

Comparison of Solvent and Transesterification Duration on the Physicochemical Properties of Used Cooking Oil-Based Biodiesel [Perbandingan Pelarut dan Durasi Transesterifikasi Terhadap Sifat Fisikokimia Biodiesel Berbasis Limbah Minyak Goreng Bekas]

Fitriyah Nur Indahsari, Poppy Diana Sari*

Program Studi Teknologi Pangan, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

*Email Penulis Korespondensi: poppydianasari@umsida.ac.id

Abstract. *The increasing use of cooking oil produces waste that has a negative impact on the environment and health if not managed properly. This study aims to determine the effect of solvent and transesterification duration on the physicochemical characteristics of biodiesel produced from waste cooking oil. This study used a simple randomized block design (RBD) with two treatment factors, namely solvent (sodium methoxide and sodium ethoxide) and the transesterification duration (30, 60, 90, 120, 150). Biodiesel was analyzed based on parameters such as density, water content, acid value and methyl ester composition using Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). The research show that biodiesel produced using sodium methoxide has a lower density and water content, and a more stable acid number than sodium ethoxide. The optimum reaction time was 90 minutes using sodium methoxide. GC-MS analysis showed that biodiesel with the optimum transesterification duration contained 97.895% methyl ester, which meets the requirements of the Indonesian National Standard (SNI 7182:2015). Therefore, the used of waste cooking oil has the potential to be a sustainable and environmentally friendly biodiesel feedstock.*

Keywords – Biodiesel; microfiltration; transesterification duration; waste cooking oil

Abstrak. *Peningkatan penggunaan minyak goreng menghasilkan limbah yang berdampak negatif terhadap lingkungan dan kesehatan jika tidak dikelola dengan baik. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pelarut dan durasi transesterifikasi terhadap karakteristik fisikokimia biodiesel yang dihasilkan dari minyak goreng bekas. Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) sederhana dengan dua faktor perlakuan yaitu pelarut (natrium metoksida dan natrium etoksida) dan durasi transesterifikasi (30, 60, 90, 120, 150). Biodiesel dianalisis berdasarkan parameter seperti densitas, kadar air, angka asam serta komposisi metil ester menggunakan Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS). Penelitian penelitian menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan menggunakan natrium metoksida memiliki densitas dan kadar air lebih rendah, serta angka asam lebih stabil dibandingkan natrium etoksida. Waktu transesterifikasi optimum adalah 90 menit menggunakan natrium metoksid. Analisis GC-MS menunjukkan bahwa biodiesel dengan durasi transesterifikasi optimum mengandung metil ester sebesar 97,895%, yang memenuhi persyaratan Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015). Dengan demikian, penggunaan minyak goreng bekas berpotensi menjadi bahan baku biodiesel yang berkelanjutan dan ramah lingkungan.*

Kata Kunci – Biodiesel; mikrofiltrasi; durasi transesterifikasi; limbah minyak goreng bekas

I. PENDAHULUAN

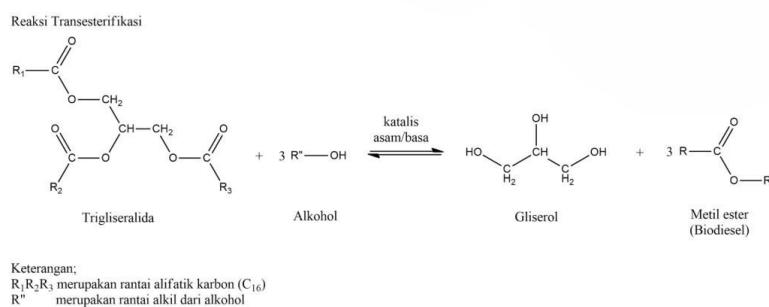
Minyak goreng merupakan bahan pangan yang berasal dari minyak nabati (tumbuhan) dan menjadi kebutuhan pokok bagi masyarakat yang diatur dalam SNI 7709:2019 [1], minyak goreng memiliki senyawa gliserida dan asam lemak yang digunakan dalam kebutuhan sehari-hari oleh masyarakat seperti menggoreng bahan pangan [2]. Kebutuhan pasar akan peningkatan permintaan minyak goreng membuat harga minyak goreng menjadi mahal. Oleh karena itu, sebagian masyarakat menggunakan ulang minyak goreng untuk memasak hingga kehitaman yakni minyak jelantah [3]. Minyak goreng yang digunakan berulang bersifat karsinogenik karena pemanasan suhu tinggi yang berulang pada minyak, pemanasan berulang juga meningkatkan kadar asam lemak, tingginya kadar asam lemak bebas (ALB) mengindikasikan bahwa minyak goreng tersebut memiliki kualitas yang rendah [4]. Penelitian sebelumnya menyatakan bahwa, syarat mutu minyak goreng sesuai dengan standar SNI 7709:2019 yaitu kadar air < 0,1 %, FFA < 0,3 %, bilangan peroksida < 10 Mek O₂/Kg, cemaran arsen < 0,10 mg/Kg [5].

Minyak goreng bekas jika dibuang begitu saja akan menjadi limbah yang akan merusak lingkungan, banyak penelitian mengenai pemanfaatan minyak goreng bekas rumah tangga seperti pembuatan sabun [6], lilin aroma terapi [7], pupuk organik tanaman [8] dan bahan bakar [9][10][11]. Berdasarkan penelitian sebelumnya, pengolahan limbah minyak goreng bekas yang baik dapat mencegah dampak negatif yang ditimbulkan terhadap lingkungan, pemanfaatan limbah minyak menjadi biodiesel dapat mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan mengurangi emisi karbon [12]. Menurut penelitian terdahulu, pemanfaatan minyak goreng bekas dapat membantu mengurangi limbah

dan memberikan nilai tambah bagi masyarakat, salah satunya sebagai bahan bakar alternatif [13]. Biodiesel adalah bahan bakar yang dibuat dari minyak nabati dan lemak hewani yang menjadi alternatif pengganti solar, biodiesel merupakan energi terbarukan yang umumnya terbuat dari minyak sawit atau CPO [14]. Penggunaan minyak kelapa sawit sebagai bahan baku biodiesel menimbulkan banyak kontroversi terkait deforestasi dan dampak sosialnya. Dengan demikian, pengolahan minyak jelantah menjadi biodiesel merupakan salah satu alternatif untuk meminimalkan dampak negatif terhadap lingkungan [9]. Biodiesel mengandung *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) yang digunakan menjadi bahan bakar, FAME ini terbentuk dari proses transesterifikasi, dimana gliserin dipisahkan dengan pelarut (alkohol) yang kemudian menghasilkan biodiesel dan gliserin [15]. Transesterifikasi merupakan proses pertukaran gugus ester antara 2 molekul yang mana ester bereaksi dengan alkohol lain untuk membentuk ester baru dan alkohol yang berbeda, pada penelitian ini reaksi dikatalis dengan basa kuat (NaOH), proses transesterifikasi ini sangat penting dalam pembuatan biodiesel [16].

Berdasarkan studi terdahulu, penggunaan pelarut metanol dan etanol dalam pembuatan biodiesel berbahan baku minyak kelapa sawit, penggunaan metanol dan etanol dalam penelitian tersebut membantu melarutkan senyawa trigliserida menjadi ester metil dan gliserol yang ada pada minyak kelapa sawit sehingga mempermudah dalam analisis kimia, penelitian tersebut menghasilkan biodiesel dengan nilai angka asam dan viskositas yang sesuai standar SNI dan dapat disarankan menjadi bahan baku biodiesel nasional [17]. Kualitas biodiesel sesuai dengan Standar Mutu Biodiesel (SNI 7182:2015) yaitu densitas pada 40 °C 850-890 kg/m³, viskositas pada 40 °C 2,3-6,0 mm²/s (cSt), air dan sedimen 0,05 %, bilangan asam 0,5 mg KOH/g dan kadar ester metil 96,5 % [18]. Hasil riset sebelumnya, mengaplikasikan minyak jelantah sebagai bahan pokok biodiesel melalui proses esterifikasi dan transesterifikasi dengan filter paper 1 µm, 5 µm dan 16 µm, yang kemudian di esterifikasi menggunakan metanol dan H₂SO₄ sebagai katalis, dengan variasi waktu transesterifikasi 50, 60, 65 dan 70 menit serta suhu transesterifikasi 55-85 °C, perlakuan terbaik yakni filtrasi ukuran pori 16 µm dan waktu transesterifikasi 60 menit, yang menghasilkan karakteristik biodiesel memenuhi standar SNI-04-7182-2006, namun pada perlakuan tersebut belum menemukan titik maksimal atau tertinggi sehingga perlu diteliti lebih lanjut [13].

