EVALUASI UJI KUALITAS BIODIESEL DARI MINYAK JELANTAH MELALUI REAKSI TRANSESTERIFIKASI MENGGUNAKAN NANOKATALIS CaO/MgO

EVALUATION OF QUALITY OF BIODIESEL FROM WASTE COOKING OIL VIA TRANSESTERIFICATION USING CaO/MgO NANOCATALYST

Amartia Cindi Oktaviani[1], Dina Kartika Maharani[1]*, Samik[1]
[1]Department of Chemistry, Faculty of Mathematics and Natural Sciences
Universitas Negeri Surabaya
Jl. Ketintang, Surabaya (60231), Telp. 031-8298761

** Corresponding author, email: dinakartika@unesa.ac.id*

Abstrak. *Sumber bahan bakar utama di dunia saat ini masih didominasi oleh bahan bakar fosil. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini adalah biodiesel. Di Indonesia, produksi minyak kelapa sawit meningkat sebesar 89,8 % sepanjang tahun 2018-2022 sehingga meningkatkan limbah minyak jelantah yang berpotensi sebagai bahan baku biodiesel. Tujuan penelitian ini adalah mengevaluasi kualitas biodiesel yang telah dibuat. Metode pembuatan biodiesel dilakukan menggunakan reaksi transesterifikasi selama 90 menit pada suhu 50° C, rasio metanol dan minyak jelantah sebesar 7:1, berat nanokatalis CaO/MgO 1% (b/b) dari minyak jelantah, serta variasi katalis yaitu MgO, $_{20}$CaO/MgO, $_{30}$CaO/MgO, dan $_{40}$CaO/MgO sebagai variabel bebas. Kualitas biodiesel dievaluasi menggunakan parameter yang meliputi densitas berdasarkan ASTM D1289, viskositas kinematik berdasarkan ASTM D445, angka asam berdasarkan ASTM D664, dan kadar air berdasarkan ASTM 6751. Hasil uji kualitas biodiesel dengan nanokatalis MgO, $_{20}$CaO/MgO, $_{30}$CaO/MgO, dan $_{40}$CaO/MgO menunjukkan telah memenuhi standar dan memiliki yield terbesar pada biodiesel dengan nanokatalis $_{20}$CaO/MgO sebesar 80,10%.*

***Kata kunci**:* **Biodiesel, Nanokatalis CaO/MgO, Minyak Jelantah**

Abstract. *The world's primary energy supply is still predominantly dependent on fossil fuels. One renewable energy source that can be utilized to address this issue is biodiesel. In Indonesia, palm oil production increased by 89.8% during the 2018–2022 period, leading to a rise in the generation of waste cooking oil, which has significant potential as a feedstock for biodiesel production. This study aimed to evaluate the quality of biodiesel produced from waste cooking oil. Biodiesel was synthesized through a transesterification reaction conducted for 90 minutes at 50°C, using a methanol-to-waste cooking oil molar ratio of 7:1, with 1 wt.% CaO/MgO nanocatalyst relative to the weight of the waste cooking oil. The catalyst compositions, namely MgO, $_{20}$CaO/MgO, $_{30}$CaO/MgO, and $_{40}$CaO/MgO, were employed as independent variables. Biodiesel quality was evaluated based on density according to ASTM D1289, kinematic viscosity according to ASTM D445, acid value according to ASTM D664, and water content according to ASTM D6751. The results showed that the biodiesel produced using MgO, $_{20}$CaO/MgO, $_{30}$CaO/MgO, and $_{40}$CaO/MgO nanocatalysts met the required quality standards. Among the catalysts tested, biodiesel synthesized using the $_{20}$CaO/MgO nanocatalyst exhibited the highest yield, reaching 80.10%.*

Key words: Biodiesel, CaO/MgO Nanocatalyst, Waste Cooking Oil

© 2026 Unesa Journal of Chemistry (UJC). This work is licensed under CC 4.0

PENDAHULUAN

Sumber bahan bakar utama di dunia saat ini masih didominasi oleh bahan bakar fosil [1]. Pada tahun 2023, konsumsi bahan bakar fosil secara global sebesar 81,4% dari total energi primer [2]. Penggunaan energi primer dalam sektor transportasi sebesar 54% [3]. Konsumsi energi di sektor ini diperkirakan akan meningkat rata-rata sebesar 1,1% setiap tahunnya. Hal ini mengakibatkan permintaan bahan bakar fosil juga semakin tinggi. Tingginya permintaan bahan bakar fosil untuk memenuhi kebutuhan manusia membawa dampak negatif di antaranya terjadinya ketidakseimbangan ekologis, hujan asam, emisi gas rumah kaca yang berlebih, pemanasan global serta penipisan cadangan bahan bakar fosil secara signifikan. Upaya untuk mengatasi permasalahan ini yaitu dengan sumber energi alternatif atau sumber energi yang dapat diperbaharui [4]. Salah satu sumber energi terbarukan yang dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan ini adalah biodiesel.

