E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 1045-1058
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

Sintesis Biodiesel Dari Limbah Nabati Minyak Jelantah Dengan Menggunakan Metode Transesterifikasi Katalis Heterogennalisis

[1]Trimadona[1], Rahma Nuryanti[2], Ariel Dipa Mahardika[2]

[1]Program Studi Teknik Eksplorasi Produksi Migas, Politeknik Akamigas Palembang, Jalan Kebon Jahe Komperta Plaju, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

[2]Program Studi Teknik Analisis Laboratorium Migas, Politeknik Akamigas Palembang, Jalan Kebon Jahe Komperta Plaju, Palembang, Sumatera Selatan, Indonesia

E-mail: trimadona@pap.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis biodiesel dari limbah nabati berupa minyak jelantah melalui metode transesterifikasi dengan katalis basa heterogen. Minyak jelantah berasal dari UMKM penjual gorengan dipilih sebagai bahan baku karena ketersediaannya yang melimpah serta kandungan trigliserida yang dapat dikonversi menjadi metil ester. Proses transesterifikasi dilakukan dengan pereaksi metanol dan katalis heterogen, kemudian biodiesel yang dihasilkan diuji berdasarkan parameter mutu sesuai standar SNI 7182:2015, meliputi *density, cetane index* ASTM D-4737, dan *flash point* ASTM D-93. Hasil penelitian menunjukkan bahwa biodiesel dari minyak jelantah memiliki karakteristik fisikokimia yang mendekati standar SNI, dengan nilai *density* berada dalam kisaran 850–890 kg/m^3, *cetane index* lebih tinggi dibandingkan solar fosil sehingga menghasilkan pembakaran lebih bersih, serta *flash point* ≥100 °C yang lebih aman dibandingkan diesel konvensional. Dengan demikian, minyak jelantah berpotensi besar sebagai bahan baku alternatif dalam produksi biodiesel ramah lingkungan, sekaligus mendukung pengurangan limbah dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil.

Kata kunci: *Biodiesel, Katalis heterogen, Minyak jelantah, Transesterifikasi, SNI 7182:2015*

E-ISSN: 3031-8629
P-ISSN: 3032-3258
Halaman 1045-1058
Volume 3 Nomor 4 Tahun 2026

ABSTRACT

This study aims to synthesize biodiesel from use cooking oil using transesterification method with heterogenous base catalyst. Used cooking oil obtained from MSMEs vendors was selected as the raw material due to its abundant availability and triglyceride content, which can be converted into methyl ester. The transesterification process was conducted using methanol as the reactant and heterogeneous catalyst. The resulting biodiesel was then tested agaisnt quality parameters based on SNI 7182:2015 standards, including density, cetane index (ASTM D-4737), and flash point (ASTM D-93). The research findings indicated that the biodiesel produced from used cooking oil had physicochemical characteristics close to SNI standards: density in range of 850-890 kg/m^3; cetane index higher than that of fossil diesel, which resulted in cleaner combustion; and flash point of $\geq$ 100^{o}C, making it safer than conventional diesel. In conclusion, used cooking oil was highly potential to be utilized as the alternative raw material for eco-friendly biodiesel production, as well as to support reduction of waste and reliance on fossil fuels.

Keywords: *Biodiesel, heterogeneous catalyst, cooking oil, transesterification, SNI 7182:2015*

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi yang semakin hari semakin tinggi oleh manusia menimbulkan permasalahan baru terus menerus berkurang ketersediaannya sebagai sumber energi mendorong manusia untuk terus melakukan inovasi menciptakan energi baru dan terbarukan seperti salah satunya yaitu pembuatan biodiesel dari minyak tanaman ataupun lemak hewan. (Diny dkk, 2022). Seiring dengan kuatnya komitmen pemerintah dalam menciptakan iklim ekosistem yang kondusif untuk pengembangan industri biodiesel di Indonesia, berdampak