Berdasarkan penelitian yang relevan, penyaringan dengan kertas saring Whatman No. 42 efektif dalam memisahkan kotoran fisik dan menghasilkan minyak filtrat yang jernih [19]. Studi terdahulu melakukan filtrasi minyak jelantah dengan menggunakan kertas saring Whatman No. 42 menyebabkan perubahan fisik maupun kimia setelah filtrasi [20]. Kertas Whatman No. 42 mampu menahan partikel padat yang terdapat pada minyak jelantah serta mampu menurunkan kadar asam lemak bebas (ALB), kadar air dan bilangan peroksida [21]. Mikrofiltrasi merupakan pemisahan antara cairan dengan partikel atau zat pengotor, pada pembuatan biodiesel mikrofiltrasi jarang digunakan karena lebih memilih proses esterifikasi yang praktis. Namun, proses esterifikasi pada pembuatan biodiesel memiliki beberapa kekurangan, salah satunya yaitu pengaruhnya terhadap penurunan kualitas minyak yang menyebabkan angka penyabunan yang tinggi serta menghasilkan air dari reaksi senyawa kimia yang ditambahkan [22], sebagai alternatif peneliti lain melakukan mikrofiltrasi sebagai pengganti dari proses esterifikasi karena prosesnya yang lebih aman, sederhana, mampu mengurangi pengotor tersuspensi, tidak memerlukan penambahan bahan kimia dan perolehan yield yang dihasilkan lebih tinggi [23]. Pemilihan metode mikrofiltrasi dilakukan sebagai tahap pra-perlakuan karena lebih ramah lingkungan, mampu mengurangi pengotor tersuspensi serta tidak memerlukan penambahan bahan kimia tambahan seperti proses esterifikasi.



Gambar 1. Reaksi transesterifikasi minyak jelantah menjadi biodiesel [24]

Reaksi esterifikasi dapat ditulis sebagai asam lemak bebas ditambah alkohol membentuk ester dan air, misalnya $\text{CH}_3\text{COOH} + \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COOCH}_3 + \text{H}_2\text{O}$, sedangkan reaksi transesterifikasi adalah trigliserida bereaksi dengan alkohol membentuk metil ester dan gliserol, contohnya $\text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOCH}_2\text{-CH}(\text{COOC}_{17}\text{H}_{35})\text{-CH}_2\text{COOC}_{17}\text{H}_{35} + 3 \text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3 \text{C}_{17}\text{H}_{35}\text{COOCH}_3 + \text{C}_3\text{H}_8\text{O}_3$. Perbedaan utama antara esterifikasi dan transesterifikasi terletak pada bahan awal dan produk yang dihasilkan; esterifikasi mengubah asam lemak bebas menjadi ester dan air, sedangkan transesterifikasi mengubah trigliserida menjadi biodiesel dan gliserol. Oleh karena itu, mikrofiltrasi dipilih sebagai tahap pra-perlakuan

untuk membersihkan minyak bekas penggorengan sebelum transesterifikasi, sehingga proses biodiesel menjadi lebih efisien, aman, dan menghasilkan produk berkualitas tinggi.

Penelitian yang relevan menggunakan pelarut metanol dengan konsentrasi katalis NaOH 0,5 %, 1,0 % dan 1,5 %, hasil penelitian menunjukkan pada penggunaan katalis NaOH konsentrasi 1,5 % pada suhu 50 °C selama 90 menit menghasilkan biodiesel dengan kualitas terbaik, ditunjukkan dari nilai angka asam dan viskositas memenuhi Standar Nasional Indonesia (SNI) [25]. Oleh karena itu, terdapat kemungkinan bahwa peningkatan konsentrasi katalis NaOH di atas 1,5 % berpotensi mempengaruhi reaksi transesterifikasi, sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan konsentrasi optimum yang menghasilkan biodiesel berkualitas tinggi. Peneliti terdahulu menunjukkan bahwa dengan konsentrasi katalis 2 % menghasilkan persentase *yield* biodiesel tertinggi sebesar 92,65 % [26]. Konsentrasi tersebut dipilih berdasarkan pertimbangan efektivitas reaksi dalam memutus ikatan trigliserida dalam minyak. Selanjutnya, katalis sodium etoksida dan sodium metoksida direaksikan dengan minyak hasil mikrofiltrasi sebagai bahan utama dalam menghasilkan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi.

Metode pemurnian biodiesel umumnya menggunakan pencucian air (*wet washing*) sebagaimana dilaporkan pada penelitian sebelumnya [27], menunjukkan bahwa pencucian basah menjadi tidak efektif pada biodiesel dengan FFA ≥ 4 menyebabkan pembentukan emulsi dan peningkatan kadar air air melebihi batas maksimum ASTM D6751 (0,05 %), sehingga menurunkan kualitas biodiesel. Oleh karena itu, metode *wet washing* yang umumnya digunakan untuk pembuatan biodiesel dinilai kurang sesuai untuk biodiesel berbahan baku minyak jelantah dengan potensi FFA tinggi dan *dry washing* menggunakan adsorben menjadi alternatif, metode *dry washing* dilakukan dengan menambahkan *bleaching earth* (adsorben) sebanyak 1 % (b/v). Penambahan *bleaching earth* ini didasari pada penelitian [23] untuk pemurnian biodiesel, sehingga didapatkan pure biodiesel.

Penelitian ini adalah studi komparatif yang komprehensif antara pelarut natrium metoksida dan natrium etoksida konsentrasi 2% sebagai katalis pada transesterifikasi biodiesel dari limbah minyak penggorengan ayam. Penelitian ini secara bertahap mengevaluasi pengaruh durasi reaksi transesterifikasi selama 30, 60, 90, 120 dan 150 menit pada suhu 50 °C terhadap konversi metil ester dan kualitas biodiesel yang belum banyak dilaporkan di literatur saat ini. Pemilihan durasi transesterifikasi tersebut didasari dari penelitian [28] yang menghasilkan waktu optimum transesterifikasi pada 90-120 menit, dengan massa jenis dan viskositas yang memenuhi standar SNI. Penelitian ini mengkaji kualitas biodiesel berdasarkan parameter densitas, kadar air, angka asam serta komposisi metil ester menggunakan *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)* dari limbah minyak bekas penggorengan ayam.

II. METODE

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dikerjakan selama 6 bulan yang dilaksanakan pada bulan Juni - Desember 2025, di Laboratorium Analisa Pangan, Program Studi Teknologi Pangan, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dan Laboratorium FMIPA Terpadu, Universitas Udayana.

2.2 Alat dan Bahan Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah vial kaca, erlenmeyer, kaca arloji, beaker glass, hotplate stirrer magnetic merek *Accuhance*, buret, statif, klem, pipet tetes, timbangan analitik merek Ohaus, thermometer digital merek Taffware, bunsen, corong buncher, mesin vakum merek Value, *waterbath* merek Memmert, *Gas Chromatography-Mass Spectroscopy (GC-MS)*, pipet ukur, bola hisap merek Vitlab, *filter paper* Whatman No. 42 (ukuran pori 2,5 μm) dan aluminium foil.

Bahan utama yang digunakan pada penelitian ini yaitu minyak bekas penggorengan ayam dengan 8 kali penggorengan. Pemilihan minyak dengan delapan kali penggorengan didasarkan pada perubahan karakteristik fisik minyak jelantah dilihat dari perubahan warna yang gelap. Sedangkan bahan kimia yang digunakan antara lain etanol 95% merek Bratachem, methanol 99% merek RCI Labscan, NaOH merek Kanto Chemical, KOH merek Kanto Chemical, *bleaching earth*, Indikator PP (Phenolphthalein) merek ROFA dan aquades merek Bratachem.