Di Indonesia, produksi minyak kelapa sawit meningkat sebesar 89,8 % dalam rentang waktu 2018-2022 [5]. Penggunaan minyak kelapa sawit pada tahun 2022 diperkirakan sebesar 8,04 juta ton [6]. Hal ini mengakibatkan limbah minyak jelantah meningkat. Penanganan minyak jelantah tanpa melalui proses pengolahan terlebih dahulu dan dibuang langsung ke lingkungan dapat menyebabkan dampak negatif bagi rumah tangga dan lingkungan sekitar salah satunya berupa penurunan kualitas air [5]. Salah satu bentuk penanganan limbah minyak jelantah ini yaitu dimanfaatkan sebagai bahan baku produksi biodiesel. Minyak jelantah memiliki harga yang murah jika dibandingkan dengan minyak nabati yang masih baru. Hal ini mendorong produksi biodiesel dengan biaya yang jauh lebih murah serta disaat yang bersamaan juga menyelesaikan permasalahan lingkungan [7].

Biodiesel merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dibuat melalui proses reaksi transesterifikasi. Biodiesel juga dapat dibuat melalui reaksi esterifikasi sebagai *pre-treatment* apabila kadar FFA pada bahan baku diatas 5% [8], [9]. Bahan baku biodiesel dapat berasal dari lemak hewan maupun minyak nabati di mana gugus gliserol pada rantai alifatik diganti dengan rantai pendek alkohol [10], [11], [12]. Biodiesel memiliki kemiripan sifat dengan bahan bakar fosil. Bahkan memiliki beberapa sifat yang lebih unggul jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil seperti nilai setana tinggi, emisi karbon yang lebih rendah, efisiensi pembakarannya tinggi, efek pelumasan yang lebih baik, serta kandungan sulfur yang lebih rendah [13], [14].

Tabel 1. Parameter Kualitas Biodiesel

No	Parameter	Satuan	Nilai	Metode Uji
1	Massa jenis/ Densitas	kg/m^3	850-890	ASTM D 1298
2	Viskositas kinematik	mm^2/s (cSt)	2,3-6,0	ASTM D 445
3	Angka asam	mg-KOH/g, maks	0,80	ASTM D 664
4.	Kadar air	%-massa, maks	0,05	ASTM D 6751

Pada Tabel 1 di atas merupakan beberapa parameter kualitas biodiesel yang ditinjau dan disepakati melalui standar internasional yang diterbitkan oleh *American Society of Testing Materials* (ASTM).

Proses pembuatan biodiesel melalui reaksi transesterfikasi memerlukan katalis untuk mempercepat reaksinya [15]. Katalis berperan dalam suatu reaksi menyediakan suatu mekanisme reaksi yang memiliki energi aktivasi lebih rendah dan pada akhir reaksi katalis akan terbentuk kembali [16]. CaO dan MgO dapat digunakan secara luas sebagai katalis basa heterogen karena mudah digunakan dalam proses sintesis biodiesel, biayanya relatif terjangkau, ketersediaannya melimpah, ramah lingkungan, masa penggunaan katalis yang panjang serta aktivitas katalitiknya yang tinggi [17], [18], [19]. Secara umum kekuatan basa CaO lebih tinggi dibandingkan dengan MgO sehingga *yield* biodiesel menggunakan katalis CaO saja lebih tinggi dibandingkan dengan MgO saja [20]. Namun, CaO memiliki kelemahan yaitu mudah terdeaktivasi karena digunakan pada sistem reaksi dengan bahan baku minyak yang mengandung air, rentan mengalami kelembapan akibat paparan udara, serta berpotensi menyebabkan saponifikasi. Disisi lain, MgO memiliki kelebihan tidak mudah terdeaktivasi pada sistem reaksi dengan bahan baku minyak yang mengandung tinggi air karena memiliki energi kisi tinggi dibandingkan CaO sekitar sehingga tidak mudah reaktif akibat kontak dengan udara, dan tidak mudah menyebabkan

saponifikasi (Du et al., 2019). Oleh karena itu, dalam penelitian ini penggabungan CaO dan MgO dilakukan untuk meningkatkan kualitas katalis CaO dan MgO.

Berdasarkan paparan di atas, dilakukan penelitian mengenai uji kualitas biodiesel berbasis minyak jelantah yang dibuat melalui reaksi transesterifikasi menggunakan nanokatalis CaO/MgO. Evaluasi kualitas biodiesel dilakukan dengan membandingkan data uji terhadap standar biodiesel internasional yang diterbitkan oleh American Society of Testing Materials (ASTM).

