potensi bencana alam ataupun manusia (Kementerian ESDM, 2020). Pada tahun 2018, permintaan energi terbesar pada sektor transportasi dengan persentase 96% pada BBM dan sisanya dipasok oleh biodiesel dan gas bumi. Untuk mengurangi penggunaan BBM pada sektor transportasi yang sebagian besar diperoleh melalui impor, pemerintah telah mengeluarkan kebijakan substitusi BBM (Bahan Bakar Minyak) dengan BBN (Bahan Bakar Nabati) melalui penerapan mandatori BBN, namun realisasinya baru dapat diterapkan untuk B-20 yaitu pencampuran biodiesel sebanyak 20% dalam solar (Suharyati, et al., 2019). Biofuel merupakan bahan bakar cair atau gas untuk transportasi yang dihasilkan dari biomassa sebagai energi alternatif pengganti energi fosil. Ambaye et al. (2021) menjelaskan bahwa residu biomassa dan produk limbah dari pertanian, limbah yang dihasilkan agroindustri, produk samping hutan, dan limbah padat perkotaan merupakan bahan baku yang potensial dan berkelanjutan

untuk produksi biofuel. Biodiesel dan biokerosin merupakan dua jenis biofuel yang sebagian besar berasal dari minyak nabati, biji-bijian dan lignoselulosa. Minyak goreng bekas merupakan bahan bakar alternatif yang dapat digunakan sebagai pengganti BBM. Minyak goreng bekas adalah minyak goreng yang dipanaskan atau digunakan berulang kali dan mengalami perubahan baik secara fisik atau kimia yakni dengan adanya perubahan warna dari bening menjadi berwarna gelap dan berbau tengik, serta secara kimiawi mengalami perubahan reaksi hidrolis, oksidasi termal dan polimerasi termal (Simatupang, 2019). Minyak goreng bekas bisa diolah kembali melewati sistem filterisasi hingga warnanya kembali jernih serta seolah layaknya minyak goreng baru, tetapi kandungannya tetap mengalami kerusakan hingga tidak baik untuk tubuh (Erviana, 2019). Kajian teknoekonomi mengungkapkan bahwa biofuel dari minyak goreng bekas layak secara finansial dengan manfaat mitigasi emisi karbon, asalkan kesenjangan harga antara bahan bakar yang diproduksi dan bahan bakar komersial, pasokan minyak goreng bekas yang cukup, dan variasi sifat minyak dapat diatasi (Goh et al., 2020). Pada penelitian Suryanto et al. (2020) dan Susilo et al. (2017) untuk mengolah minyak goreng bekas menjadi biofuel maka perlu dilakukan proses esterifikasi terlebih dahulu sebelum proses transesterifikasi karena kandungan asam lemak bebas pada minyak goreng bekas akan menghasilkan penyabunan yang akan sulit menghasilkan biofuel. Dan pada penelitian Pratiwi et al., (2016) untuk menghasilkan biokerosin melalui distilasi vakum dengan bahan baku minyak kelapa. Dari penelitian-penelitian tersebut, peneliti akan melakukan penelitian menggunakan minyak goreng bekas sebagai bahan baku utama dengan melakukan pemisahan pada metil ester menggunakan distilasi untuk mendapatkan biofuel dengan spesifikasi terbaik.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian eksperimental di laboratorium yang menggunakan minyak goreng bekas sebagai bahan baku utama penelitian. Minyak goreng bekas akan dikonversikan menjadi metil ester menggunakan katalis Sodium Hidroksida (NaOH) yang selanjutnya dilakukan pemisahan pada metil ester tersebut dengan menggunakan distilasi vakum untuk mendapatkan biofuel kemudian dianalisa secara fisika dan kimia.