2.3 Rancangan Percobaan

Penelitian ini menggunakan rancangan acak kelompok (RAK) sederhana dengan dua faktor perlakuan yaitu perbedaan jenis pelarut (natrium metoksida dan natrium etoksida) dan durasi transesterifikasi (30, 60, 90, 120, 150). Didapatkan 10 perlakuan dan diulang 3 kali, maka diperoleh 30 unit percobaan. Data yang diperoleh dari pengamatan dianalisis dengan *analysis of variance (ANOVA)*, apabila terdapat perbedaan nyata dilanjutkan dengan uji BNJ signifikansi 5%. Penelitian ini dimulai dengan tahap mikrofiltrasi lalu transesterifikasi kemudian *settling* dan pemurnian hingga didapatkan pure biodiesel. Pure biodiesel diuji secara fisik dan kimia, pengujian fisik meliputi densitas dan kadar air sedangkan uji kimia mencakup penentuan angka asam. Perlakuan terbaik

berdasarkan hasil uji fisik dan kimia selanjutnya di analisis menggunakan GC-MS untuk menentukan kandungan metil ester pada biodiesel serta mengidentifikasi perlakuan yang menghasilkan presentase metil ester tertinggi.

2.4 Produksi Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas

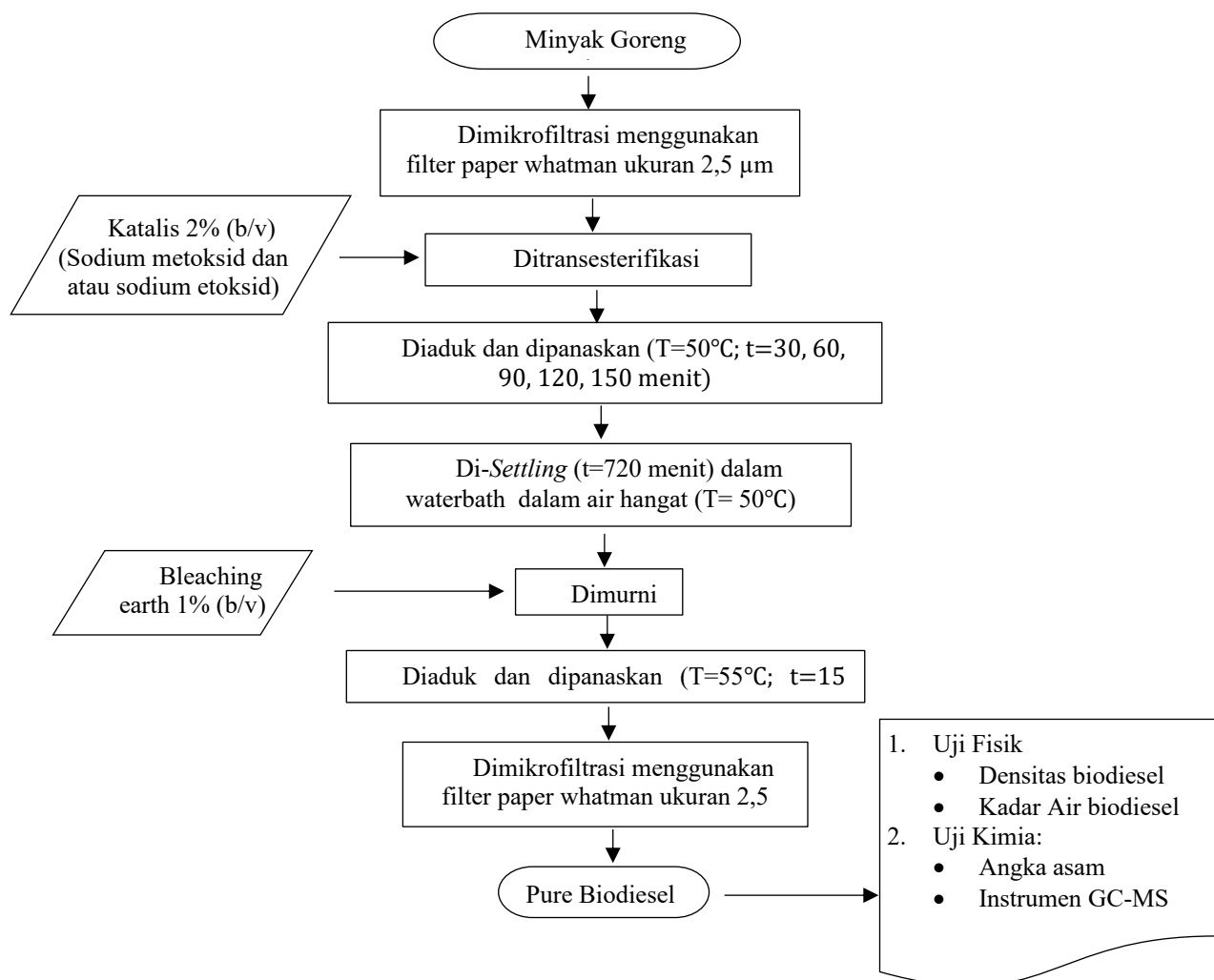
Minyak bekas penggorengan ayam yang telah digunakan sebanyak delapan kali siklus penggorengan dikumpulkan sebagai bahan baku penelitian. Minyak jelantah tersebut dianalisis terlebih dahulu densitas, kadar air, kandungan asam lemak bebas dan angka asam. Selanjutnya, dilakukan proses mikrofiltrasi menggunakan kertas saring Whatman No. 42 dengan ukuran pori 2,5 μm . Proses mikrofiltrasi bertujuan untuk menghilangkan zat pengotor fisik, partikel tersuspensi serta sisa bahan pangan hasil penggorengan, sehingga diperoleh minyak filtrat yang jernih dan homogen [19]. Minyak hasil mikrofiltrasi kemudian digunakan sebagai bahan baku pada tahap transesterifikasi.

Pre-treatment minyak bekas penggorengan ayam menggunakan mikrofiltrasi karena proses esterifikasi yang umumnya digunakan dalam pembuatan biodiesel menghasilkan air sebagai produk samping reaksi, keberadaan air ini dapat mengganggu kesetimbangan reaksi transesterifikasi basa apabila tidak dihilangkan, karena dapat memicu pembentukan kembali asam lemak bebas dan reaksi saponifikasi [29]. Berbeda dengan esterifikasi, mikrofiltrasi tidak menghasilkan produk samping berupa air, sehingga mikrofiltrasi lebih efisien sebagai tahap pra-perlakuan biodiesel sebelum proses transesterifikasi.

Pada proses transesterifikasi digunakan dua jenis pelarut, yaitu natrium etoksida konsentrasi 2 % dan natrium metoksida konsentrasi 2 %. Natrium etoksida disiapkan melalui pelarutan Natrium Hidroksida (NaOH) sebanyak 2 gr dalam etanol 95 % sebanyak 100 mL, sedangkan natrium metoksida dibuat dengan melarutkan NaOH sebanyak 2 gr dalam methanol 96 % sebanyak 100 mL. Kedua larutan tersebut digunakan sebagai katalis basa sekaligus pelarut dalam proses konversi minyak menjadi biodiesel. Konsentrasi yang digunakan adalah 2 % (b/v) terhadap minyak. Selanjutnya, larutan natrium etoksida dan natrium metoksida direaksikan dengan minyak hasil mikrofiltrasi sebagai bahan utama dalam menghasilkan biodiesel melalui reaksi transesterifikasi.

Transesterifikasi minyak hasil mikrofiltrasi dilakukan pada suhu konstan 50 °C dengan durasi 30 hingga 150 menit (interval 30 menit) menggunakan larutan katalis untuk mencapai hasil optimal. Setelah proses transesterifikasi selesai, campuran reaksi selanjutnya didiamkan melalui proses settling menggunakan waterbath pada suhu 50 °C selama 12 jam [30], di mana kondisi suhu hangat dapat membantu mempercepat pemisahan secara gravitasi dibandingkan pada suhu ruang. Tahap ini bertujuan untuk memisahkan dua fase yang terbentuk, yaitu fase atas berupa metil ester (biodiesel) dan fase bawah berupa gliserol. Fase biodiesel kemudian dipisahkan secara hati-hati dan dilanjutkan dengan proses pemurnian menggunakan metode dry washing yaitu bleaching earth (adsorben) sebanyak 1 % (b/v).