METODE PENELITIAN

Bahan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini antara lain akuades, larutan NaOH 1M, etanol 96%, dan metanol yang dibeli dari CV. Jasarendra Jayawisesa, serta indikator pp; KHP; dan larutan KOH 0,1 N merk Mercks. Minyak jelantah yang digunakan diambil secara kolektif dari rumah ke rumah dengan kondisi telah digunakan 3-5 kali siklus penggorengan.

Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian ini seperti gelas kimia, labu ukur, pipet tetes, spatula besi, botol vial kaca bening 100 mL, neraca analitik, magnetic stirrer, tisu, aluminium foil, plastic wrap, tanur, krusibel tanur, kertas pH, plastik klip, labu erlenmeyer, buret, heating mantle, tabung refluks, kondensor, dan termometer.

Prosedur Penelitian

Sintesis Nanokatalis CaO/MgO

Nanokatalis MgO disintesis menggunakan metode sol-gel dengan melarutkan $MgSO_4$ dalam akuades, kemudian ditambahkan NaOH secara tetes demi tetes hingga pH 12 sembari diaduk pada suhu 95° C selama 2 jam [21]. Larutan hasil sintesis didiamkan semalaman untuk proses *aging*, kemudian disaring dan dikeringkan pada suhu 85° C selama 24 jam. Selanjutnya, padatan dikalsinasi pada suhu 650° C selama 2 jam dengan laju pemanasan 10° C/menit untuk mengonversi $Mg(OH)_2$ menjadi MgO. Nanokatalis MgO yang diperoleh kemudian diimpregnasi menggunakan kalsium asetat untuk menghasilkan nanokatalis CaO/MgO dengan komposisi sesuai formulasi yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data formulasi variasi nanokatalis CaO/MgO

Formulasi	Ca-asetat (gram)	MgO (gram)
MgO	0	10
$_{20}$CaO/MgO	2	8
$_{30}$CaO/MgO	3	7
$_{40}$CaO/MgO	4	6

Impregnasi dilakukan dengan menjenuhkan nanokatalis MgO dalam larutan kalsium asetat dan mengaduknya menggunakan *magnetic stirrer* selama 2 jam pada suhu ruang. Sampel kemudian dikeringkan dalam oven pada suhu 100° C selama 24 jam, dilanjutkan dengan kalsinasi pada suhu 900° C selama 1 jam dengan laju pemanasan 10° C/menit untuk mengonversi prekursor kalsium asetat menjadi fase aktif CaO. Setelah ditanur, nanokatalis CaO/MgO dihaluskan menggunakan mortar alu dan disimpan di dalam botol vial yang tertutup rapat.

Sintesis Biodiesel

Sintesis biodiesel dari minyak jelantah dilakukan melalui proses reaksi transesterifikasi. Reaksi dilakukan selama 90 menit pada suhu 50° C menggunakan rasio metanol dan minyak jelantah sebesar 7:1 dan berat nanokatalis CaO/MgO 1% (b/b) dari minyak jelantah sebanyak 100 gram yang ditambahkan pada saat sintesis biodiesel.

Densitas

Piknometer yang kosong dan kering ditimbang menggunakan timbangan analitik sebagai W1. Selanjutnya, piknometer diisi sampel minyak jelantah yang telah dipanaskan pada suhu 40° C dan ditimbang sebagai W2. Densitas biodiesl dapat dihitung menggunakan rumus [22]:

$$\rho = \frac{W2-W1}{V} \times 10^3$$

ρ = densitas (kg/m^3)
W1 = piknometer (g)
W2 = piknometer + sampel (g)
V = volume piknometer (mL)

Viskositas Kinematik

Biodiesel yang telah dipanaskan pada suhu 40° C dimasukkan ke dalam viskometer ostwald kemudian disedot hingga mencapai batas atas. Penghitungan waktu di mana biodiesel turun

dari tanda batas atas (A) dan berhenti ketika mencapai tanda batas bawah (B) dilakukan dengan menggunakan stopwatch. Waktu dicatat dan kemudian dilakukan perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$$Vk = \frac{\eta \text{ sampel}}{\rho \text{ sampel}}$$

$$\eta \text{ sampel} = \eta \text{ air} \times \frac{t \text{ sampel} \times \rho \text{ sampel}}{t \text{ air} \times \rho \text{ air}}$$

η = viskositas dinamis (mPa.s)
η air = 0,652 (mPa.s) dalam 40° C
Vk = viskositas kinematik (cSt)
t = waktu alir (s)
ρ = densitas (kg/m^3)