Alat Penelitian



Gambar 3.1 Rancangan Peralatan Penelitian

Keterangan:

1. Alat pemanas
2. Kontrol suhu
3. Stirrer
4. Oil bath
5. Barometer
6. Labu distilasi
7. Termometer
8. Still head
9. Kondensor
10. Air pendingin masuk
11. Air pendingin keluar
12. Still receiver
13. Tangki destilat
14. Water trap
15. Pompa vakum

Bahan Penelitian

Metil Ester yang telah dipisahkan dari minyak goreng bekas

Variabel Penelitian

- Metil ester yang diperoleh dari katalis NaOH melalui proses esterifikasi menggunakan katalis H₂SO₄ dan transesterifikasi menggunakan methanol dan katalis NaOH.
- Tekanan distilasi: 600mmHG.

Tahapan Penelitian

Sebelum metil ester dipisahkan dari minyak goreng bekas, minyak goreng bekas yang telah disaring diesterifikasi terlebih dahulu menggunakan katalis dari metanol dan H₂SO₄ untuk menurunkan kadar asam lemak bebas. Selanjutnya dilakukan tahap transesterifikasi pada sample minyak goreng bekas yang telah selesai dilakukan proses esterifikasi menggunakan katalis dari metanol dan NaOH. Setelah transesterifikasi selesai maka terbentuk 2 lapisan, yaitu lapisan atas berupa metil ester dan lapisan bawah berupa gliserol. Selanjutnya sample dicuci menggunakan aquades sebanyak 80ml dengan suhu 40°C sebanyak 3 kali dengan lama pendiaman selama 1 jam untuk memisahkan metil ester dan gliserol. Setelah dicuci, sample dipanaskan pada oven dengan suhu 110°C selama 1 jam. Setelah larutan metil ester terpisah dilakukan distilasi vakum untuk mendapatkan biofuel. Larutan metil ester dimasukkan ke dalam labu leher 3 bersama dengan peralatan distilasi vakum yang telah terpasang. Proses distilasi vakum menggunakan tekanan 600mmHG dengan suhu fraksinasi dalam rentang waktu 30 menit. Metil ester yang didapat dari suhu distilat dicatat sebagai suhu dengan kondisi biofuel saat menguap.

Tahapan selanjutnya melakukan analisa terhadap produk yang diperoleh pada proses distilasi vakum yang ada dalam labu distilasi lalu melakukan perbandingan karakteristik pada produk tersebut dengan minyak tanah yang ada di pasaran. Perbandingan karaktersistik tersebut untuk mengetahui apakah biofuel yang telah dihasilkan sudah dapat menggantikan dengan minyak tanah ada dipasaran. Selain itu, juga untuk mengetahui komposisi yang ada pada produk.

Analisa Data

Produk yang diperoleh dari proses pemisahan metil ester dari minyak goreng bekas dilakukan analisa dengan metode Gas Chromatography untuk mengetahui komposisi pada komponen dari metil ester dan biofuel baik secara kualitatif maupun kuantitatif. Parameter yang dihitung adalah yield metil ester dan konversi reaksi minyak goreng bekas dalam %. Parameter yang dihitung adalah yield biofuel minyak goreng bekas dalam % adalah:

$$\text{Yield metil ester} = (\text{Berat produk} \times \% \text{ Kadar metil ester}) / (\text{Berat minyak}) \times 100 \dots\dots (3.1)$$