Proses pemurnian dilakukan dengan pemanasan pada suhu 55 °C selama 15 menit, pemurnian bertujuan untuk mengadsorpsi sisa pengotor, zat warna dan senyawa polar yang masih terkandung dalam biodiesel. Setelah proses pemurnian selesai, campuran biodiesel dan bleaching earth di mikrofiltrasi kembali menggunakan kertas saring Whatman No. 42 ukuran pori 2,5 μm untuk memisahkan adsorben dari biodiesel. Hasil akhir yang diperoleh berupa biodiesel murni (pure biodiesel) yang siap untuk dilakukan pengujian fisik dan kimia. Prosedur pembuatan biodiesel dari limbah minyak bekas penggorengan ayam dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Diagram alir pembuatan biodiesel dari limbah minyak bekas penggorengan ayam

2.5 Parameter yang Diamati

Parameter yang diamati meliputi densitas, kadar air, angka asam serta analisis GC-MS yang dilakukan mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015) [18], karena parameter tersebut memiliki keterkaitan langsung dengan sifat fisikokimia biodiesel dalam menentukan kualitasnya sebagai bahan bakar terbarukan.

2.6 Densitas

Densitas merupakan ukuran massa suatu benda per-satuan volumenya dengan satuan kilogram per meter kubik (kg/m^3) atau gram per sentimeter kubik (g/cm^3) [31]. Menurut [32] densitas sampel diukur menggunakan piknometer yang telah dikalibrasi. Prosedur meliputi penimbangan piknometer kosong dan penimbangan piknometer berisi sampel pada suhu konstan, yang kemudian dikonversi menjadi nilai massa jenis (g/cm^3). Secara matematis, perhitungan massa jenis dirumuskan sebagai berikut:

$$\rho = \frac{W_t - W}{V} \quad (1)$$

Perhitungan massa jenis dilakukan dengan membagi selisih antara massa berisi sampel (W_t) dan massa piknometer kosong (W) dengan volume total sampel (V). selisih dari ($W_t - W$) merepresentasikan massa bersih dari biodiesel yang diukur.

2.7 Kadar Air

Kadar air ialah parameter penting dalam penentuan kualitas biodiesel, peningkatan kadar air secara signifikan akan menurunkan mutu bahan bakar pada biodiesel. Kadar air yang melebihi ambang batas SNI 7182:2015 yaitu 0,05 % (500 mg/kg) beresiko memicu korosi komponen serta kerusakan ketika digunakan sebagai bahan bakar pada mesin [33]. Pengukuran kadar air biodiesel menggunakan metode karl fischer, dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Kadar Air (\%)} = (VxFx100)/W \quad (2)$$

Dimana V Adalah volume reagen KF (mL), F Adalah factor reagen (mg air/mL reagen) dan W Adalah berat sampel (mg).

2.8 Angka Asam

Angka asam adalah parameter kualitas yang menunjukkan kualitas serta potensi korosi yang ditimbulkan oleh bahan bakar. Sebanyak 10 g sampel ditimbang dan dimasukkan dalam erlenmeyer 100 mL, kemudian ditambahkan 25 mL etanol 95 %. Sampel dipanaskan hingga mendidih, digoyang kuat untuk melarutkan asam lemak. Selanjutnya, larutan ditambahkan 3 tetes indikator fenolftalein dan dititrasi menggunakan KOH 0,1 N hingga terbentuk warna merah muda stabil yang tidak hilang selama 30 detik [34]. Rumus perhitungan angka asam sebagai berikut:

$$\text{Acid Number} = \frac{V_{KOH} \times N_{KOH} \times 56,1}{\text{sample weight}} \quad (3)$$

2.9 Komposisi Metil Ester Berdasarkan Pengukuran *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*

Berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015), salah satu kriteria utama mutu biodiesel adalah kandungan metil ester, dengan nilai minimal yang ditetapkan sebesar 96,5 % guna menjamin kualitas dan performa bahan bakar yang dihasilkan, yang sejalan dengan standar ASTM D6751 atau EN 14214 [35].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Mikrofiltrasi Terhadap Sifat Fisikokimia Minyak Goreng Bekas

Minyak bekas penggorengan ayam yang diperoleh dari proses penggorengan berulang dilakukan analisis fisikokimia meliputi densitas, kadar air, asam lemak bebas (FFA) dan angka asam. Minyak kemudian dimurnikan melalui tahap mikrofiltrasi menggunakan kertas saring Whatman No. 42.



Gambar 3. Perbedaan minyak jelantah setelah dan sebelum mikrofiltrasi

Sifat fisikokimia minyak hasil mikrofiltrasi, meliputi densitas, kadar air, asam lemak bebas (FFA) dan angka asam, selanjutnya dianalisis untuk membandingkan karakteristik yang dihasilkan. Analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi kelayakan minyak bekas tersebut sebagai bahan baku sebelum dikonversi menjadi biodiesel.

Tabel 2. Perbandingan sifat fisikokimia minyak sebelum dan setelah mikrofiltrasi

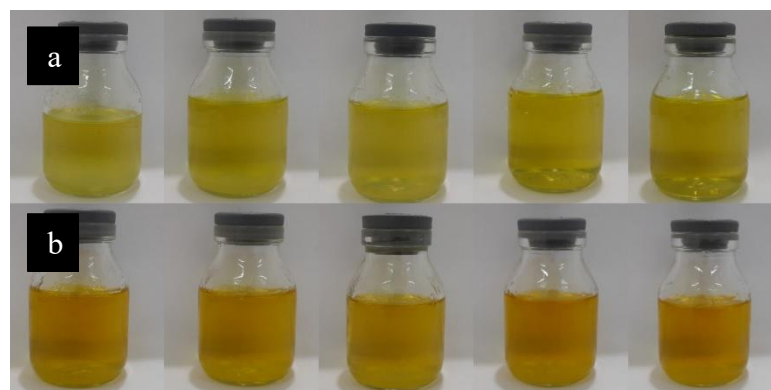
Sampel Minyak	Densitas (g/cm^3)	Kadar Air (%)	Angka Asam (mg-KOH/g)
Sebelum Mikrofiltrasi	0.9433	0.0022	0.9144
Setelah Mikrofiltrasi	0.8686	0.0006	0.4108

Berdasarkan data hasil pengamatan, seluruh parameter uji mengalami penurunan nilai setelah proses mikrofiltrasi. Hal ini mengindikasikan bahwa minyak mengalami perbaikan kualitas dari sebelum mikrofiltrasi. Nilai densitas minyak mengalami penurunan dari 0,9433 (g/cm^3) sebelum mikrofiltrasi menjadi 0.8686 (g/cm^3) setelah mikrofiltrasi. Kadar air minyak juga mengalami penurunan dari 0,0022 % menjadi 0,0006 % setelah proses mikrofiltrasi. Nilai angka asam juga mengalami penurunan dari 0,9144 % menjadi 0,4108 % setelah mikrofiltrasi. Mikrofiltrasi menurunkan nilai angka asam karena mampu mengurangi kandungan asam lemak bebas (ALB) melalui pemisahan fisik partikel pengotor, senyawa oksidasi dan emulsi air yang terdapat dalam minyak bekas penggorengan ayam. Dengan berkurangnya komponen tersebut, jumlah ALB menurun sehingga angka asam ikut berkurang. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses mikrofiltrasi memberikan pengaruh nyata terhadap peningkatan kualitas minyak bekas penggorengan ayam. Sejalan dengan penelitian [19] yang melaporkan bahwa minyak jelantah setelah pemurnian mengalami perubahan fisikokimia, ditandai dengan bau yang kembali normal serta angka asam dan bilangan peroksida yang memenuhi standar SNI.

Mikrofiltrasi menggunakan kertas saring Whatman No. 42 efektif dalam memperbaiki sifat fisikokimia minyak bekas penggorengan ayam. Minyak hasil mikrofiltrasi menunjukkan karakteristik yang baik untuk digunakan sebagai bahan baku biodiesel, khususnya dalam menurunkan kadar air, FFA dan angka asam yang berpotensi menghambat proses konversi biodiesel.

Hasil dan Kualitas Biodiesel pada Pelarut dan Durasi Transesterifikasi yang Berbeda

Proses transesterifikasi merupakan tahapan setelah proses mikrofiltrasi yang sangat dipengaruhi oleh jenis pelarut katalik dan durasi transesterifikasi. Pada penelitian ini, biodiesel disintesis menggunakan dua jenis pelarut berbasis alkoksida, yaitu natrium metoksida dan natrium etoksida, dengan durasi transesterifikasi 30, 60, 90, 120 dan 150 menit. Variasi durasi tersebut ditetapkan untuk mengevaluasi pengaruh kinetika transesterifikasi terhadap tingkat konversi trigliserida serta kualitas biodiesel yang dihasilkan [36].