Angka Asam

Penentuan angka asam diawali dengan menimbang minyak jelantah atau biodiesel sebanyak 20 g di dalam erlenmeyer. Setelah itu, ditambahkan etanol 96% sebanyak 50 mL. Kemudian ditambahkan indikator pp sebanyak 2 mL dan dititrasi dengan larutan KOH 0,1 N hingga terdapat perubahan warna [23]. Angka asam pada biodiesel dapat dihitung menggunakan rumus berikut:

$$\text{Angka Asam} = \frac{V.\ KOH \times N.\ KOH \times Mr\ KOH}{m}$$

Angka asam = mg KOH/g minyak
V = volume KOH (mL)
N KOH = normalitas KOH (N)
Mr KOH = massa molar KOH (56, 1 g/mol)
m = massa biodiesel (g)

Kadar Air

Cawan porselen kosong yang telah dioven ditimbang sebagai W0. Selanjutnya, cawan porselen diisi dengan sampel biodiesel yang ditimbang sebanyak 10 gram sebagai berat W1. Setelah itu, dioven pada suhu 130° C selama 30 menit dan sebagai W2. Kadar air dapat dihiting menggunaan rumus berikut:

$$\text{Kadar air} = \frac{W_1 - W_2}{W_1 - W_0} \times 100\%$$

W0 = berat cawan porselen kosong (g)
W1 = berat cawan porselen + biodiesel sebelum dioven (g)
W2 = berat cawan porselen + biodiesel sesudah dioven (g)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis kualitas biodiesel berbasis minyak jelantah yang telah dibuat melalui reaksi transesterifikasi menggunakan nanokatalis CaO/MgO pada penelitian ini mengacu pada paremeter yang telah ditetapkan internasional oleh *American Society of Testing Materials* (ASTM). Adapun parameter yang digunakan meliputi densitas, viskositas, angka asam, dan kadar air seperti yang tertera pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Data Uji Kualitas Biodiesel

Nanokatalis	Parameter				
	Densitas (kg/m^3)	**Viskositas Kinematik (cSt)**	**Angka Asam (mg KOH/g)**	**Kadar Air (%)**	***Yield* atau rendemen (%)**
MgO	880,973	5,23	0,73	0,0014	71,87
$_{20}$CaO/MgO	885,128	5,22	0,23	0,0013	80,10
$_{30}$CaO/MgO	885,950	3,87	0,38	0,0016	76,76
$_{40}$CaO/MgO	886,795	2,46	0,51	0,0037	69,82
Standar	850-890 (ASTM D1298)	2,3-6,0 (ASTM D445)	Maks 0,8 (ASTM D664)	Maks 0,05 ASTM D6751)	-

Densitas

Pada biodiesel, densitas merupakan perbandingan massa biodiesel dengan volume biodiesel pada suhu dan tekanan yang sama [24]. Densitas yang rendah menunujukkan bahwa konversi trigliserida menjadi metil ester tinggi karena densitas metil ester lebih rendah dibandingkan dengan trigliserida [25]. Berdasarkan standar ASTM D1289, parameter densitas untuk biodiesel berada pada rentang 850-

890 kg/m^3. Pada penelitian ini diperoleh nilai densitas biodiesel yang menggunakan nanokatalis MgO, $_{20}$CaO/MgO, $_{30}$CaO/MgO, dan $_{40}$CaO/MgO masing-masing seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 yang masih berada dalam rentang standar sesuai dengan ASTM D1289.

Beberapa penelitian melaporkan bahwa densitas biodiesel berbasis minyak jelantah dipengaruhi oleh jenis dan komposisi katalis yang digunakan. Miyuranga dkk (2023) memperoleh densitas biodiesel sebesar 869–895 kg/m³ menggunakan katalis $Ba(OH)_2$, CaO, MgO, ZnO, dan $AlCl_3$ [26]. Widayat dkk. (2023) melaporkan densitas sebesar 851–891 kg/m³ pada penggunaan katalis CaO-MgO/Fe_2O_3 dengan berbagai rasio komposisi [27]. Sementara itu, Oko dkk. (2021) menghasilkan biodiesel dengan densitas 860,1–865,2 kg/m³ menggunakan katalis NaOH/CaO/C dari cangkang telur pada variasi konsentrasi katalis 4,5–7,5% [28].

Viskositas Kinematik

Viskositas kinematik adalah salah satu parameter yang digunakan untuk menganalisis kualitas biodiesel. Viskositas yang terlalu rendah dapat menyebabkan keausan pada mesin. Sementara viskositas yang terlalu tinggi dapat menyebabkan pembakaran yang kurang maksimal sehingga terjadi pengendapan yang dapat merusak mesin [29]. Berdasarkan standar ASTM D445, parameter viskositas kinematik untuk biodiesel berada pada rentang 2,3-6,0 cSt. Pada penelitian ini diperoleh nilai viskositas kinematik biodiesel yang menggunakan nanokatalis MgO, $_{20}$CaO/MgO, $_{30}$CaO/MgO, dan $_{40}$CaO/MgO masing-masing seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 yang masih berada dalam rentang standar sesuai dengan ASTM D445.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa viskositas kinematik biodiesel berbasis minyak jelantah dipengaruhi oleh jenis dan komposisi katalis. Miyuranga dkk. (2023) melaporkan viskositas biodiesel sebesar 2,5–3,9 cSt menggunakan katalis $Ba(OH)_2$, CaO, MgO, ZnO, dan $AlCl_3$ [26]. Widayat dkk. (2024) memperoleh viskositas 3,31–3,68 cSt pada penggunaan katalis CaO-MgO/Fe_2O_3 dengan berbagai rasio komposisi [27]. Sementara itu, Oko dkk. (2021) menghasilkan biodiesel dengan viskositas 1,97–2,59 cSt menggunakan katalis NaOH/CaO/C dari cangkang telur pada variasi konsentrasi 4,5–7,5% [28].

