

Pengaruh Perbedaan Jumlah Katalis Terhadap Angka Yield Pada Proses Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Sisa Menggunakan Pemanas *Double Jacket*

Suherman^{1,2*}, Ilmi Abdullah², Muhammad Sabri², Arridina Susan Silitonga³, Bakti Suroso¹

¹ Prodi Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara

Jl Kapten Muktar Basri No.3, Medan, Indonesia

² Departmen Teknik Mesin Universitas Sumatera Utara

Jl. Almamater Kampus USU, Medan, Indonesia

³ Department Teknik Mesin Politeknik Negeri Medan

Jl. Almamater No.1, Medan, Indonesia

*E-mail: Suherman@umsu.ac.id

Diterima: 11-12-2021; Direvisi: 18-04-2021; Dipublikasi: 30-04-2022

Abstrak

Biodiesel adalah *biodegradable* dan tidak beracun, dan memiliki kandungan karbon rendah, pelumasan tinggi dan titik abu lebih tinggi dibandingkan diesel. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan data sifat fisiokimia dari biodiesel dari minyak goreng sisa (*waste cooking oil/WCO*) yang dihasilkan dengan perbedaan jumlah katalis pada proses transesterifikasi. Metode Penelitian ini dengan melakukan proses dua langkah: (1) esterifikasi dengan katalis asam (H_2SO_4) dan (2) transesterifikasi dengan katalis alkali (KOH). Minyak sisa penggorengan dilakukan proses degumming dengan menambahkan H_3PO_4 sebesar 2%. Selanjutnya dilakukan proses esterifikasi dengan menambahkan H_2SO_4 sebanyak 2% (v/v) pada putaran 800 rpm selama 90 menit. Proses transesterifikasi menggunakan katalis basa (KOH) divariasikan 0,7-1,5% pada temperatur 60 °C dengan putaran 800 rpm dan waktu 90 menit. Pada proses ester/transesterifikasi dilakukan dengan perbandingan methanol : minyak 1:2 (v/v). Biofuel selanjutnya diuji angka setana, titik nyala, densitas, viskositas, nilai kalor, dan lain-lain. Hasil penelitian menunjukkan pemberian jumlah katalis basah (KOH) pada proses transesterifikasi memberikan perbedaan angka yield minyak WCO. Nilai optimum diperoleh pada jumlah katalis 1 % KOH yaitu sebesar 85%.

Kata kunci: katalis KOH; *waste cooking oil*

Abstract

Biodiesel is biodegradable and non-toxic and has a low carbon content, high lubricity, and higher ash point than diesel. The purpose of this study was to obtain data on the physicochemical properties of biodiesel from waste cooking oil (WCO) produced with different amounts of catalyst in the transesterification process. Methods This research carried out a two-step process: (1) esterification with an acid catalyst (H_2SO_4) and (2) transesterification with an alkali catalyst (KOH). The remaining frying oil is degummed by adding 2% H_3PO_4 . Furthermore, the esterification process was carried out by adding 2% (v/v) H_2SO_4 at 800 rpm for 90 minutes. The transesterification process using an alkaline catalyst (KOH) was varied from 0.7-1.5% at a temperature of 60 °C with a rotation of 800 rpm and a time of 90 minutes. In the ester/transesterification process, the ratio of methanol: oil is 1:2 (v/v). The biofuels are then tested for cetane number, flash point, density, viscosity, calorific value, and others. The results showed that the amount of wet catalyst (KOH) in the transesterification process gave a difference in the yield of WCO oil. The optimum value was obtained at the amount of 1% KOH catalyst, which was 85%.

Keywords: *catalyst KOH; waste cooking oil*

1. Pendahuluan

Menipisnya bahan bakar fosil merupakan salah satu masalah yang menimbulkan ancaman besar bagi generasi mendatang karena kebutuhan energi yang semakin meningkat dari tahun ke tahun dan terbatasnya ketersediaan cadangan bahan bakar fosil [1]. Penurunan secara cepat cadangan bahan bakar fosil, kenaikan harga minyak bumi, serta kekhawatiran peningkatan jumlah emisi gas rumah kaca di atmosfer menyebabkan komunitas ilmiah global untuk mencari sumber energi alternatif terbarukan dan ramah lingkungan [2]. Ada beberapa energi yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi seperti energi angin [3] dan energi surya [4] selain itu pemanfaatan minyak nabati bisa menjadi