Gambar 4. (a) biodiesel pelarut natrium metoksida berurutan kiri ke kanan durasi 30 - 150 menit dan (b) biodiesel pelarut natrium etoksida berurutan kiri ke kanan durasi 30 - 150 menit

Kualitas biodiesel yang diperoleh dievaluasi berdasarkan parameter fisikokimia meliputi densitas, kadar air, dan angka asam. Parameter-parameter ini digunakan sebagai parameter keberhasilan reaksi transesterifikasi serta kestabilan produk biodiesel, mengingat nilai FFA dan angka asam yang tinggi dapat mengindikasikan reaksi yang tidak sempurna atau terjadinya reaksi samping seperti hidrolisis dan saponifikasi.

Tabel 3. Data hasil pengamatan fisikokimia pada biodiesel

Pelarut	Parameter Uji	Durasi Transesterifikasi (menit)				
		30	60	90	120	150
Natrium Metoksida	Densitas	0.8462 ^a	0.8450 ^a	0.8438 ^a	0.8877 ^b	0.8871 ^b
	Kadar Air	0.0004 ^c	0.0004 ^d	0.0003 ^c	0.0002 ^b	0.0000 ^a
	Angka Asam	0.2980 ^a	0.2801 ^a	0.2797 ^a	0.3173 ^a	0.3548 ^a
Natrium Etoksida	Densitas	0.8732 ^a	0.8732 ^a	0.8692 ^a	0.9144 ^b	0.9100 ^b
	Kadar Air	0.0034 ^d	0.0032 ^c	0.0030 ^b	0.0032 ^a	0.0028 ^a
	Angka Asam	0.6171 ^{ab}	0.5966 ^{ab}	0.5553 ^a	0.7094 ^{ab}	0.746 ^b

Densitas

Densitas biodiesel ditentukan menggunakan metode piknometri, hasil pengukuran yang diperoleh selama penelitian dirangkum pada tabel 3. Biodiesel menggunakan pelarut natrium metoksida menunjukkan nilai densitas yang lebih rendah dibandingkan dengan biodiesel yang menggunakan pelarut natrium etoksida. Berdasarkan Tabel 3, durasi transesterifikasi 90 menit menggunakan natrium metoksida adalah titik optimum dalam proses transesterifikasi, karena menghasilkan densitas terendah sebesar $0.8438 \text{ (g/cm}^3\text{)}$. Penggunaan natrium etoksida tidak hanya menghasilkan densitas yang lebih tinggi, tetapi juga lebih rentan terhadap ketidakstabilan reaksi pada durasi yang lebih lama (di atas 90 menit). Hal ini menunjukkan bahwa biodiesel dengan pelarut natrium metoksida memiliki efektivitas yang lebih tinggi dalam mengonversi trigliserida menjadi metil ester daripada biodiesel dengan pelarut natrium etoksida.

Densitas biodiesel dengan pelarut natrium metoksida mengalami penurunan nilai pada durasi transesterifikasi 30 hingga 90 menit, kemudian meningkat pada durasi 120 dan 150 menit. Sementara itu pada natrium etoksida menghasilkan densitas biodiesel yang relatif lebih tinggi dan cenderung meningkat seiring bertambahnya durasi transesterifikasi, terutama pada durasi 120 dan 150 menit. Hal ini sejalan dengan penelitian [37] bahwa lamanya durasi transesterifikasi menunjukkan penurunan nilai densitas pada biodiesel dengan durasi 30-90 menit. Diperkuat dengan penelitian sebelumnya oleh [38] bahwa durasi transesterifikasi yang terlalu lama dapat memicu reaksi samping seperti penyabunan dan degradasi metil ester, sehingga meningkatkan kandungan zat non metil ester dalam biodiesel yang berpengaruh terhadap massa jenis biodiesel. Peningkatan densitas ini disebabkan oleh terbentuknya reaksi samping atau terjadinya kesetimbangan reaksi, sehingga tidak seluruh trigliserida terkonversi secara optimal menjadi metil ester.

Kadar Air

Pengukuran kadar air biodiesel menggunakan metode Karl Fischer menunjukkan hasil sebagaimana disajikan Tabel 3. Berdasarkan data pada tabel tersebut, menunjukkan hubungan antara durasi transesterifikasi terhadap kadar air yang dihasilkan menggunakan pelarut natrium metoksida dan natrium etoksida. Pada durasi 30 hingga 150 menit menyebabkan penurunan kadar air pada biodiesel dengan dua pelarut, kadar air biodiesel dengan pelarut natrium metoksida memiliki kadar air yang lebih rendah dari biodiesel dengan pelarut natrium etoksida, dengan kecenderungan nilai yang menurun hingga mendekati nol pada durasi transesterifikasi 150 menit.

Kadar air yang lebih tinggi pada penggunaan natrium etoksida disebabkan oleh sifat etanol yang lebih higroskopis dan memiliki rantai karbon lebih panjang dibandingkan metanol, sehingga cenderung mempertahankan kandungan air lebih besar dalam produk biodiesel. Penurunan kadar air sejalan dengan penelitian [39], durasi transesterifikasi yang optimum dengan proses pemurnian yang baik, menghasilkan biodiesel dengan kadar air rendah sesuai standar SNI. Kadar air yang rendah sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap kestabilan penyimpanan biodiesel dan pengurangan risiko reaksi hidrolisis selama penyimpanan. Oleh karena itu, berdasarkan tren grafik dan nilai R^2 , penggunaan natrium metoksida dengan durasi transesterifikasi yang lebih lama menunjukkan kinerja yang lebih optimal dalam menghasilkan biodiesel berkadar air rendah.

Angka Asam

Pengujian angka asam biodiesel dilakukan menggunakan metode titrasi asam-basa, dengan hasil sebagaimana disajikan pada Tabel 3. Berdasarkan tabel tersebut, biodiesel yang dihasilkan menggunakan natrium metoksida menunjukkan nilai angka asam yang lebih rendah dibandingkan dengan natrium etoksida, yang menandakan kualitas biodiesel yang lebih baik dalam menekan kandungan angka asam. Biodiesel dengan pelarut natrium metoksida memiliki nilai angka asam biodiesel lebih rendah dan stabil pada durasi transesterifikasi 30–90 menit, dengan nilai 0,280–0,298 mg KOH/g. Grafik menunjukkan penurunan hingga mencapai titik minimum pada 60–90 menit, kemudian mengalami peningkatan pada durasi transesterifikasi yang lebih lama (120–150 menit) menjadi 0,317 dan 0,355 mg KOH/g. Kenaikan ini menunjukkan bahwa reaksi telah melewati kondisi optimum dan berpotensi mengalami reaksi hidrolisis atau reaksi balik, terutama akibat pengaruh sisa air atau penurunan efektivitas katalis seiring bertambahnya durasi reaksi.

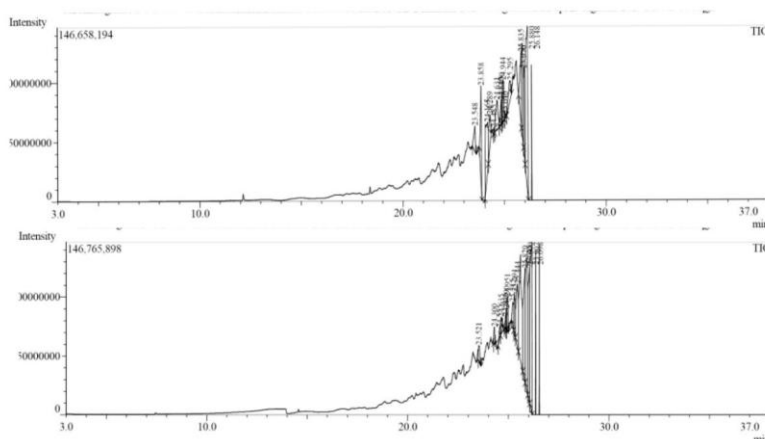
Hubungan antara durasi transesterifikasi dan angka asam pada biodiesel dengan pelarut natrium etoksida ditunjukkan oleh nilai regresi sebesar 0,8071, yang mengindikasikan korelasi kuat, tetapi tidak sekuat pada biodiesel dengan pelarut natrium metoksida. Hal ini menunjukkan bahwa selain durasi transesterifikasi, faktor lain seperti kandungan air, laju pemisahan fase, dan stabilitas katalis turut mempengaruhi peningkatan angka asam pada biodiesel. Hal ini sejalan dengan penelitian [40] bahwa semakin lama durasi transesterifikasi, yield biodiesel semakin menurun dan angka asam yang semakin meningkat. Nilai angka asam terendah diperoleh pada penggunaan natrium metoksida dengan durasi transesterifikasi 90 menit, yang menunjukkan kondisi ini paling optimal dalam menghasilkan biodiesel dengan kandungan angka asam minimal.