pada peningkatan industri biodiesel (atau dikenal dengan Badan Usaha Bahan Bakar Nabati-BU BBN) baik dari segi jumlah perusahaan maupun kapasitas produksinya. Badan Litbang ESDM mencatat bahwa pada awalnya perusahaan biodiesel tidak terintegrasi dengan kepemilikan bahan baku atau tidak terintegrasi dengan perkebunan kelapa sawit. Namun saat ini, perusahaan-perusahaan perkebunan kelapa sawit tersebut banyak yang berinvestasi pada jalur hilirisasi biodiesel dan menjadi salah satu BU BBN produsen biodiesel. (Letario, 2024).

Biodiesel merupakan bahan bakar minyak yang bersifat terbarukan, *biodegradable* dan ramah lingkungan. Biodiesel dapat diproduksi dari berbagai macam jenis minyak. Berdasarkan jenis minyak yang dapat digunakan untuk produksi biodiesel, minyak nabati yang cukup berpotensi adalah limbah minyak goreng atau disebut dengan minyak jelantah. Minyak jelantah merupakan minyak dari kelapa sawit yang telah dilakukan proses penggorengan sehingga menjadi limbah (Suryandari dkk, 2021). Produksi biodiesel menggunakan minyak berkualitas rendah, seharusnya melakukan proses esterifikasi, untuk mengurangi kadar FFA (*Free Fatty Acid*). Proses transeterifikasi tidak menginginkan kadar FFA tinggi karena dapat menyebabkan penurunan produksi dan kesulitan untuk membedakan produk. FFA ini berfungsi untuk mengetahui kandungan asam lemak bebas dalam minyak goreng. Proses utama untuk memproduksi biodiesel adalah melalui transesterifikasi lemak hewan atau minyak nabati dengan alkohol yang ada katalisnya (Dea Dkk, 2024). Pada proses transesterifikasi dibutuhkan juga katalis, penggunaan katalis dapat meningkatkan efisiensi proses, mempercepat laju reaksi, dan meningkatkan produk yang dihasilkan (Islami, A.P, 2022). Katalis digunakan dalam reaksi transesterifikasi untuk mengkonversikan trigliserida menjadi biodiesel atau metil ester. Katalis yang digunakan dapat berupa katalis asam dan basa, katalis basa NaOH dan KOH sering digunakan dalam pembuatan biodiesel baik yang bersifat homogen ataupun

heterogen. Jika dibandingkan menggunakan katalis asam, katalis basa menghasilkan biodiesel yang lebih efisien (Maleki dkk, 2022).

Menurut penelitian Angelia, Permatasari, dan Redjeki (2022), pembuatan biodiesel dari minyak jelantah menggunakan katalis Heterogen modifikasi menunjukkan bahwa semakin tinggi suhu dan semakin lama waktu reaksi transesterifikasi, maka konversi biodiesel yang diperoleh semakin besar. Kondisi optimum dicapai pada suhu 60°C dan waktu 60 menit, dengan konversi trigliserida sebesar 21,94% serta kandungan metil ester total mencapai 98,16%.

Selanjutnya Menurut penelitian Suryandari dkk. (2021), Katalis Heterogen digunakan dalam reaksi transesterifikasi minyak jelantah menghasilkan biodiesel dengan *yield* FAME 64,56%, densitas 0,8573 g/mL, dan viskositas 7,18 cSt. Nilai densitas biodiesel telah sesuai dengan standar SNI 7182-2012, sedangkan viskositasnya mendekati standar. Hal ini menunjukkan bahwa limbah cangkang telur dapat dimanfaatkan sebagai sumber katalis heterogen yang efektif dan ramah lingkungan untuk produksi biodiesel dari minyak jelantah.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana hasil yang didapat dari proses transeterifikasi menggunakan katalis heterogen terhadap parameter *Cetane Index* ASTM D-976?
2. Bagaimana hasil yang didapat dari proses transeterifikasi menggunakan katalis heterogen terhadap parameter *Density?*
3. Bagaimana hasil yang didapat dari proses transeterifikasi menggunakan katalis heterogen terhadap parameter *Flash point PM ASTM D 93-02?*