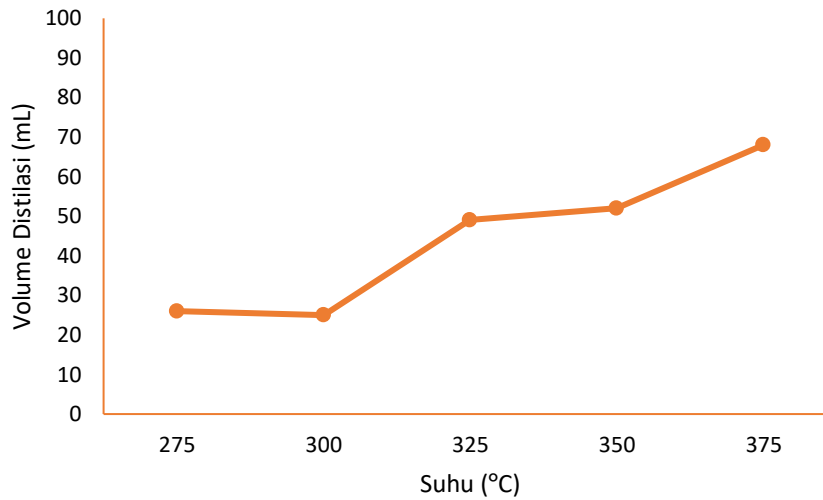
Untuk mengetahui mutu dari produk yang dihasilkan maka dilakukan beberapa proses analisa, yaitu sebagai berikut: 1). Analisa densitas, 2). Analisa viskositas, 3) Analisa titik nyala.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini telah dilakukan distilasi pada minyak goreng bekas setelah proses transesterifikasi dan proses esterifikasi. Proses distilasi yang dilakukan menggunakan metode distilasi vakum pada metil ester. Untuk mengetahui kualitas dan kuantitas produk dari proses distilasi dilakukan beberapa analisa, yaitu densitas, viskositas, titik nyala, dan Gas Chromatography.

Hasil Distilasi Metil Ester

Pada proses distilasi, metil ester dari minyak goreng bekas dipisahkan untuk mendapatkan biofuel. Proses pemisahan dilakukan dengan tekanan 600mmHG selama 30 menit. Suhu distilasi ditingkatkan secara bertahap hingga pada sampai 375°C karena pada suhu tersebut metil ester sudah terdistilasi semua hingga tidak tersisa. Pada gambar 4.1 berikut merupakan grafik dari hasil distilat pada metil ester.