Angka Asam

Angka asam menunjukkan jumlah KOH dalam miligram yang dibutuhkan untuk menetralkan 1 gram asam seperti asam lemak, asam karboksilat, dan asam-asam lainnya dalam sebuah campuran [30]. Angka asam yang terlalu tinggi pada biodiesel dapat menyebabkan adanya kerak di injektor mesin diesel dan bersifat korosif [31]. Berdasarkan standar ASTM D664, parameter angka asam untuk biodiesel yaitu maksimal 0,8 mg KOH/g. Pada penelitian ini diperoleh nilai angka asam biodiesel yang menggunakan nanokatalis MgO, $_{20}$CaO/MgO, $_{30}$CaO/MgO, dan $_{40}$CaO/MgO masing-masing seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 yang masih berada dalam rentang standar sesuai dengan ASTM D664.

Beberapa penelitian melaporkan bahwa angka asam biodiesel berbasis minyak jelantah dipengaruhi oleh jenis dan komposisi katalis yang digunakan. Miyuranga dkk. (2023) memperoleh angka asam sebesar 0,2–0,4 mg KOH/g menggunakan katalis $Ba(OH)_2$, CaO, MgO, ZnO, dan $AlCl_3$ [26]. Widayat dkk. (2024) melaporkan angka asam sebesar 0,28–0,56 mg KOH/g pada penggunaan katalis CaO-MgO/Fe_2O_3 dengan berbagai rasio komposisi [27]. Sementara itu, Oko dkk. (2021) menghasilkan biodiesel dengan angka asam 0,1680–0,3375 mg NaOH/g menggunakan katalis NaOH/CaO/C dari cangkang telur pada variasi konsentrasi katalis 4,5–7,5%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan memiliki angka asam rendah dan umumnya memenuhi standar kualitas biodiesel.

Kadar Air

Kadar air merupakan salah satu parameter penting analisis kualitas biodiesel. Kadar air yang terlalu tinggi dapat menyebabkan terjadinya pembentukan busa, menurukan panas, korosif, dan menjadi media pertumbuhan mikroorganisme yang dapat menyumbat aliran bahan bakar [32]. Berdasarkan standar ASTM D6751, parameter kadar air untuk biodiesel maks 0,5%. Pada penelitian ini diperoleh nilai kadar air biodiesel yang menggunakan nanokatalis MgO, $_{20}$CaO/MgO, $_{30}$CaO/MgO, dan $_{40}$CaO/MgO masing-masing seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3 yang masih berada dalam standar sesuai dengan ASTM D6751.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa biodiesel yang dihasilkan memiliki kadar air yang rendah dan memenuhi standar kualitas. Oko dkk. (2021) melaporkan kadar air biodiesel berbasis

minyak jelantah sebesar 0,0169–0,0279% menggunakan katalis NaOH/CaO/C dari cangkang telur pada variasi konsentrasi 4,5–7,5% [28]. Degfie dkk. (2019) memperoleh kadar air sebesar 0,02% menggunakan nanokatalis CaO berukuran 29 nm [33]. Sementara itu, Santoso dkk. (2024) melaporkan kadar air biodiesel berbasis minyak jarak sebesar 0,035–0,08% dengan katalis MgO/K_2O pada variasi penggunaan katalis 1–3% [34].