Tujuan Penelitian

1. Mengetahui proses pembuatan biodiesel dari minyak jelantah yang berasal dari UMKM penjual gorengan menggunakan katalis basa heterogen.
2. Mengetahui kandungan limbah minyak jelantah dari UMKM penjual gorengan sebagai bahan produksi biodiesel tanpa melalui proses esterifikasi.
3. Mengetahui hasil penelitian mengenai kualitas biodiesel yang berasal dari pemanfaatan limbah minyak jelantah dari UMKM penjual gorengan berdasarkan parameter yang di uji.

2. KAJIAN PUSTAKA

Minyak jelantah atau biasa disebut dengan minyak goreng bekas merupakan hasil samping dari penggorengan dengan menggunakan minyak goreng, penggunaan minyak goreng pada suhu 170-180°C untuk waktu yang lama akan menyebabkan minyak goreng tersebut mengalami degradasi minyak yang akan menghasilkan senyawa-senyawa seperti aldehid, keton, dan polimer dari proses oksidasi, hidrolisis dan polimerisasi. Degradasi minyak juga menyebabkan peningkatan kadar asam lemak bebas (*Free Fatty Acid*), perubahan indeks refraksi, angka peroksida, angka karbonil, timbulnya kekentalan minyak, terbentuknya busa dan adanya kotoran dari bumbu yang digunakan (Busyairi *et al*, 2020). Minyak jelantah merupakan limbah yang mengandung senyawa karsinogenik, dapat menimbulkan gangguan kesehatan apabila dipakai dalam jangka panjang. Namun, karena minyak goreng bekas terbuat dari minyak kelapa sawit, yang mengandung trigliserida, serta asam lemak yang dapat diubah menjadi biodiesel dan etil ester, minyak ini memiliki banyak potensi sebagai sumber energi alternatif (Dea dkk, 2025).

Sebelum bahan baku digunakan untuk pembuatan biodiesel, minyak jelantah perlu melalui proses pemurnian untuk menurunkan *Free Fatty Acid* (FFA) hingga mencapai kurang dari 5%. Kandungannya yang tinggi menimbulkan reaksi saponifikasi, yaitu pembentukan

sabun akibat interaksi antara katalis dan asam lemak bebas yang digunakan pada proses transesterifikasi. Selain itu, kualitas minyak goreng yang aman dan layak konsumsi telah diatur dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 7709:2019, yang mencakup berbagai parameter mutu seperti kadar air, bilangan peroksida, serta kandungan asam lemak bebas. Pemenuhan standar ini penting untuk memastikan minyak yang digunakan, baik untuk konsumsi maupun sebagai bahan baku biodiesel yang memiliki mutu yang sesuai (Siti Khairunnisa dkk, 2025). Proses hidrolisis minyak goreng menghasilkan asam lemak bebas dan gliserol. Bilangan asam minyak goreng akan meningkat karena jumlah asam lemak bebas yang tinggi. Proses oksidasi dapat terjadi karena kontak awal proses oksidasi ini, kemudian terurai asam-asam lemak yang dihasilkan dari oksidasi, disertai dengan konversi hidroperoksida dan kemudian diubah menjadi aldehid, keton, dan asam-asam lemak bebas (Syavia, 2024).

Biodiesel

Biodiesel adalah bahan bakar terbarukan berupa mono-alkil ester dari asam lemak rantai panjang yang diproduksi dari minyak nabati atau lemak hewani. Keunggulan biodiesel adalah ramah lingkungan, dapat langsung digunakan pada mesin diesel, serta mengurangi emisi CO_2. Di Indonesia, kebijakan mandatori B20–B30 telah mendorong pemanfaatan biodiesel secara luas. Studi terbaru menekankan pentingnya keberlanjutan industri biodiesel melalui kebijakan harga, insentif, dan pengembangan teknologi produksi yang kompetitif (Wirawan *et al.*, 2024; Yanita *et al.*, 2023).