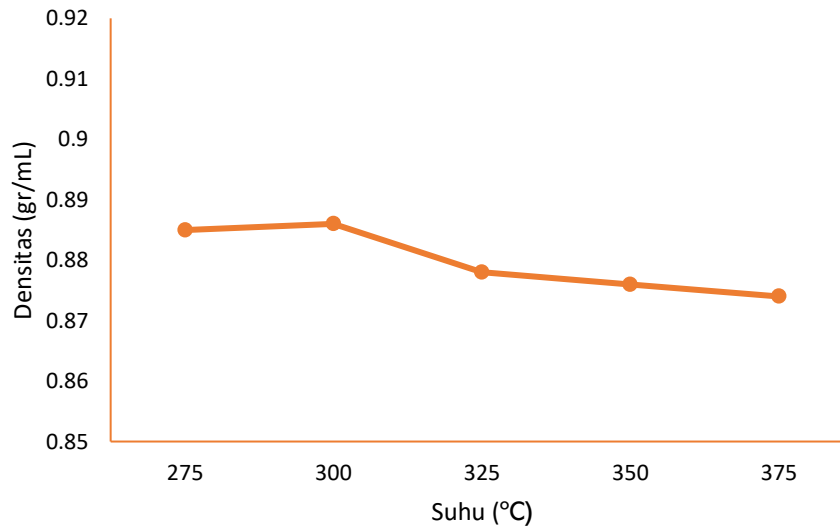


Gambar 4.1 Grafik Hasil Distilasi Metil Ester

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa secara keseluruhan suhu operasi pada proses distilat dengan tekanan 600mmHG akan berpengaruh pada peningkatan hasil produk distilat biofuel. Kondisi ini seperti proses distilasi pemisahan minyak bumi yang akan memberikan hasil distilat yang banyak pada kondisi suhu yang tinggi (Pratiwi et al., 2016). Dari feed 500mL metil ester, volume total distilat yang dihasilkan sebanyak 220mL. Proses distilasi dimulai pada suhu 275°C yang langsung memberikan hasil sebanyak 26mL. Namun saat suhunya ditingkatkan menjadi 300°C terjadi penurunan hasil distilat sebanyak 1mL sehingga hasil yang diperoleh sebanyak 25mL yang disebabkan air terlalu dingin pada proses kondensasi dan membuat distilat tidak mengalir dengan baik. Dengan terjadinya kondisi seperti itu maka suhunya ditingkatkan lagi menjadi 325°C dengan hasil distilat yang meningkat. Proses peningkatan suhu tersebut tetap berlanjut hingga pada variable maksimal suhu yang telah ditetapkan, yaitu pada 350°C hingga 375°C. Suhu hanya sampai 375°C karena pada suhu tersebut metil ester sudah terdistilasi semua. Dari proses distilasi yang telah dilakukan, produk menguap dan terkondensasi untuk menjadi produk distilat dan bagian dari metil ester yang tidak menguap menjadi biodiesel karena titik didih yang lebih tinggi.

Hasil Uji Densitas

Pada gambar 4.2 berikut merupakan grafik densitas dari produk distilat untuk masing-masing variasi suhu.

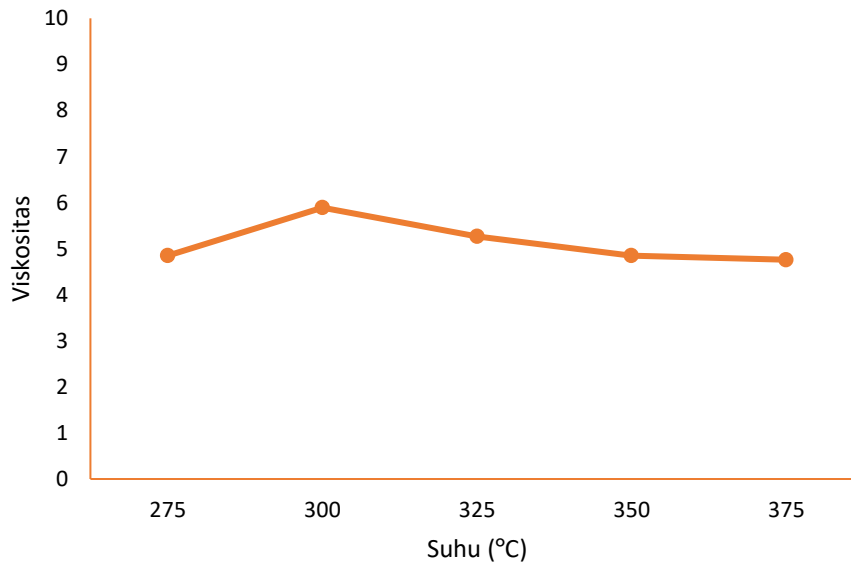


Gambar 4.2 Grafik Hasil Uji Densitas

Densitas merupakan kemampuan sebuah zat yang diukur berdasarkan perbandingan massa dan volume dimana densitas suatu zat akan semakin besar jika molekul semakin besar (Fiyansah et al., 2021). Berdasarkan grafik gambar 4.2 tersebut terjadi penurunan densitas pada produk distilat namun hanya sedikit. Kualitas biokerosin dengan standar ASTM D1655 dari parameter densitas yaitu pada rentang 775-840 kg/m³. Dari hasil penelitian jika dikonversi ke kg/m³ yaitu pada rentang 885-874 kg/m³ dan hasil ini menyerupai biokerosin dengan standar ASTM D1655.

Hasil Uji Viskositas

Viskositas merupakan kondisi karakteristik kekentalan pada fluida yang dapat menyebabkan kecepatan aliran pada fluida akan lebih lambat dan mengakibatkan proses derajat atomisasi pada ruang bakar akan terlamat sehingga proses transesterifikasi dilakukan untuk menurunkan nilai viskositas pada minyak goreng bekas yang digunakan. Pada tabel 4.3 dan gambar 4.3 berikut merupakan data dan grafik viskositas dari produk distilat untuk masing-masing variasi suhu.