Secara keseluruhan, parameter mutu biodiesel yang meliputi densitas, kadar air dan angka asam menunjukkan bahwa jenis pelarut katalitik dan durasi transesterifikasi berpengaruh nyata terhadap kualitas biodiesel yang

dihasilkan. Penggunaan natrium metoksida pada durasi transesterifikasi yang optimal (90 menit) menghasilkan biodiesel dengan densitas yang lebih stabil, kadar air yang lebih rendah, serta angka asam yang lebih kecil dibandingkan natrium etoksida. Kondisi ini mengindikasikan bahwa konversi trigliserida berlangsung lebih efektif dan reaksi samping dapat diminimalkan, sehingga mutu biodiesel yang dihasilkan sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015).

Komposisi Metil Ester Berdasarkan Pengukuran *Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)*

Analisis komposisi biodiesel dilakukan menggunakan GC-MS, dengan hasil kromatogram dan tabel kuantitatif masing-masing sampel yang menunjukkan kondisi perlakuan terbaik berdasarkan parameter fisikokimia pada durasi transesterifikasi 90 menit, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Hasil *GC-MS* biodiesel dengan natrium metoksida (atas) dan hasil *GC-MS* biodiesel dengan natrium etoksida (bawah)

Kromatogram (atas) pada sampel memperlihatkan puncak-puncak utama pada rentang durasi retensi sekitar 23–26 menit, yang merupakan karakteristik senyawa metil ester asam lemak (FAME) sebagai komponen utama biodiesel. Dalam reaksi transesterifikasi menggunakan natrium metoksida, trigliserida dari minyak bereaksi dengan metanol untuk membentuk metil ester. Terlihat adanya kenaikan grafik dari menit ke 15 hingga 25 menunjukkan bahwa proses transesterifikasi telah berhasil mengubah trigliserida menjadi metil ester. Kromatogram (bawah) pada sampel memperlihatkan puncak-puncak utama pada rentang durasi retensi sekitar 23–27 menit, yang merupakan karakteristik senyawa etil ester asam lemak (FAEE). Terdapat kenaikan garis kromatogram yang tinggi dari menit ke 15, hasil kromatogram ini mengindikasikan reaksi transesterifikasi secara masif. Sifat etanol yang lebih higroskopis serta laju reaksi yang lebih lambat dibandingkan metanol dapat berpengaruh terhadap efisiensi reaksi yang lebih rendah dan pemisahan fase yang kurang sempurna. Jika dikaitkan dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015), biodiesel disyaratkan memiliki kandungan metil ester minimal 96,5% (b/b).

Tabel 4. Tabel Kandungan metil ester pada biodiesel pelarut natrium metoksida

Quantitative Result Table						
ID#	Name	R.Time	m/z	Area	Height	Conc.Conc.U n
1	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)- (CAS)	23.548	55.00	7774403	1734955	3.300%
2	17-Octadecenoic acid, methyl ester, (CAS) ME	23.858	74.00	27181023	8096504	11.538%
3	9-Octadecenoic acid (Z)- methyl ester (CAS)	24.166	55.00	13997089	3462217	5.942%
4	7-Octadecenoic acid, methyl ester, (CAS) MEI	24.289	55.00	15774779	1899938	6.696%
5	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (CAS) MEI	24.560	55.00	4286930	679071	1.820%
6	9-Octadecenoic acid (Z)- methyl ester	24.650	55.00	5711636	1427653	2.424%
7	9-Octadecenoic acid (Z)- methyl ester	24.840	55.00	4925302	1368425	2.091%
8	METHYL 9,9-DIDEUTERO-OCTADECAN(24.875	55.00	5042837	1712000	2.141%
9	9-Octadecenoic acid (Z)- methyl ester (CAS)	24.943	55.00	10084496	2488668	4.281%
10	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (CAS) MEI	24.943	55.00	9758237	2419461	4.142%
11	6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	25.276	55.00	9297254	1781450	3.947%
12	6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	25.882	41.00	23415851	3656927	9.940%
13	6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS)	25.882	41.00	23415851	3656927	9.940%

14	9-Octadecenoic acid (Z)- methyl ester (CAS)	25.970	41.00	16278683	3714454	6.910%
15	7-Octadecenoic acid, methyl ester	26.148	55.00	58636627	7871072	24.890%

Tabel 5. Tabel Kandungan metil ester pada biodiesel pelarut natrium etoksida

Quantitative Result Table						
ID#	Name	R.Time	m/z	Area	Height	Conc.Conc.U n
1	11-Octadecenoic acid, methyl ester	23.552	55.00	6490892	1292899	3.311%
2	8-Octadecenoic acid, methyl ester	24.303	55.00	4237967	1226025	2.162%
3	9-Octadecenoic acid, methyl ester	24.555	55.00	1100563	331879	0.561%
4	9-Octadecenoic acid (Z)- methyl ester	24.555	55.00	1100563	331879	0.561%
5	9-Octadecenoic acid (Z)- methyl ester	24.950	55.00	7424182	2155353	3.787%
6	11-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	24.950	55.00	7424182	2155353	3.787%
7	9-Octadecenoic acid, methyl ester (CAS) MEI	24.950	55.00	6782622	2017061	3.460%
8	11-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	25.195	55.00	4924671	702300	2.512%
9	6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	25.294	55.00	1750612	1148789	0.893%
10	7-Octadecenoic acid, methyl ester	25.445	41.00	6194116	1227260	3.160%
11	Hexadecanoic acid, ethyl ester (CAS) Ethyl pa	25.592	88.00	13769377	4584563	7.024%
12	7-Octadecenoic acid, methyl ester (CAS) MEI	25.909	41.00	74996298	5859710	38.257%
13	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	25.909	41.00	45109925	4638126	23.012%
14	6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)-	26.045	41.00	10379780	5825344	5.295%
15	6-Octadecenoic acid, methyl ester, (Z)- (CAS)	26.348	55.00	4345673	5704728	2.217%

Pada biodiesel dengan katalis natrium metoksida, seluruh produk yang teridentifikasi didominasi oleh metil ester (FAME). Ini konsisten secara kimia karena NaOCH_3 berada dalam sistem metanol sehingga gugus $-\text{OCH}_3$ dan menghasilkan metil ester sebagai produk akhir. Hasil GC-MS menunjukkan dominasi senyawa metil ester dengan persentase total 97,895% menunjukkan bahwa reaksi transesterifikasi berlangsung sempurna. Tingginya kandungan metil ester ini sejalan dengan hasil pengujian sebelumnya [38] yang menunjukkan nilai FFA, angka asam, dan kadar air yang rendah, sehingga pembentukan metil ester tidak terganggu oleh reaksi samping. Sebaliknya, pada biodiesel dengan katalis natrium etoksida, meskipun metil ester tetap menjadi komponen utama, terdeteksi keberadaan hexadecanoic acid ethyl ester (FAEE). Kemunculan FAEE ini menunjukkan bahwa gugus etoksida ($-\text{OC}_2\text{H}_5$) ikut berperan dalam mekanisme reaksi dan dapat menghasilkan ester berbasis etil. Dengan demikian, perbedaan jenis alkohol dan alkoksida dalam sistem reaksi secara langsung menentukan jenis ester biodiesel yang dihasilkan. Oleh karena itu, perbandingan FAME dan FAEE dalam penelitian ini tidak hanya menunjukkan perbedaan komposisi produk, tetapi juga implikasi terhadap sifat fisik dan keberlanjutan biodiesel yang dihasilkan.