Jika dibandingkan dengan bahan bakar diesel, ada berbagai kelebihan dan keuntungan yang dimiliki oleh Biodiesel, berikut diantaranya:

1. Merupakan energi terbarukan, sebab diperoleh dari alam yang dapat diperbaharui, sehingga pasokan bahan baku terjaga.

2. Ramah lingkungan karena Biodiesel menghasilkan emisi gas dengan kualitas yang baik, seperti bebas sulfur yang menyebabkan efisiensi pembakarannya relatif baik.
3. Meningkatkan independensi pasokan minyak, karena bisa diproduksi secara lokal.
4. Memiliki kandungan asap yang rendah, sehingga menghasilkan karbon dioksida yang minim hal ini juga berdampak pada penghilangan efek rumah kaca.

Biodiesel juga memiliki peraturan dan spesifikasi standar agar dapat digunakan serta dipertanggung jawabkan. Standar spesifikasi biodiesel seperti SNI 7182:2015 (revisi 2024) dibuat karena biodiesel harus memenuhi syarat mutu tertentu agar aman, efisien, dan kompatibel dengan mesin diesel modern. Tanpa standar, kualitas biodiesel bisa sangat bervariasi sehingga berisiko menimbulkan masalah teknis maupun lingkungan (BSN:SNI 7188:2017).

Emisi dari pembakaran biodiesel yang lebih sedikit menyebabkan bahan bakar biodiesel lebih ramah lingkungan daripada diesel, yang dapat berasal dari bahan limbah seperti minyak jelantah dan minyak bumi. Ada sedikit kandungan sulfur 155 ppm (*parts per million*) dan tidak mengandung nitrogen atau senyawa aromatic dan memiliki 11% oksigen berat. Hal ini mengurangi kandungan energi tapi juga mengurangi partikel, jelaga, hidrokarbon (HC) dan karbon monoksida (CO). Biodiesel memilki kandungan yang lebih rendah dari solar, tetapi memilki efisiensi bahan bakar yang sama, artinya daya dan nilai kalor yang dihasilkan sebanding dengan torsi yang dihasilkan. Namun solar sedikit lebih stabil karena asam lemak yang terkandung dalam minyak nabati digunakan untuk memproduksinya. Kadar asam lemak bebas meningkat dapat muncul ketika ada ketidakstabilan, viskositas meningkat dan

munculnya sedimen gum. Hal ini mungkin menyebabkan filter bahan bakar tersumbat (Hikmah, N. 2019).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Pengujian FFA (Free Fatty Acid) SNI 7182:2015

1. Sejumlah sampel ditambahkan beberapa ml metanol 95% lalu tambahkan 3 tetes indikator pp.
2. Titrasi sampel dengan NaOH 0,1 N.
3. Titrasi sampai berubah warna menjadi merah muda, dan catat volume titrasi NaOH.

   Untuk mendapatkan nilai FFA (Free Fatty Acid) SNI 7182:2015 dengan formula;

$$FFA\ (5) = \frac{V \times N \times 282\ g/mol}{W} \times 100\%$$

Pada pengujian FFA, volume titrasi NaOH sebesar 0,9 ml, konsentrasi NaOH sebesar 0,1 N dan massa sampel sebesar 0,50553 g dan didapatkan nilai FFA sebesar 0,5%.

Proses Transeterifikasi

Proses ini dilakukan dengan 10 tahapan.