Gambar 4.3 Grafik Hasil Uji Viskositas

Dari gambar 4.3 tersebut terjadi kenaikan pada kondisi suhu operasi distilasi 300°C, tapi pada kondisi operasi selanjutnya dengan suhu 325°C-375°C mengalami penurunan. Berdasarkan standar ASTM D445, densitas biokerosin pada rentang 2,44-4,42 Cst, sedangkan dari hasil penelitian, viskositas yang diperoleh pada rentang 4,76-5,89.

Hasil Uji Titik Nyala

Pengujian ini untuk membandingkan titik nyala dan durasi nyala pada minyak tanah dan produk distilat dengan hasil terbanyak yaitu hanya pada suhu 375°C. Masing-masing kuantitas sample antara minyak tanah dan produk distilat sebanyak 20mL menggunakan botol kaca dengan sumbu yang telah dipasang pada botol kaca. Hasil pengujian berupa titik nyala dan durasi nyala antara minyak tanah dan produk distilat ditunjukkan pada gambar 4.4.

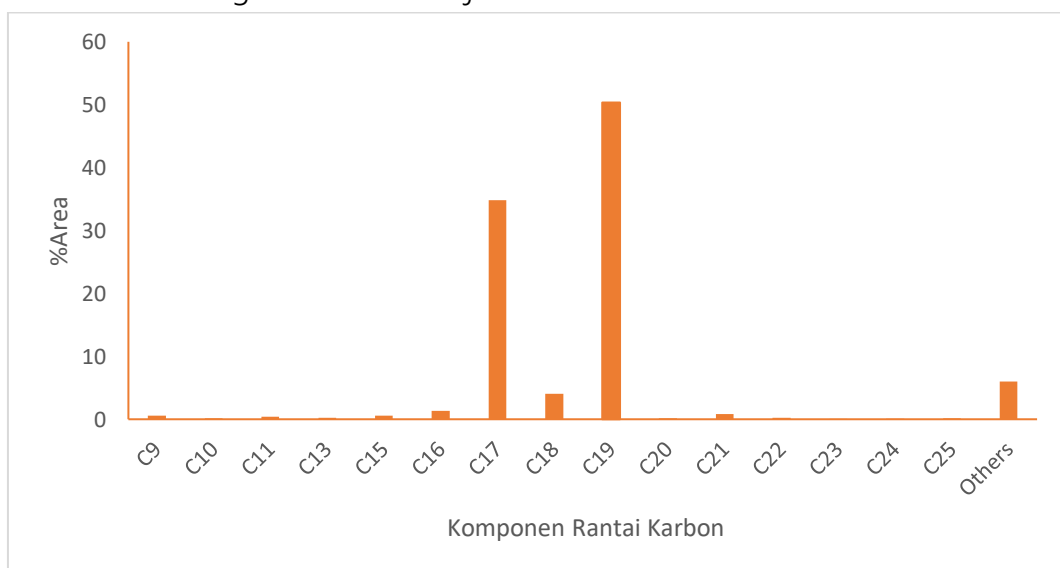


Gambar 4.4 Hasil Uji Titik Nyala
(Kiri: Minyak Tanah, Kanan: Produk Distilat)

Berdasarkan gambar 4.4, minyak tanah memiliki titik nyala yang tinggi dibandingkan produk distilat. Begitupula dengan durasi nyala, minyak tanah memiliki durasi nyala yang lebih lama dibandingkan produk distilat. Meskipun demikian, asap hitam dari produk distilat hampir tidak ada sedangkan pada minyak tanah terdapat asap hitam sejak dinyalakan hingga habis minyak dalam botol sample.

Hasil Uji Gas Chromatography (GC)

Identifikasi senyama pada produk distilat menggunakan instrumen Gas Chromatography (GC). Instrumen GC digunakan untuk mengidentifikasi struktur senyawa dalam sebuah sampel melalui ion molekul positif dan pragmennya dan mengukur konsentrasinya. Pengujian GC hanya menggunakan 1 sample yaitu sample pada kondisi operasi distilasi dengan suhu 375°C yang merupakan produk distilat terbanyak yang dihasilkan. Gambar 4.5 grafik dari hasil uji GC.