sumber energi baru yaitu bisa dikonversi menjadi biodiesel. Biodiesel merupakan bahan bakar alternatif yang ramah lingkungan dibandingkan dengan diesel. Biodiesel bersifat biodegradable dan tidak beracun, dan memiliki kandungan karbon rendah, pelumasan tinggi, dan titik nyala lebih tinggi dibandingkan solar [5]. Biodiesel memiliki Viskositas, titik nyala, dan bilangan setana biodiesel mirip dengan minyak diesel berbasis minyak bumi, tidak beracun dan dapat terurai secara hayati serta mengurangi emisi seperti belerang oksida dan karbon dioksida, karena tidak mengandung belerang dan aromatic hidrokarbon [6].

Biodiesel adalah mono-alkil ester asam lemak rantai panjang yang biasanya berasal dari minyak nabati atau lemak hewani dan mereka tidak beracun dan memiliki karakteristik bahan bakar yang diinginkan yang sebanding dengan diesel minyak bumi [7]. Biodiesel dapat diproduksi dari berbagai sumber yang termasuk minyak nabati (misalnya kanola [8], kedelai [9], bunga matahari [10] dan minyak sawit [11], minyak yang tidak dapat dimakan (misal ceiba petandra [12], *Calophyllum inophyllum* [13], *Reutealis trisperma* [14], *Ceiba Petandra* [15] *Canarium odontophyllum kernel* [16], campuran *Sterculia foetida and rice bran oil* [17] dan *Schleichera oleosa L* [18], minyak goreng sisa (*waste cooking oil/ WCO*) [19] serta lemak hewani misal lemak ayam [20].

Dengan harga bahan baku yang lebih tinggi, biaya produksi biodiesel juga meningkat, sehingga membuat produksi biodiesel tidak ekonomis. Untuk mengatasi masalah ini, bahan alternatif yang lebih murah seperti minyak nabati bekas telah diteliti untuk dijadikan biodiesel [21]. Metode yang paling umum digunakan untuk memproduksi biodiesel adalah dengan proses transesterifikasi minyak atau lemak dengan alkohol, dengan gliserin sebagai produk sampingan. Katalis digunakan untuk mendapatkan laju reaksi, dan katalis dapat bersifat heterogen atau homogen [22].

Beberapa peneliti telah melakukan penelitian dengan berbagai proses pemanasan dalam memproduksi biodiesel dari minyak sisa goreng seperti teknik konvensional [23], ultrasonic [24], radiasi inframerah [25], microwave [26]. Biodiesel diproduksi secara baik dengan memanfaatkan berbagai jenis katalis homogen seperti KOH, H₂SO₄, dan NaOH [27]. Penggunaan jenis dan jumlah katalis sangat mempengaruhi jumlah rendemen (*yield*) biodiesel yang dihasilkan. [28] menyebutkan penerapan NaOH (0,75%) pada proses produksi biodiesel WCO menghasilkan rendemen sebesar 97 %. Penggunaan jumlah katalis yang lebih rendah yaitu sebesar 0,7% menghasilkan rendemen sebesar 95% [29]. NaOH juga digunakan [30] untuk menghasilkan biodiesel dari WCO. Penggunaan katalis sebesar 0,5% menghasilkan rendemen sebesar 90%. Sedangkan [23] membandingkan katalis NaOH dengan CaO dalam pembuatan biodiesel dari WFO. Hasilnya menunjukkan penggunaan katalis NaOH jauh lebih baik dalam menghasilkan rendemen dibanding CaO (77%).

Laksmi et.al [31] menggunakan katalis KOH sebesar 0,8% menghasilkan rendemen sebesar 94%. Hasil rendemen yang sama diperoleh [19] dimana dengan jumlah katalis sebesar 1% menghasilkan rendemen sebesar 94%. Selain itu [30] menyimpulkan penggunaan katalis KOH sebesar 1,16% merupakan parameter optimum yang menghasilkan rendemen sebesar 98,26%.



Gambar 1. waste cooking oil/jelanta

Proses esterifikasi pada minyak mentah (*crude oil*) yang akan dijadikan minyak biodiesel dilakukan dengan menggunakan alat seperti terlihat pada (Gambar 2) dibawah. Glas reaktor ini dilengkapi mantel pemanas *doubel* yang terdiri dari pengatur elektrik, kondensor yang mengalirkan minyak dan dilengkapi thermometer untuk mengetahui suhu dalam reaktor.