Proses Perhitungan Cetane Index ASTM D-976

Proses perhitungan Cetane Index ASTM D-976 dengan menggunakan formula berikut;

$$CCI = 45.2 + (0.0892)(T_{10N}) + [0.131 + (0.901)(\beta)][T_{50N}] + [0.0526 - (0.420)(\beta)][T_{90N}] + [0.00049][(T_{10N})^2 - (T_{90N})^2] + (107)(\beta) + (60)(\beta)^2$$

Proses Perhitungan Density

Perhitungan density menggunakan formula berikut;

$$Density = \frac{(Berat\ piknometer + sampel) - (Berat\ piknometer)}{50\ ml}$$

Proses pengukuran Flash Point yang dilakukan di laboratorium.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian di laboratorium yaitu analisis Uji Kualitas Biodiesel Berdasarkan SNI 7182: 2015 berupa pengukuran density dan flash point. *Density* diartikan sebagai jumlah dari suatu zat yang terkandung di dalam suatu unit volume atau perbandingan dari massa minyak dengan volume minyak. Pengecekan *density* biodiesel bertujuan untuk memastikan kualitas bahan bakar, kesesuaian dengan standar mutu (SNI 7182:2015), serta memprediksi performa pembakaran di mesin diesel. Berdasarkan SNI *density* dinyatakan dalam satuan yaitu Kg/m^3 (Marionoa, wahyudi, 2023).

Tabel Data Hasil Pengujian Density

Sampel	Hasil Pengujian (g/ml)	Hasil Konversi (Kg/m^3)	Spek. *Density* SNI 7182: 2015	Kesimpulan
Biodiesel	0,856	856,00	850-890 (Kg/m^3)	On Spec

Dilihat pada data pengujian didapatkan hasil yaitu 856,00 Kg/m^3. Menurut SNI Nomor 7182 tahun 2015, spesifikasi biodiesel untuk pengujian *density,* telah memenuhi spesifikasi/*on spec*.

Flash point atau titik nyala adalah suhu terendah dimana bahan bakar mengeluarkan udara dan uap untuk membuat campuran yang dapat menyala atau terbakar. Nilai titik nyala yang dihasilkan karena panas sangat memengaruhi keamanan penyimpanan (Badan Standardisasi Nasional (BSN) 2015).

Berikut merupakan tabel hasil dari pengujian *Flash Point Pensky–Marten* (PM) ASTM D 93-02:

Tabel Data Hasil Pengujian Flash Point (PM) ASTM D 93-02

Sampel	Pembacaan Termmometer (°C)	Hasil	Spek.*Flash Point* PM SNI 7182: 2015	Kesimpulan
Biodiesel	160°C	160°C	Min 100°C	On Spec

Cetane index ini menunjukkan kecepatan bahan bakar mesin diesel yang dapat terbakar secara spontan setelah dimasukkan ke ruang bakar. Kemampuan bahan bakar untuk menyala pada suhu rendah ditunjukkan oleh angka *cetane index* yang tinggi, sementara jika angka *cetane index* rendah, itu menunjukkan bahwa bahan bakar memiliki kemampuan untuk menyala pada suhu tinggi. Penggunaan bahan bakar dengan *cetane index* yang tinggi pada mesin biodiesel dapat membantu mencegah *knocking* (Badan Standardisasi Nasional (BSN) 2015). Berikut merupakan tabel hasil dari pengujian Cetane Index ASTM D-976:

Tabel Data Hasil Pengujian Cetane Index ASTM D-976

Sampel	Destilasi 50%	Density	Hasil	Spek. *Density* SNI 7182: 2015	Kesimpulan
Biodiesel	0,856	856,00	52	Min.51	On Spec

Nilai distilasi 50% dan hasil dari *density* yang menyebabkan pengujian *cetane index* ini, didapatkan hasil mencapai 329˚C dan density 0,856. Dilihat dari hasil pembacaan grafik *cetane index* sebesar 52 termasuk *on spec*. Menurut SNI Nomor 7182, spesifikasi biodiesel untuk pengujian *cetane index*, telah memenuhi spesifikasi/*on spec*.