Gambar 4.5 Grafik Hasil Uji GC

Hasil pengujian GC untuk tekanan 600mmHG pada produk distilat dengan suhu 375°C terdapat komponen rantai karbon atom yang panjang. Komponen rantai karbon tersebut pada C9-C25. Area dengan persentase terbesar terdapat pada Methyl Stearat (C19) dengan luas area sebesar 50,35% dan Methyl Hexadecenoic (C17) dengan luas area sebesar 34,86%.

SIMPULAN

Dari hasil penelitian dan pembahasan maka dapat disimpulkan sebagai berikut: 1). Yield metil ester yang dipisahkan dari minyak goreng bekas meningkat saat suhu operasi distilasi vakum meningkat. 2). Komposisi biofuel dari pemanfaatan minyak goreng bekas pada proses distilasi vakum berdasarkan hasil uji GC pada produk distilat dengan suhu

375°C yaitu terdiri dari C9-C25 dengan %area terbesar pada C19 sebanyak 50,35%. 3). Karakteristik biofuel saat proses pemisahan metil ester pada minyak goreng bekas ditinjau dari densitas dan viskositas mengalami penurunan saat suhu operasi distilasi vakum meningkat

DAFTAR PUSTAKA

- Alalwan, H. A., Alminshid, A. H., & Aljaafari, H. A. (2019). Promising evolution of biofuel generations. Subject review. *Renewable Energy Focus*, 28, 127-139.
- Alishah Aratboni, H., Rafiei, N., Garcia-Granados, R., Alemzadeh, A., & Morones-Ramírez, J. R. (2019). Biomass and lipid induction strategies in microalgae for biofuel production and other applications. *Microbial Cell Factories*, 18, 1-17.
- Alsultan, A. G., Asikin-Mijan, N., Ibrahim, Z., Yunus, R., Razali, S. Z., Mansir, N., ... & Taufiq-Yap, Y. H. (2021). A short review on catalyst, feedstock, modernised process, current state and challenges on biodiesel production. *Catalysts*, 11(11), 1261.
- Ambaye, T. G., Vaccari, M., Bonilla-Petriciolet, A., Prasad, S., van Hullebusch, E. D., & Rtimi, S. (2021). Emerging technologies for biofuel production: A critical review on recent progress, challenges and perspectives. *Journal of Environmental Management*, 290, 112627.
- Aratboni, H. A., Rafiei, N., Garcia-Granados, R., Alemzadeh, A., & Morones-Ramírez, J. R. (2020). Biomass and lipid induction strategies in microalgae for biofuel production and other applications.
- Arpia, A. A., Chen, W. H., Lam, S. S., Rousset, P., & De Luna, M. D. G. (2021). Sustainable biofuel and bioenergy production from biomass waste residues using microwave-assisted heating: A comprehensive review. *Chemical Engineering Journal*, 403, 126233.
- Awogbemi, O., Von Kallon, D. V., Aigbodion, V. S., & Panda, S. (2021). Advances in biotechnological applications of waste cooking oil. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100158.
- Banchero, M., & Gozzelino, G. (2018). A simple pseudo-homogeneous reversible kinetic model for the esterification of different fatty acids with methanol in the presence of Amberlyst-15. *Energies*, 11(7), 1843.
- Buchspies, B., & Kaltschmitt, M. (2018). Sustainability aspects of biokerosene. *Biokerosene: Status and Prospects*, 325-373.
- Chen, M., Atiqul Haq, S. M., Ahmed, K. J., Hussain, A. B., & Ahmed, M. N. Q. (2021). The link between climate change, food security and fertility: The case of Bangladesh. *PLoS*

One, 16(10), e0258196.