Sejumlah besar penelitian telah dilakukan peneliti lain untuk menyelidiki efek jumlah katalis homogen terhadap angka *yield* pada biodiesel dari minyak WCO (Gambar 1). Pada tulisan ini pengaruh jumlah katalis diteliti pengaruhnya terhadap jumlah rendemen (*yield*) biodiesel minyak sisa penggorengan, selain itu sifat fisiokimia diuji untuk mengetahui karakteristiknya.

2. Material dan metodologi

Bahan penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah minyak goreng sisa (*waste Frying oil/jelanta*) yang diperoleh dari restoran di Tanjungmorawa. Minyak goreng sisa (WFO) dilakukan proses degumming awal karena nilai FA sebesar 2,4367 untuk meningkatkan stabilitas oksidasi. Minyak WCO dipanaskan terlebih dahulu pada suhu 60 °C selama 15 menit. Setelah itu, 2% vol.% Asam fosfat (H_3PO_4 20%) ditambahkan ke dalam campuran minyak dan dipanaskan pada suhu 60 °C selama 30 menit dengan kecepatan pengadukan 800 rpm. Kemudian dilanjutkan dengan proses filtrasi sederhana selama minimal 4 jam, dimana kotoran dapat diamati di dasar labu. Kotoran dipisahkan dari minyak dan minyak dicuci beberapa kali dengan aquades pada suhu 40 °C. Air berlebih diuapkan dari campuran oli dengan menggunakan pompa vakum selama 30 menit untuk mencegah oksidasi minyak.

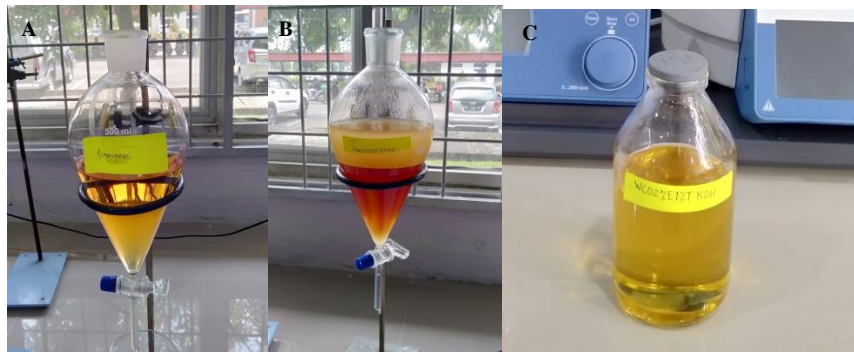
Proses Esterifikasi dilakukan dengan dua langkah: (1) esterifikasi dengan katalis asam dan (2) transesterifikasi dengan katalis alkali. Proses esterifikasi juga dikenal sebagai perlakuan awal dan tujuan utama dari proses ini adalah untuk mengurangi jumlah asam lemak bebas yang ada dalam campuran minyak menjadi kurang dari 1%. Dalam proses ini, 2% (v/v) asam sulfat (H_2SO_4) ditambahkan ke dalam 500 ml campuran minyak mentah yang sudah dilakukan proses *degumed*. Proses esterifikasi dilakukan selama 90 menit dengan menggunakan parameter operasi sebagai berikut: rasio metanol-minyak: 1:2 (v/v), temperatur: 60 °C dan kecepatan agitasi: 800 rpm. Setelah reaksi selesai, produk dituangkan ke dalam corong pisah untuk memisahkan kelebihan metanol, H_2SO_4 dan pengotor. Setelah beberapa jam, minyak membentuk lapisan dimana bagian atas mengandung metanol dan berlebih, sedangkan campuran minyak berada di lapisan paling bawah (Gambar 3a). Setelah ini, campuran minyak dipanaskan pada suhu 60 °C dalam rotary evaporator dalam kondisi vakum selama 30 menit untuk menghilangkan sisa metanol dan air yang ada dalam campuran minyak.