Pada pengujian *flash point* ini didapatkan nilai 160˚C. Nilai tersebut memenuhi standar yang telah ditentukan sehingga biodiesel berada dalam batas aman terhadap bahaya kebakaran selama penyimpanan, penanganan dan transportasi. Titik nyala mengindikasi tinggi rendahnya volatilitas dan kemampuan untuk terbakar dari suatu bahan bakar. Menurut SNI nomor 7182 Tahun 2015, spesifikasi biodiesel dari pengujian *flash point*, telah memenuhi spesifikasi/*on spec*.

Densitas biodiesel sesuai dengan SNI 7182:2015 (850-890 kg/m^3). Pada penelitian ini densitas yang diperoleh sebesar 856 kg/m^3, dari hasil tersebut masih masuk dalam spesifikasi yang ditentukan. Menurut SNI 7182:2015, densitas biodiesel pada suhu 50°C harus berada dalam rentang 850–890 kg/m^3 agar proses atomisasi bahan bakar di dalam sistem injeksi berlangsung optimal. Jika densitas biodiesel tidak sesuai standar, maka dapat terjadi gangguan pada sistem pembakaran. Densitas yang terlalu tinggi menyebabkan atomisasi kurang sempurna sehingga menghasilkan pembakaran tidak merata, peningkatan emisi partikulat, dan beban tambahan pada pompa injeksi. Sebaliknya, densitas yang terlalu rendah mengurangi kandungan energi per satuan volume, sehingga efisiensi termal mesin menurun dan konsumsi bahan bakar meningkat. Kondisi ini berpotensi menimbulkan *knocking* serta mempercepat kerusakan komponen mesin (BSN, 2015; Soerawidjaja, 2017).

Dari hasil uji *flash point* didapatkan hasil pada tabel bahwa pada pengujian sampel biodesel yaitu 160˚C. *Flash point* merupakan parameter penting yang menunjukkan suhu minimum di mana uap bahan bakar dapat menyala sesaat ketika terkena sumber api. Nilai ini

berfungsi sebagai indikator keamanan penyimpanan, distribusi, serta kualitas proses produksi bahan bakar. Menurut SNI 7182:2015, biodiesel harus memiliki *flash point* minimum 100 °C, sedangkan solar fosil berdasarkan SNI 7188:2017 memiliki *flash point* minimum 52 °C. Perbedaan ini terutama disebabkan oleh sifat kimia dan fisik kedua bahan bakar. Biodiesel tersusun dari Fame yang memiliki rantai karbon panjang dan polaritas lebih tinggi, sehingga volatilitasnya rendah dan titik nyala lebih tinggi. Hal ini menjadikan biodiesel lebih aman dalam penyimpanan dan transportasi, sekaligus menjadi indikator bahwa biodiesel bebas dari sisa metanol hasil transesterifikasi. Sebaliknya, solar fosil mengandung fraksi hidrokarbon ringan (C_{10}–C_{16}) yang lebih mudah menguap, sehingga titik nyala lebih rendah namun tetap sesuai standar keamanan untuk mendukung kemudahan penyalaan pada mesin diesel (BSN, 2015). Jika *flash point* biodiesel berada di bawah standar (<100 °C), hal ini menunjukkan adanya kandungan metanol yang belum terpisah sempurna, yang dapat meningkatkan risiko kebakaran, menurunkan nilai kalor, serta menimbulkan korosi pada sistem injeksi. Kondisi ini berpotensi mempercepat kerusakan pompa bahan bakar dan injektor pada mesin diesel (Mazaheri *et al*, 2021).

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan, kandungan asam lemak bebas (FFA) yang didapatkan sebesar 0,5%. Hasil kualitas biodiesel dari minyak jelantah yang berasal dari UMKM penjual gorengan ini menunjukan bahwa *Density* sebesar 856 kg/m^3, sesuai dengan batas spesifikasi SNI 7182:2015 (850–890 kg/m^3) dan *Cetane Index* sebesar 52, memenuhi syarat minimum SNI 7182:2015 (≥51) serta *Flash Point (Pensky-Martens Closed Cup)* sebesar 160°C, jauh di atas batas minimum SNI 7182:2015 (≥100 °C). Sehingga biodiesel dari minyak jelantah gorengan ini memenuhi standar mutu terhadap tiga parameter yang di uji.