Yield Biodiesel

Pada Tabel 3 di atas menunjukkan bahwa yield tertinggi diperoleh pada biodiesel dengan nanokatalis $_{20}$CaO/MgO yaitu sebesar 80,10%. Penelitian terkait dilaporkan oleh Widayat dkk. (2024) dimana biodiesel berbasis minyak jelantah berhasil disintesis dengan katalis $CaO\text{-}MgO/Fe_2O_3$ yang memiliki rasio $CaO\text{-}MgO:Fe_2O_3$ sebesar 3:1 dan kondisi reaksi seperti suhu 65° C, selama 2 jam, dan berat katalis yang digunakan sebesar 1% (b/b) menghasilkan yield biodiesel sebesar 54,2% [27]. Rachim dkk. (2017) juga melaporkan berhasil mensintesis biodiesel berbasis minyak jelantah dengan katalis $CaO\text{-}ZnCl_2$ yang memiliki kondisi reaksi seperti suhu 650C, selama 4 jam, perbandingan molar metanol:minyak 12:1 dan berat katalis yang digunakan sebesar 3% (b/b) menghasilkan yield biodiesel sebesar 77,94% [35]. Penelitian lainnya seperti yang dilakukan oleh Velmurugan & Warrier (2022) berhasil mensintesis biodiesel berbasis minyak jelantah menggunakan katalis MgO-SnO2 yang menghasilkan yield sebesar 80% dalam kondisi reaksi seperti suhu 600C, selama 20 menit, perbandingan molar metanol:minyak 18:1 dan berat katalis yang digunakan sebesar 2% (b/b) [36].

KESIMPULAN

Biodiesel berbasis minyak jelantah berhasil disintesis melalui reaksi transesterifikasi menggunakan nanokatalis MgO, $_{20}$CaO/MgO, $_{30}$CaO/MgO, dan $_{40}$CaO/MgO dengan *yield* masing-masing yaitu 71,87%; 80,10%; 76,76%; dan 69,82%. Hasil evaluasi uji kualitas menunjukkan bahwa seluruh biodiesel yang dihasilkan memenuhi standar ASTM, dengan densitas sebesar 880,973–886,795 kg/m³ (ASTM D1298), viskositas kinematik 2,46–5,23 cSt (ASTM D445), angka asam 0,23–0,73 mg KOH/g (ASTM D664), dan kadar air 0,0013–0,0037% (ASTM D6751). Variasi komposisi nanokatalis berpengaruh terhadap kualitas dan rendemen biodiesel yang dihasilkan. Nanokatalis $_{20}$CaO/MgO memberikan performa terbaik dengan yield tertinggi sebesar 80,10%, densitas 885,128 kg/m³, viskositas kinematik 5,22 cSt, angka asam 0,23 mg KOH/g, dan kadar air 0,0013%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa nanokatalis CaO/MgO berpotensi digunakan sebagai katalis basa heterogen yang efektif dalam produksi biodiesel berbasis minyak jelantah dengan kualitas yang memenuhi standar internasional.

UCAPAN TERIMA KASIH

Kami mengucapkan terima kasih kepada pihak Laboratorium Kimia Fisika Jurusan Kimia UNESA yang telah mengizinkan menggunakan tempat dalam proses pengambilan data dari awal hingga selesai.

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. R. Paramati, U. Shahzad, and B. Doğan, "The role of environmental technology for energy demand and energy efficiency: Evidence from OECD countries," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 153, hlm. 111735, Jan 2022, doi: 10.1016/j.rser.2021.111735.

[2] J. Davenport, N. Wayth, S. Virley, and R. Debarre, *Statistical Review of World Energy*, 73rd ed. Energy Institute, 2024.

[3] International Energy Agency, "Energy Policies of IEA Countries_France_2016_Review," *Energy Policies of IEA Countries*, 2016.

[4] S. Chatterjee, Dhanurdhar, and S. L. Rokhum, "Extraction of a cardanol based liquid bio-fuel from waste natural resource and decarboxylation using a silver-based catalyst," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 72, hlm. 560–564, Mei 2017, doi: 10.1016/j.rser.2017.01.035.

[5] S. N. Faimi and B. I. Tampubolon, "Estimasi Nilai Manfaat Ekonomi Pengelolaan Minyak Jelantah Rumah Tangga di Kampung Kebon Kopi, Desa Cibanteng, Kabupaten Bogor: Estimated Economic Benefits of Household Waste Cooking Oil Management in Kebon Kopi Cibanteng Village, Bogor District," *IJAREE*, vol. 2, no. 2, hlm. 100–109, Des 2023, doi: 10.29244/ijaree.v2i2.50399.

[6] Kementerian Pertanian, *Statistik Konsumsi Pangan Tahun 2022. Jakarta: KEMENTAN.* Jakarta: KEMENTAN, 2022.

[7] B. Changmai, C. Vanlalveni, A. P. Ingle, R. Bhagat, and S. L. Rokhum, "Widely used catalysts in biodiesel production: a review," *RSC Adv.*, vol. 10, no. 68, hlm. 41625–41679, 2020, doi: 10.1039/D0RA07931F.

[8] W. Widayat *dkk.*, "Preparation of MgO-CaO/SiO2 catalyst from dolomite and geothermal solid waste for biodiesel production," *Int. J. Renew. Energy Dev.*, vol. 12, no. 3, hlm. 541–549, Mei 2023, doi: 10.14710/ijred.2023.51573.