Gambar 2. Proses *ester/transesterifikasi* dengan pemanas *double jacket*

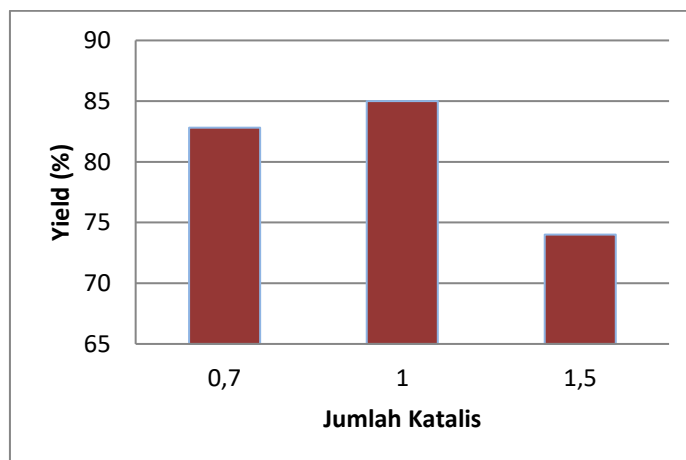
Proses transesterifikasi dilakukan dengan memanaskan WCO terlebih dahulu hingga suhu 60 °C menggunakan pemanas yang bersirkulasi. Setelah itu, 1% berat kalium hidroksida (KOH), yang merupakan katalis basa, dilarutkan dalam metanol, dengan catatan bahwa rasio metanol-terhadap-minyak adalah 30%. Larutan KOH-metanol ini kemudian ditambahkan ke dalam minyak yang dipanaskan dan reaksi berlanjut selama 90 menit. Campuran minyak diaduk secara konstan pada 800 rpm dengan menggunakan *overhead stirrer* selama proses transesterifikasi dan suhu dijaga konstan pada 60 °C. Setelah reaksi selesai, metil ester (biodiesel) dituang ke dalam corong pisah selama 6 jam untuk memisahkan gliserol dari metil ester. Metanol berlebih, gliserol dan pengotor yang terkandung dalam lapisan bawah dengan kepadatan tinggi (Gambar 3 b). Setelah itu, metil ester dituangkan ke dalam rotavapor untuk menghilangkan residu metanol, kemudian dicuci dengan akuades beberapa kali untuk menghilangkan gliserol yang tertahan dan pengotor. Dalam proses ini, 50% (v/v) air suling pada suhu 50 °C disemprotkan ke permukaan metil ester dan diaduk perlahan. Metil ester selanjutnya dimurnikan untuk menghilangkan kelebihan air dan metanol menggunakan pompa vakum pada suhu 60 °C, dan akhirnya disaring menggunakan kertas saring. Biodiesel minyak WCO yang telah disaring seperti disajikan pada Gambar (3c).

3. Hasil dan Pembahasan



Gambar 3. a) minyak setelah proses esterifikasi b) setelah proses transesterifikasi c) minyak biodiesel WFO

Proses transesterifikasi dengan menggunakan KOH sebagai katalis bertujuan untuk mengubah WCO menjadi biodiesel. Meningkatkan dosis katalis menjadi 1,5%, menurunkan hasil *Fatty Acid Metil Ester (FAME)* secara signifikan (Gambar 4). Sahar et.al [19] melaporkan bahwa jumlah dosis katalis yang lebih tinggi juga mendukung pembentukan sabun dan menurunkan hasil FAME.



Gambar 4. Angka yield biodiesel dengan jumlah katalis yang berbeda

Gambar (4) menunjukkan angka yield (rendemen) yang dihasilkan dari variasi jumlah katalis basah (KOH) yang diberikan pada proses transesterifikasi. Angka yield optimum diperoleh pada penambahan jumlah katalis sebesar 1% yaitu sebesar 85%. Dengan peningkatan konsentrasi kalium hidroksida, bahwa % hasil yield berkurang [31]. Dengan meningkatnya persentase berat katalis ke tingkat menengah (sekitar 1,1 wt %), persentase kemurnian biodiesel yang dihasilkan meningkat. Peningkatan lebih lanjut dalam konsentrasi katalis memberikan efek berkurangnya kemurnian biodiesel [30].

Perbedaan jumlah rasio minyak dengan methanol juga mempengaruhi yield biodiesel minyak WCO. Konversi minyak WCO menjadi biodiesel optimum diperoleh pada perbandingan methanol dan minyak sebesar 1: 12 [32]. Mohadesi et.al [30] menyebutkan perbandingan molar methanol dan minyak optimum diperoleh pada 1:9 pada suhu 62, 4 °C. Hasil yang hampir sama disampaikan Dhingra et.al [33] dimana perbandingan molar optimum diperoleh pada perbandingan 1:9 dengan waktu 77 menit pada temperatur 57 °C.