DAFTAR PUSTAKA

Angelia, D., Permatasari, G.P.W., & Redjeki, S. (2022). Kinetika Reaksi Transesterifikasi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO Modifikasi. *Jurnal Teknik Kimia UPN Veteran Jatim,* 16(2), 93–101.

Badan Standardisasi Nasional (BSN). (2015). *Standar Nasional Indonesia (SNI) 7182:2015 – Biodiesel*. BSN, Jakarta.

Busyairi, A., dkk. (2020). Degradasi Minyak Goreng Bekas dan Dampaknya terhadap Kualitas Minyak Jelantah. *Jurnal Teknologi Pangan*, 12(2), 45–53.

Dea, R., dkk. (2024). Optimalisasi Proses Transesterifikasi Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel dengan Variasi Waktu dan Konsentrasi Katalis. *Chemical Engineering Journal Storage,* 5(4), 665–681.

Dea, R., dkk. (2025). Pemanfaatan Minyak Jelantah sebagai Bahan Baku Biodiesel melalui Proses Transesterifikasi. *Jurnal Energi Terbarukan*, 8(1), 77–85

Diny, A., Pratama, R., & Sari, L. (2022). Produksi biodiesel dari minyak nabati dan lemak hewan melalui proses transesterifikasi. *Jurnal Energi Terbarukan Indonesia*, 10(2), 45–52.

Hikmah, N. (2019). Analisis Stabilitas Biodiesel dan Solar dalam Penggunaan Mesin Diesel. *Jurnal Energi Fosil dan Terbarukan*, 5(2), 89–97.

Islami, A.P. (2022). Penggunaan Katalis dalam Proses Transesterifikasi Biodiesel. *Jurnal Energi Terbarukan*, 7(1), 55–63.

Letario, P. (2024). Biodiesel Indonesia: Produksi, Konsumsi dan Ekspor. *PASPI, Maret 2024.*

Maleki, H., dkk. (2022). An Overview of Biodiesel Production via Heterogeneous Catalysts: Synthesis, Current Advances, and Challenges. *Clean Technologies*, 7(3), 62–75.

Marionoa, R., & Wahyudi, B. (2023). Analisis Density Biodiesel Menggunakan Standar SNI 7182:2015. *Jurnal Teknologi Energi*, 11(1), 55–63.

Mazaheri, H., et al. (2021). An overview of biodiesel production via calcium oxide based catalysts: Current state and perspective. *Energies, 14*(13), 3950.

Siti Khairunnisa, N., Putri, A., & Rahmawati, L. 2025. Analisis mutu minyak goreng bekas berdasarkan parameter SNI 7709:2019 sebagai bahan baku biodiesel. *Jurnal Teknologi Pangan dan Energi Terbarukan*, 12(1): 33–41.

Soerawidjaja, T. H. (2017). Biodiesel specification in Indonesia. *APEC Workshop on Guidelines toward High Biodiesel Blends.* Thailand Science Park, Pathumtani.

Suryandari, A.S., dkk. (2021). Sintesis Biodiesel melalui Transesterifikasi Minyak Goreng Bekas Berbasis Katalis Heterogen CaO dari Limbah Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Rekayasa Bahan Alam dan Energi Berkelanjutan*, 5(1), 22–27.

Syavia, R. (2024). Oksidasi dan Hidrolisis Minyak Goreng Bekas serta Dampaknya terhadap Kualitas Minyak Jelantah. *Jurnal Kimia Terapan,* 14(1), 33–41.

Wirawan, S., dkk. (2024). Kebijakan Mandatori B20–B30 dan Dampaknya terhadap Industri Biodiesel di Indonesia. *Jurnal Energi dan Kebijakan*, 11(1), 55–66.