[9] E. Yulia and A. H. Mulyati, "Kualitas Minyak Goreng Curah yang Berada di Pasar Tradisional di Daerah Jabotabek pada Berbagai Penyimpanan," *Ekologia*, vol. 17, no. 2, hlm. 29–38, 2017.

[10] A. Bouaid, N. El Boulifi, K. Hahati, M. Martinez, and J. Aracil, "Biodiesel production from biobutanol. Improvement of cold flow properties," *Chemical Engineering Journal*, vol. 238, hlm. 234–241, Feb 2014, doi: 10.1016/j.cej.2013.10.022.

[11] V. Singh, F. Bux, and Y. C. Sharma, "A low cost one pot synthesis of biodiesel from waste frying oil (WFO) using a novel material, β-potassium dizirconate (β-K2Zr2O5)," *Applied Energy*, vol. 172, hlm. 23–33, Jun 2016, doi: 10.1016/j.apenergy.2016.02.135.

[12] W. Xie and J. Wang, "Enzymatic Production of Biodiesel from Soybean Oil by Using Immobilized Lipase on Fe_3O_4 /Poly(styrene-methacrylic acid) Magnetic Microsphere as a Biocatalyst," *Energy Fuels*, vol. 28, no. 4, hlm. 2624–2631, Apr 2014, doi: 10.1021/ef500131s.

[13] F. C. De Oliveira and S. T. Coelho, "History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, hlm. 168–179, Agu 2017, doi: 10.1016/j.rser.2016.10.060.

[14] M. T. Lund, T. K. Berntsen, and J. S. Fuglestvedt, "Climate Impacts of Short-Lived Climate Forcers versus CO_2 from Biodiesel: A Case of the EU on-Road Sector," *Environ. Sci. Technol.*, vol. 48, no. 24, hlm. 14445–14454, Des 2014, doi: 10.1021/es505308g.

[15] S. Kumar, G. Kumar, B. Saroha, and K. Gulati, "Metal oxide heterostructures as catalysts in organic reactions," dalam *Metal Oxide-Based Heterostructures*, Elsevier, 2023, hlm. 417–451. doi: 10.1016/B978-0-323-85241-8.00003-7.

[16] S. Supriyanto, I. Ismanto, and N. Suwito, "Zeolit Alam Sebagai Katalis Pyrolisis Limbah Ban Bekas Menjadi Bahan Bakar Cair," *AutoExp*, vol. 2, no. 1, hlm. 15–21, Apr 2019, doi: 10.31603/ae.v2i1.2377.

[17] B. Thangaraj, P. R. Solomon, B. Muniyandi, S. Ranganathan, and L. Lin, "Catalysis in biodiesel production—a review," *Clean Energy*, vol. 3, no. 1, hlm. 2–23, Feb 2019, doi: 10.1093/ce/zky020.

[18] D. D. Anggoro, L. Buchori, S. B. Sasongko, and M. V. A. A. F. F., "Synthesis of Ca/MgO catalyst using sol gel method for monoglycerides production," dipresentasikan pada Human-Dedicated Sustainable Product and Process Design: Materials, Resources, and Energy: Proceedings of the 4th International Conference on Engineering, Technology, and Industrial Application (ICETIA) 2017, Surakarta, Indonesia, 2018, hlm. 030012. doi: 10.1063/1.5042932.

[19] A. Ashok, L. J. Kennedy, J. J. Vijaya, and U. Aruldoss, "Optimization of biodiesel production from waste cooking oil by magnesium oxide nanocatalyst synthesized using coprecipitation method," *Clean Techn Environ Policy*, vol. 20, no. 6, hlm. 1219–1231, Agu 2018, doi: 10.1007/s10098-018-1547-x.

[20] M. Hu, J. Pu, E. W. Qian, and H. Wang, "Biodiesel Production Using MgO–CaO Catalysts via Transesterification of Soybean Oil: Effect of MgO Addition and Insights of Catalyst Deactivation," *Bioenerg. Res.*, vol. 16, no. 4, hlm. 2398–2410, Des 2023, doi: 10.1007/s12155-023-10580-z.

[21] S. M. Farouk, A. M. Tayeb, R. M. Osman, and S. M. S. Abdel-Hamid, "Sustainable production of biodiesel from waste cooking oil using magnesium oxide nano catalyst: An optimization study," *Sci Rep*, vol. 14, no. 1, hlm. 22010, Sep 2024, doi: deg.

[22] S. Y. M. Nggai, S. M. D. Kolo, and Y. Sine, "Pengaruh Perlakuan Awal Hidrolisis Ampas Sorgum (Sorghum Bicolor L.) Terhadap Fermentasi Untuk Produksi Bioetanol Sebagai Energi Terbarukan," *Al*, vol. 10, no. 2, hlm. 33–40, Des 2022, doi: 10.18860/al.v10i2.13501.