Tabel (1) menunjukkan sifat fisiokimia biodiesel yang dihasilkan dari minyak WCO menggunakan metode *double jacket*. Dari beberapa sifat biodiesel yang dihasilkan dari minyak goreng sisa dengan teknik *double jacket* telah memenuhi standar ASTM D6751.

Tabel 1. Sifat fisiokimia biodiesel minyak WCO

| Propertis | Produced WCO | WCO [34] | WCO [33] | WCO [35] | ASTM Standard |
|---|--------------|----------|----------|----------|---------------|
| Kinematic viscosity (mm ² /s, 40 °C) | 4.406 | 6.8 | 5.05 | 4.9 | 1,9-6.0 |
| Density (20 °C) g/m ³ | 875 | 880 | 850 | 854 | 850-879 |
| Iodine value g (iodine/100g) | 85 | - | 70.5 | - | 85-115 |
| Heating value (MJ/kg) | 40.07 | - | 39.50 | - | 39-43 |
| Oxidation stability (h) | 0.76 | - | - | - | 3 |
| Flash Point (°C) | 120 | 92 | 90 | 143 | 130 |
| Cloud Point (°C) | 5 | 1 | 6 | 53 | 5-12 |
| Cetane Number (CN) | 51.62 | 51.3 | 48 | 48 | 47 |
| Acid Value [mg KOH/g] | 0.308 | 0.52 | - | 0.80 | ≤0.5 |

4. Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik kesimpulan yaitu Biodiesel yang dihasilkan dari minyak sisa goreng (WCO) telah memenuhi standar ASTM D6751. Rendemen (yield) minyak biodiesel sangat dipengaruhi oleh persentase katalis homogen basa (KOH) yang diberikan pada saat proses transesterifikasi. Angka yield optimum diperoleh sebesar 85% dengan jumlah katalis KOH sebesar 1% pada temperatur 60 °C dengan waktu proses 90 menit dan putaran 800 rpm.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih penulis ucapkan kepada Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara pada yang telah membiayai penelitian ini pada skema penelitian Dasar (Nomor 166/IL.3-AU/UMSU-LP2M/C/2021). Ucapan yang sama juga diberikan kepada pihak-pihak yang telah membantu penelitian ini dan Politeknik Negeri Medan atas penggunaan fasilitas yang telah penulis gunakan.

Daftar Pustaka

- [1] N. Damanik, H. C. Ong, C. W. Tong, T. M. I. Mahlia, and A. S. Silitonga, "A review on the engine performance and exhaust emission characteristics of diesel engines fueled with biodiesel blends," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 25, no. 16, pp. 15307–15325, 2018, doi: 10.1007/s11356-018-2098-8.
- [2] A. S. Silitonga *et al.*, "A comparative study of biodiesel production methods for *Reutealis trisperma* biodiesel," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 39, no. 20, pp. 2006–2014, 2017, doi: 10.1080/15567036.2017.1399174.
- [3] A. M. Siregar and C. A. Siregar, "Reliability test prototype wind turbine savonius type helical as an alternative electricity generator," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 674, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/674/1/012059.
- [4] S. L. Wawan.S Damanik, M.A siregar, "KAJIAN PENGARUH KETEBALAN KACA EVAPORATOR TERHADAP ENERGI YANG DISERAP KOLEKTOR PADA PROSES DESALINASI AIR LAUT," *J. Rekayasa Mater. Manufaktur dan Energi <http://jurnal.umsu.ac.id/index.php/RMME>*, vol. 2, no. 2, pp. 131–139, 2019.
- [5] S. Dharma, H. C. Ong, H. H. Masjuki, A. H. Sebayang, and A. S. Silitonga, "An overview of engine durability and compatibility using biodiesel–bioethanol–diesel blends in compression-ignition engines," *Energy Convers. Manag.*, vol. 128, pp. 66–81, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.08.072.
- [6] I. K. Hong, H. Jeon, H. Kim, and S. B. Lee, "Preparation of waste cooking oil based biodiesel using microwave irradiation energy," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 42, pp. 107–112, 2016, doi: 10.1016/j.jiec.2016.07.035.
- [7] F. Kusumo, A. S. Silitonga, H. C. Ong, H. H. Masjuki, and T. M. I. Mahlia, "A comparative study of ultrasound and infrared transesterification of *Sterculia foetida* oil for biodiesel production," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 39, no. 13, pp. 1339–1346, 2017, doi: 10.1080/15567036.2017.1328003.
- [8] E. Öztürk, Ö. Can, N. Usta, and H. S. Yücesu, "Effects of retarded fuel injection timing on combustion and emissions of a diesel engine fueled with canola biodiesel," *Eng. Sci. Technol. an Int. J.*, vol. 23, no. 6, pp. 1466–1475, 2020, doi: 10.1016/j.jestch.2020.06.008.
- [9] K. Colombo, L. Ender, M. M. Santos, and A. A. Chivanga Barros, "Production of biodiesel from Soybean Oil and Methanol, catalyzed by calcium oxide in a recycle reactor," *South African J. Chem. Eng.*, vol. 28, pp. 19–25, 2019, doi: 10.1016/j.sajce.2019.02.001.
- [10] M. Vergel-Ortega, G. Valencia-Ochoa, and J. Duarte-Forero, "Experimental study of emissions in single-cylinder diesel engine operating with diesel-biodiesel blends of palm oil-sunflower oil and ethanol," *Case Stud. Therm. Eng.*, vol. 26, no. December 2019, p. 101190, 2021, doi: 10.1016/j.csite.2021.101190.
- [11] A. S. Silitonga, H. H. Masjuki, H. C. Ong, F. Kusumo, T. M. I. Mahlia, and A. H. Bahar, "Pilot-scale production and the physicochemical properties of palm and *Calophyllum inophyllum* biodiesels and their blends," *J. Clean. Prod.*, vol. 126, pp. 654–666, 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.03.057.
- [12] S. Dharma *et al.*, "Optimization of biodiesel production process for mixed *Jatropha curcas*-*Ceiba pentandra* biodiesel using response surface methodology," *Energy Convers. Manag.*, vol. 115, pp. 178–190, 2016, doi: 10.1016/j.enconman.2016.02.034.
- [13] N. Damanik, H. C. Ong, W. T. Chong, and A. S. Silitonga, "Biodiesel production from *Calophyllum inophyllum*–palm mixed oil," *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 39, no. 12, pp. 1283–1289,