- De Feo, G., Ferrara, C., Giordano, L., & Osseo, L. S. (2023). Assessment of Three Recycling Pathways for Waste Cooking Oil as Feedstock in the Production of Biodiesel, Biolubricant, and Biosurfactant: A Multi-Criteria Decision Analysis Approach.
- Ekaab, N. S., Hamza, N. H., & Chaichan, M. T. (2019). Performance and emitted pollutants assessment of diesel engine fuelled with biokerosene. *Case Studies in Thermal Engineering*, 13, 100381.
- Erviana, V. Y. (2019). Pelatihan pengolahan minyak jelantah menjadi sabun dan strategi pemasaran di desa Kemiri. *Jurnal Pemberdayaan: Publikasi Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(1), 17-22.
- Falone, M. F., Buffon, E., & Stradiotto, N. R. (2020). Voltammetric study of a sulfur contaminant of aviation biokerosene. *Journal of Solid State Electrochemistry*, 24, 1743-1750.
- Fiyansah, T. O., Fadarina, F., Junaidi, R., & Zamhari, M. (2021). Pembuatan Metil Ester dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO/Abu Terbang Batubara. *Jurnal Pendidikan dan Teknologi Indonesia*, 1(11), 453-459.
- Gargazi, G., Hendrawani, H., & Hulyadi, H. (2022). Identifikasi Karakter Biodiesel Minyak Jelantah Menggunakan Instrumen Gas Cromatografi Mass Spectroscopy (GC-MS). *Empiricism Journal*, 3(2), 333-340.
- Goh, B. H. H., Chong, C. T., Ge, Y., Ong, H. C., Ng, J. H., Tian, B., ... & Józsa, V. (2020). Progress in utilisation of waste cooking oil for sustainable biodiesel and biojet fuel production. *Energy Conversion and Management*, 223, 113296.
- Hoang, A. T. (2021). Combustion behavior, performance and emission characteristics of diesel engine fuelled with biodiesel containing cerium oxide nanoparticles: A review. *Fuel Processing Technology*, 218, 106840.
- Hossain, A. K. (2020). Combustion Characteristics of Waste Cooking Oil–Butanol/Diesel/Gasoline Blends for Cleaner Emission. *Clean Technologies*, 2(4), 447-461.
- Hossain, N., Mahlia, T. M. I., & Saidur, R. (2019). Latest development in microalgae-biofuel production with nano-additives. *Biotechnology for biofuels*, 12, 1-16.
- Istiningrum, R. B., Priyadi, E. A., LA, S., & Nafisah, D. (2017). Pemanfaatan Abu Sekam Padi Untuk Pemurnian Bahan Baku dan Produk Biodiesel dari Minyak Jelantah. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 6(1).
- Leal, S. K., Cruz, Y. R., Rossa, V., Díaz, G. C., Padrón, Y. R., Aranda, D. A., & Carlíz, R. G. (2022). Determination of the Place of Implementation of a Biorefinery Based on

- Logistics Parameters. *Journal of Power and Energy Engineering*, 10(5), 22-38.
- Ong, H. C., Chen, W. H., Singh, Y., Gan, Y. Y., Chen, C. Y., & Show, P. L. (2020). A state-of-the-art review on thermochemical conversion of biomass for biofuel production: A TG-FTIR approach. *Energy Conversion and Management*, 209, 112634.
- Solangi, F. A., Memon, L. A., Samo, S. R., Luhur, M. R., Bhutto, A. A., & Ansari, A. M. (2022). Investigation of Performance and Emission Characteristics of CI Engine Using Diesel and Waste Cooking Oil Blends. *Energies*, 15(19), 7211.
- Suryanto, A. (2020). Production of Methyl ester from Coconut Oil using Heterogeneous K/Al₂O₃ under Microwave Irradiation. *Journal of Chemical Process Engineering*, 5(2), 23-28.
- Chandra Kishore, S., Perumal, S., Atchudan, R., Sundramoorthy, A. K., Alagan, M., Sangaraju, S., & Lee, Y. R. (2022). A Review of Biomass-Derived Heterogeneous Catalysts for Biodiesel Production. *Catalysts*, 12(12), 1501.