[23] Y. Hananto and J. Rosdiana, "Penurunan Kadar FFA (Free Fatty Acid) Minyak Jelantah Menggunakan Adsorben Arang Aktif Ampas Tebu Pada Proses Pembuatan Biodiesel,"

jesty, vol. 1, no. 1, hlm. 8–17, Jan 2023, doi: 10.47134/jesty.v1i1.1.

[24] A. T. Hoang, "Prediction of the density and viscosity of biodiesel and the influence of biodiesel properties on a diesel engine fuel supply system," *Journal of Marine Engineering & Technology*, vol. 20, no. 5, hlm. 299–311, Okt 2021, doi: 10.1080/20464177.2018.1532734.

[25] A. Azhari, R. Mulyawan, N. Za, L. Hakim, and N. A. Lubis, "Pembuatan Biodiesel dari Campuran Minyak Jarak Kepyar (Ricinus Communis) dengan Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO Limbah Cangkang Kerang Darah (Anadara Granosa)," *j. Teknologi Kimia Unimal*, vol. 12, no. 1, hlm. 122–131, Jul 2023, doi: 10.29103/jtku.v12i1.11797.

[26] K. A. V. Miyuranga, U. S. P. R. Arachchige, T. M. M. Marso, and G. Samarakoon, "Biodiesel Production through the Transesterification of Waste Cooking Oil over Typical Heterogeneous Base or Acid Catalysts," *Catalysts*, vol. 13, no. 3, hlm. 546, Mar 2023, doi: 10.3390/catal13030546.

[27] W. Widayat, Mhd. A. P. Arman, E. Syarief, L. Buchori, and S. Sulardjaka, "Sintesis, Karakterisasi dan Pengujian Katalis CaO-MgO/Fe2O3 dari Dolomit dan Pasir Besi untuk Pembuatan Biodiesel dari Minyak Goreng Bekas," *Teknik*, vol. 45, no. 1, hlm. 91–100, Jun 2024, doi: 10.14710/teknik.v45i1.56423.

[28] S. Oko, M. Mustafa, A. Kurniawan, and K. N. E. Putri, "Sintesis Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis NaOH/CaO/C dari Cangkang Telur," *j.res.technol.ind.*, vol. 15, no. 2, hlm. 147, Sep 2021, doi: 10.26578/jrti.v15i2.6835.

[29] G. Knothe and L. F. Razon, "Biodiesel fuels," *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 58, hlm. 36–59, Jan 2017, doi: 10.1016/j.pecs.2016.08.001.

[30] N. K. Patel and S. N. Shah, "Biodiesel from Plant Oils," dalam *Food, Energy, and Water*, Elsevier, 2015, hlm. 277–307. doi: 10.1016/B978-0-12-800211-7.00011-9.

[31] M. Sebayang, J. A. K. Karo, D. Paranita, R. K. Tarigan, and Maulidna, "Karakteristik Biosolar (B30) dari Hasil Transesterifikasi Biodiesel Crude Palm Oil dengan Menggunakan Katalis CaO dari Cangkang Telur Bebek," *REPROKIMIA*, vol. 3, no. 2, hlm. 1–8, 2025.

[32] Z. Salsabillah, M. A. Rizki, A. Hendrasti, J. T. Pangestu, and O. Venriza, "Strategi Perbaikan Kualitas Biosolar Berdasarkan Kandungan Air dan TAN yang Meningkat Akibat Penyimpanan di Ruang Terbuka," *Globe*, vol. 2, no. 2, hlm. 113–120, Mei 2024, doi: 10.61132/globe.v2i2.289.

[33] T. A. Degfie, T. T. Mamo, and Y. S. Mekonnen, "Optimized Biodiesel Production from Waste Cooking Oil (WCO) using Calcium Oxide (CaO) Nano-catalyst," *Sci Rep*, vol. 9, no. 1, hlm. 18982, Des 2019, doi: 10.1038/s41598-019-55403-4.

[34] A. Santoso, S. Sumari, M. R. Asrori, and I. Ni'mah, "Concentration Effect of MgO/K2O Catalyst on Transesterification of Castor Seed (Ricinus communis) Oil," *Stannum : Jurnal Sains dan Terapan Kimia*, vol. 6, no. 2, hlm. 96–103, 2024, doi: 10.33019/jstk.v6i2.4692.

[35] S. A. G. Rachim, I. Raya, and M. Zakir, "Modifikasi Katalis CaO untuk Produksi Biodiesel dari Minyak Bekas," *Indo. J. Chem. Res.*, vol. 5, no. 1, hlm. 47–52, 2017.

[36] A. Velmurugan and A. R. Warrier, "Production of biodiesel from waste cooking oil using mesoporous MgO-SnO2 nanocomposite," *J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 69, no. 1, hlm. 92, Des 2022, doi: 10.1186/s44147-022-00143-y.