2017, doi: 10.1080/15567036.2017.1324537.

- [14] T. M. I. Riayatsyah *et al.*, “Biodiesel production from reutealis trisperma oil using conventional and ultrasonication through esterification and transesterification,” *Sustain.*, vol. 13, no. 6, 2021, doi: 10.3390/su13063350.
- [15] A. S. Silitonga *et al.*, “Biodiesel synthesis from Ceiba pentandra oil by microwave irradiation-assisted transesterification: ELM modeling and optimization,” *Renew. Energy*, vol. 146, pp. 1278–1291, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.07.065.
- [16] F. Ideris *et al.*, “Optimization of ultrasound-assisted oil extraction from Canarium odontophyllum kernel as a novel biodiesel feedstock,” *J. Clean. Prod.*, vol. 288, p. 125563, 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.125563.
- [17] F. Kusumo *et al.*, “Optimisation of biodiesel production from mixed Sterculia foetida and rice bran oil,” *Int. J. Ambient Energy*, pp. 1–11, 2021, doi: 10.1080/01430750.2021.1888802.
- [18] A. S. Silitonga *et al.*, “Schleichera oleosa L oil as feedstock for biodiesel production,” *Fuel*, vol. 156, pp. 63–70, 2015, doi: 10.1016/j.fuel.2015.04.046.
- [19] Sahar *et al.*, “Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 41, no. May, pp. 220–226, 2018, doi: 10.1016/j.scs.2018.05.037.
- [20] A. Suhel, N. A. Rahim, M. R. A. Rahman, K. A. Bin Ahmad, Y. H. Teoh, and N. Z. Abidin, “An experimental investigation on the effect of ferrous ferric oxide nano-additive and chicken fat methyl ester on performance and emission characteristics of compression ignition engine,” *Symmetry (Basel)*, vol. 13, no. 2, pp. 1–23, 2021, doi: 10.3390/sym13020265.
- [21] A. S. Adekunle *et al.*, “Biodiesel potential of used vegetable oils transesterified with biological catalysts,” *Energy Reports*, vol. 6, pp. 2861–2871, 2020, doi: 10.1016/j.egypr.2020.10.019.
- [22] Y. Xiang, Y. Xiang, and L. Wang, “Microwave radiation improves biodiesel yields from waste cooking oil in the presence of modified coal fly ash,” *J. Taibah Univ. Sci.*, vol. 11, no. 6, pp. 1019–1029, 2017, doi: 10.1016/j.jtusci.2017.05.006.
- [23] G. H. Soegiantoro, J. Chang, P. Rahmawati, M. F. Christiani, and Z. Mufrodi, “Home-made ECO green biodiesel from chicken fat (CIAT) and waste cooking oil (pail),” *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 1105–1109, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.267.
- [24] Widayat, H. Satriadi, F. Choirudin, A. Fitriana, B. F. T. Kiono, and Syaiful, “Biodiesel production with continuous processing and direct Ultrasonic Assisted,” *Proceeding - 2016 Int. Conf. Sustain. Energy Eng. Appl. Sustain. Energy a Better Life, ICSEEA 2016*, pp. 122–126, 2017, doi: 10.1109/ICSEEA.2016.7873578.
- [25] P. Pradhan, S. Chakraborty, and R. Chakraborty, “Optimization of infrared radiated fast and energy-efficient biodiesel production from waste mustard oil catalyzed by Amberlyst 15: Engine performance and emission quality assessments,” *Fuel*, vol. 173, no. January, pp. 60–68, 2016, doi: 10.1016/j.fuel.2016.01.038.
- [26] J. Milano *et al.*, “Optimization of biodiesel production by microwave irradiation-assisted transesterification for waste cooking oil-Calophyllum inophyllum oil via response surface methodology,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 158, no. August 2017, pp. 400–415, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2017.12.027.
- [27] M. R. Abukhadra and M. A. Sayed, “K⁺ trapped kaolinite (Kaol/K⁺) as low cost and eco-friendly basic heterogeneous catalyst in the transesterification of commercial waste cooking oil into biodiesel,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 177, no. July, pp. 468–476, 2018, doi: 10.1016/j.enconman.2018.09.083.
- [28] M.-C. Hsiao, P.-H. Liao, N. V. Lan, and S.-S. Hou, “Enhancement of Biodiesel Production from High-Acid-Value