Berdasarkan SNI 7182:2015 tentang Biodiesel, biodiesel didefinisikan sebagai mono-alkil ester asam lemak rantai panjang dari minyak nabati atau lemak hewani yang memenuhi spesifikasi mutu tertentu. Oleh karena itu, tidak semua turunan metil ester otomatis dapat dikategorikan sebagai biodiesel. Suatu metil ester harus memenuhi persyaratan seperti kadar ester minimum ($\geq 96,5\%$), batas angka asam, kadar air, gliserol total, serta parameter fisik seperti densitas dan viskositas. Jika tidak memenuhi parameter tersebut, maka meskipun secara struktur termasuk metil ester, senyawa tersebut tidak dapat dinyatakan sebagai biodiesel sesuai standar nasional [18].

Dari hasil GC-MS, biodiesel dengan pelarut natrium metoksida menunjukkan kandungan metil ester yang memenuhi persyaratan SNI, ditandai dengan dominasi puncak FAME dan minimnya senyawa non-ester. Sebaliknya, pada biodiesel dengan pelarut natrium etoksida menunjukkan kandungan metil ester dan adanya kandungan etil ester dan senyawa non-ester menunjukkan bahwa kualitas biodiesel yang dihasilkan belum memenuhi standar SNI yaitu 92,976%. Hasil uji GC-MS menegaskan bahwa penggunaan pelarut natrium metoksida menghasilkan biodiesel dengan komposisi metil ester yang lebih dominan dan stabil, yang mendukung hasil pengujian fisikokimia sebelumnya. Hal ini memperkuat kesimpulan bahwa durasi transesterifikasi 90 menit dengan natrium metoksida merupakan kondisi optimum dalam menghasilkan biodiesel berbasis minyak jelantah yang berkualitas dan memenuhi standar mutu biodiesel nasional.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan penelitian sifat fisikokimia biodiesel dari minyak bekas penggorengan ayam, penelitian ini membuktikan bahwa pemilihan jenis pelarut dan durasi transesterifikasi berpengaruh nyata terhadap kualitas biodiesel yang dihasilkan. Proses mikrofiltrasi menggunakan kertas saring Whatman No. 42 efektif dalam memperbaiki kualitas minyak melalui penurunan densitas, kadar air dan angka asam. Hasil transesterifikasi menunjukkan bahwa pelarut natrium metoksida menunjukkan keunggulan dibandingkan pelarut natrium etoksida, khususnya pada durasi 90 menit

yang menghasilkan biodiesel dengan sifat fisikokimia yang optimal dan kandungan metil ester sebesar 97,895% sesuai dengan Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015). Dengan demikian, penelitian ini menekankan bahwa pemilihan pelarut dan durasi reaksi yang tepat merupakan faktor dalam menghasilkan biodiesel dengan kualitas sesuai SNI, sekaligus mendukung pemanfaatan limbah minyak bekas sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan.

REFERENSI

- [1] N. Jannah dan Y. La Daiba, "Analisis Perbandingan Kualitas Minyak Goreng Berdasarkan Parameter Asam Lemak Bebas," *Indonesian Journal of Pharmacy and Natural Product*, vol. 07, no. 1, hal. 16–21, 2024.
- [2] E. Widowati, D. S. N. Reva, S. H. N. Anwar, dan N. R. Chasanah, "Upaya Penanaman Kesadaran Masyarakat tentang Bahaya Minyak Jelantah Melalui Pengolahan Pembuatan Lilin Aromaterapi di Desa Windusari," *Jurnal Puruhita*, vol. 4, no. 2, hal. 48–52, 2022, doi: 10.15294/puruhi.v4i2.63473.
- [3] Erlinawati, S. Effendy, dan E. Margaretty, "Penyuluhan Pengolahan Limbah Minyak Jelantah Menjadi Sabun Di Organisasi Pkk Kelurahan Bukit Baru," *Snaptekmas*, vol. 2, no. 1, hal. 91–93, 2020.
- [4] Santriwati, A. Zainuddin, dan R. Meliahsari, "Analisis Kadar Asam Lemak Bebas Minyak Goreng Jelantah Yang Digunakan Penjual Makanan Jajanan Gorengan Di Sepanjang Jalan H. Abd. Silondae Kecamatan Mandonga Kota Kendari Tahun 2020," *Jurnal Gizi dan Kesehatan Indonesia*, vol. 1, no. 2, hal. 57–64, 2020, doi: 10.37887/jgki.v1i2.17322.
- [5] A. A. Meisyah, S. A. Prayitno, dan S. Ningrum, "Analisis syarat mutu minyak goreng di balai standarisasi pelayanan dan jasa industrri surabaya," *Journal of Food Safety and Processing Technology (JFSPT)*, vol. 2, no. 1, hal. 86–91, 2024, doi: 10.30587/jfspt.v2i1.8295.
- [6] A. Prihanto dan B. Irawan, "Pemanfaatan Minyak Goreng Bekas Menjadi Sabun Mandi," *Metana*, vol. 14, no. 2, hal. 55–59, 2018, doi: 10.14710/metana.v15i1.22966.
- [7] M. Bachtiar *et al.*, "Pemanfaatan Minyak Jelantah untuk Pembuatan Lilin Aromaterapi sebagai Ide Bisnis di Kelurahan Kedung Badak," *Jurnal Pusat Inovasi Masyarakat (PIM)*, vol. 4, no. 2, hal. 210–217, 2022, doi: 10.29244/jpim.4.2.82-89.
- [8] W. Silaban, "Sosialisasi Pemanfaatan Limbah Minyak Jelantah Sebbagai Pupuk Organik Bagi Tanaman Pada Kelompok Ibu Dharma Wanita Dinas PU Kabupaten Simalungun," *Jurnal Pengabdian Masyarakat Sapangambe Manoktok Hitei*, vol. 3, no. 1, hal. 12–15, 2023, doi: 10.36985/t1m06643.
- [9] D. U. Suwarno, W. Widyastuti, B. W. Harini, H. Sriwindono, dan L. Purwoto, "Pemanfaatan Minyak Jelantah sebagai Bahan Bakar Alternatif Ramah Lingkungan pada Kompor Rumah Tangga," in *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XIX Tahun 2024 (ReTII)*, 2024, hal. 83–88.
- [10] I. Y. P. Wiyata dan R. T. W. Broto, "Pembuatan Biodiesel Minyak Goreng Bekas dengan Memanfaatkan Limbah Cangkang Telur Bebek sebagai Katalis CaO," *Jurnal Pengabdian Vokasi*, vol. 2, no. 1, hal. 69–74, 2021, [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/jpv/article/view/11346>
- [11] D. A. Wulandari *et al.*, "Pengolahan Minyak Jelantah Menjadi Biodiesel Sebagai Upaya Pemberdayaan Masyarakat Pesisir," *Prosiding Seminar Nasional Pengabdian kepada Masyarakat*, hal. 316–324, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <http://journal.unj.ac.id/unj/index.php/snppm>
- [12] F. Azhari dan N. P. Miefthawati, "Pemanfaatan Minyak Jelantah Sebagai Pengganti Bahan Bakar Solar dalam Upaya Menurunkan Dampak Gas Rumah Kaca (Studi Kasus: Kota Padang, Sumatera Barat)," *Ruang Teknik Journal*, vol. 8, no. 2, hal. 296–304, 2025.
- [13] A. Kapuji, S. Hadi, dan Z. Arifin, "Proses Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah," *Jurnal Chemtech Teknik Kimia Universitas Serang Jaya*, hal. 1–6, 2017.
- [14] M. A. Al Fayed, M. Dhafir, dan Darwin, "Analisis Rendemen Biodiesel yang Dihasilkan dari Minyak Goreng dengan Metode Elektrokatalis Menggunakan Elektroda Platina," *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, vol. 7, no. 4, hal. 912–916, 2022, doi: 10.17969/jimfp.v7i4.22055.
- [15] N. S. Orchidantya, Mas'udah, dan S. Santosa, "Pengaruh Rasio Katalis CaO-NaOH dan Waktu Reaksi Transesterifikasi Terhadap Kualitas Biodiesel dari Minyak Sawit," *DISTILAT: Jurnal Teknologi Separasi*, vol. 9, no. 3, hal. 330–337, 2023, doi: 10.33795/distilat.v9i3.3154.
- [16] L. P. Lestari, Meriatna, Suryati, Jalaluddin, dan N. Sylvia, "Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak Kepyar (Castor Oil) Terhadap Metil Ester dengan Menggunakan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit," *Chemical Engineering Journal Storage*, vol. 1, no. 2, hal. 64–80, 2021.
- [17] L. Laila dan L. Oktavia, "Kaji Eksperimen Angka Asam dan Viskositas Biodiesel Berbahan Baku Minyak Kelapa Sawit dari PT Smart Tbk.," *Jurnal Teknologi Proses Dan Inovasi Industri*, vol. 2, no. 1, hal. 27–31, 2017.
- [18] Badan Standarisasi Nasional, "Standar Nasional Indonesia (SNI) Biodiesel 7182:2015." [Daring]. Tersedia pada: <https://www.scribd.com/document/686952102/Biodiesel-SNI-7182-2015-Standar-Nasional-Indonesia>
- [19] A. A. I. S. Yusuf, S. R. Sultan, dan S. Diana, "Pemurnian Minyak Jelantah dan Formulasi Sabun Padat Ramah