Waste Cooking Oil via a Microwave Reactor Using a Homogeneous Alkaline Catalyst,” *Energies*, vol. 14, no. 2, p. 437, 2021, doi: 10.3390/en14020437.

- [29] I. Contreras Andrade, J. P. Santiago, J. R. Sodr e, J. S. Pathiyamattom, and C. A. Guerrero-Fajardo, “Transesterification Reaction of Waste Cooking Oil and Chicken Fat by Homogeneous Catalysis,” *J. Chem. Chem. Eng.*, vol. 8, no. October, pp. 736–743, 2014.
- [30] M. Mohadesi, B. Aghel, M. Maleki, and A. Ansari, “Production of biodiesel from waste cooking oil using a homogeneous catalyst: Study of semi-industrial pilot of microreactor,” *Renew. Energy*, vol. 136, pp. 677–682, 2019, doi: 10.1016/j.renene.2019.01.039.
- [31] S. Vedha Lakshmi, A. M. Aparna, and R. Baskaran, “Production of Biodiesel from Waste Cooking Oil,” *5th Int. Conf. Sci. Technol. Eng. Math. ICONSTEM 2019*, vol. 1, pp. 270–274, 2019, doi: 10.1109/ICONSTEM.2019.8918857.
- [32] M. Almazrouei, S. Elagroudy, and I. Janajreh, “Transesterification of waste cooking oil: Quality assessment via thermogravimetric analysis,” *Energy Procedia*, vol. 158, pp. 2070–2076, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.01.478.
- [33] S. Dhingra, G. Bhushan, and K. K. Dubey, “Validation and enhancement of waste cooking sunflower oil based biodiesel production by the trans-esterification process,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 38, no. 10, pp. 1448–1454, 2016, doi: 10.1080/15567036.2013.871610.
- [34] N. Outili, H. Kerras, C. Nekkab, R. Merouani, and A. H. Meniai, “Biodiesel production optimization from waste cooking oil using green chemistry metrics,” *Renew. Energy*, vol. 145, pp. 2575–2586, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.07.152.
- [35] H. G. Abubakar, A. S. Abdulkareem, A. Jimoh, O. D. Agbajelola, J. O. Okafor, and E. A. Afolabi, “Optimization of biodiesel production from waste cooking oil,” *Energy Sources, Part A Recover. Util. Environ. Eff.*, vol. 38, no. 16, pp. 2355–2361, 2016, doi: 10.1080/15567036.2015.1040899.