- Lingkungan dengan Penambahan Eco Enzyme,” *Jurnal Teknologi Kimia Mineral*, vol. 4, no. 1, hal. 8–14, 2025.
- [20] H. Khairiah, F. Fatmayati, dan A. Dhora, “Pemanfaatan Limbah Padat Kelapa Sawit untuk Pemurnian Minyak Goreng Bekas,” *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, vol. 7, no. 1, hal. 460–469, 2024, doi: 10.31004/jutin.v7i1.24720.
- [21] E. Jumiati dan M. Nanda, “Pemurnian Minyak Goreng Jelantah Menggunakan Karbon Aktif Tempurung Kelapa dengan Aktivasi Fisika,” *Jurnal Fisika Unand*, vol. 13, no. 2, hal. 254–260, 2024, doi: 10.25077/jfu.13.2.254-260.2024.
- [22] N. Suleman, Abas, dan M. Papatungan, “Esterifikasi dan Transesterifikasi Stearin Sawit untuk Pembuatan Biodiesel,” *Jurnal Teknik*, vol. 17, no. 1, hal. 66–77, 2019, doi: 10.37031/jt.v17i1.54.
- [23] A. Ernes, P. D. Sari, R. S. Hartati, dan I. N. S. Winaya, “Biodiesel Production From Sardine Flour Used Cooking Oil Using One Step Transesterification Techniques,” *Journal of Applied Agricultural Science and Technology*, vol. 3, no. 2, hal. 289–298, 2019, doi: 10.32530/jaast.v3i2.109.
- [24] K. S. Meidita, “Mengenal Reaksi Esterifikasi-Transesterifikasi pada Pembuatan Biodiesel dari Minyak Jelantah,” *Warstek.com*. Diakses: 20 Maret 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://warstek.com/mengenal-reaksi-esterifikasi-transesterifikasi-pada-pembuatan-biodiesel-dari-minyak-jelantah/>
- [25] P. D. Sari, R. S. Hartati, A. Ernes, dan I. N. S. Winaya, “Effect of Microfiltration and Transesterification on Viscosity and Composition of Methyl Ester in Biodiesel,” *International Journal of Recent Scientific Research*, vol. 9, no. 11, hal. 29523–29526, 2018, doi: 10.24327/IJRSR.
- [26] A. D. Chandrika, M. Yerizam, dan A. Meidinariasty, “Effect of Alkaline Catalyst Concentrations and Weight Ratios of Oil to Methanol on the Biodiesel Production From Waste Cooking Oil,” *Indonesian Journal of Chemical Science*, vol. 12, no. 3, hal. 245–254, 2023, [Daring]. Tersedia pada: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ijcs>
- [27] H. S. Lim, N. M. Hussin, dan G. P. Maniam, “Effect of Free Fatty Acid on Transesterification of Waste Cooking Oil,” *Current Science and Technology*, vol. 3, no. 1, hal. 57–63, 2023, doi: 10.15282/cst.v3i1.10290.
- [28] H. Juniar dan M. I. Rahayu, “Transesterifikasi Biodiesel dari Minyak Biji Kapuk Randu (*Ceiba pentandra* L.) dengan Menggunakan Katalis Titanium Oksida (TiO_3),” *Jurnal Redoks*, vol. 4, no. 2, hal. 17–24, 2019, doi: 10.31851/redoks.v4i2.3505.
- [29] E. Megawati, A. O. P. Putra, N. Effendi, dan Yuniarti, “Optimization of Time in the Esterification Process of Jelantah Oil with ANOVA Analysis,” *Jurnal Kimia dan Pendidikan*, vol. 6, no. 2, hal. 184–196, 2021, doi: 10.30870/educhemia.v6i1.11331.
- [30] Mariono, Wahyudi, dan M. Nadjib, “Pengaruh Densitas Dan Viskositas Terhadap Karakteristik Injeksi Pada Campuran Biodiesel Jatropha-Jelantah,” *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, vol. 7, no. 1, hal. 44–52, 2023.
- [31] A. P. Roshinta, R. Hidayat, S. Saptono, dan B. Dwinagara, “Analisis Korelasi antara Analisis Korelasi antara Massa Jenis dan Kuat Tekan Uniaksial pada Batu Andesit di Kecamatan Bagelen, Kabupaten Purworejo, Jawa Tengah,” in *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri dan Informasi XVII Tahun 2022 (ReTII)*, 2022, hal. 563–567.
- [32] E. Permana, M. Naswir, M. E. T. Sinaga, H. Alfairuz, dan S. S. Murti, “Kualitas Biodiesel Dari Minyak Jelantah Berdasarkan Proses Saponifikasi Dan Tanpa Saponifikasi,” *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, vol. 6, no. 1, hal. 26–31, 2020, doi: 10.31884/jtt.v6i1.244.
- [33] Ridwan, Elfiana, N. R, Y. M, dan Harunsyah, “Pengaruh Suhu dan Bentonit Dalam Produksi Biodiesel Dari Minyak Goreng Produk Teaching Factory Dengan Metode Route Non-Alcohol,” in *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, 2024, hal. 56–61.
- [34] L. C. R. Lika, S. S. Luhtansa, S. B. Blaon, dan R. S. Panjaitan, “Perbandingan Bilangan Asam pada Sampel Minyak Goreng Kemasan dan Curah (Comparison of Acid Numbers in Bulk and Packaged Cooking Oil Samples),” *Indo Journal Pharmmatheutical Research*, vol. 2, no. 2, hal. 22–26, 2023, [Daring]. Tersedia pada: www.jurnal.umsb.ac.id/index.php/IJPR
- [35] S. Oko, Mustafa, A. Kurniawan, Alwathan, dan Rahmadani, “Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Katalis Zeolite Terimpegnasi KOH,” in *Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2024*, 2024, hal. 68–73. doi: 10.31851/redoks.v8i2.12251.
- [36] D. Angelia, G. P. W. Permatasari, dan S. Redjeki, “Kinetics Transesterification Reaction Of Waste Cooking Oil Into Biodiesel With Modified CaO ,” *Jurnal Teknik Kimia*, vol. 16, no. 2, hal. 93–100, 2022.
- [37] Y. S. Arimami, M. Syahrir, dan S. E. Putri, “Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Karakteristik Biodiesel Menggunakan Katalis ZnO/SiO_2 Daun Nanas,” *Jurnal Chemica*, vol. 25, hal. 104–114, 2024.
- [38] L. Adhani, I. Aziz, S. Nurbayti, dan C. O. Oktaviana, “Pembuatan Biodiesel Dengan Cara Adsorpsi Kulit Pisang Kepok Dan Transesterifikasi Dari Minyak Goreng Bekas,” *CHEMTAG Journal of Chemical Engineering*, vol. 2, no. 1, hal. 71–80, 2016, doi: 10.56444/cjce.v3i2.3151.

- [39] P. M. Anisah, Suwandi, dan E. Agustian, "Effect of transesterification on the result of waste cooking oil conversion to biodiesel," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1170, no. 1, hal. 1–10, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/1170/1/012067.
- [40] N. Nurhidayanti, "Studi Kinetika Reaksi Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung Menggunakan Iradiasi Microwave," *Jurnal Tekno Insentif*, vol. 12, no. 2, hal. 1–12, 2018, doi: 10.36787/jti.v12i2.100.

Conflict of Interest Statement:

The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.