

PEMANFAATAN LIMBAH MINYAK JELANTAH SEBAGAI SUMBER BAHAN BAKAR ALTERNATIF DALAM PRODUKSI BIODIESEL MENGGUNAKAN KATALIS CaO/rGO

Siti Rohani^{1*}, Dikdik Mulyadi^{2,3}, Lela Mukmilah Yuningsih⁴

¹ Program Studi Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Muhammadiyah Sukabumi.

¹ Jl. R Syamsudin, S.H. No. 50. Sukabumi, 43113, Jawa Barat, Indonesia

*E-mail: srohani@ummi.ac.id.

Abstrak

Heterogeneous CaO catalyst composited with rGO has been developed to improve catalytic efficiency and biodiesel yield. Used cooking oil was chosen as the feedstock because it is underutilized, while rGO was used to overcome the weaknesses of CaO, which has a small surface area, as well as to enhance catalyst activity through an increased number of active sites and catalytic stability. The purpose of this study is to increase the yield and characterize biodiesel according to SNI 04-7182-2015. Biodiesel production was carried out through the transesterification reaction of triglycerides with metanol using CaO/rGO catalyst. Variations in the molar ratio of oil to metanol (1:6, 1:9, and 1:12) and catalyst concentration (0.5% and 1%) at 55–60°C were applied to optimize the yield. The resulting biodiesel was characterized based on physical parameters, including density, viscosity, flash point, water content, and acid number according to SNI standards. The best result was obtained at a metanol to oil molar ratio of 1:12 with the addition of 1% catalyst, yielding a biodiesel yield of 89.5%, all of which met the SNI standards except for viscosity, which was lower than the SNI specification. Without catalyst at a 1:9 ratio, biodiesel yield reached only 65%. The CaO/rGO catalyst can increase biodiesel yield at a 1:12 ratio and meets SNI standards for flash point, acid number, water content, and density but does not meet the SNI standard for viscosity.

Kata kunci: *biodiesel, waste cooking oil, CaO/rGO, transesterification, heterogeneous catalyst.*

1. Pendahuluan

Keterbatasan bahan bakar fosil mendorong pengembangan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan, seperti biodiesel sebagai salah satu jenis biofuel (Li Nan, *et al.*, 2024). Biodiesel sebagai salah satu jenis biofuel yang diproduksi dari minyak nabati atau hewani, memiliki potensi besar sebagai bahan bakar pengganti diesel konvensional (Putri, *et al.*, 2024).

Produksi biodiesel melalui reaksi transesterifikasi membutuhkan katalis untuk meningkatkan efisiensi konversi minyak menjadi metil ester. Kalsium Oksida (CaO) sering digunakan sebagai katalis heterogen karena memiliki tingkat kebasahan yang tinggi. (Komis, *et al.*, 2024). Berbagai modifikasi katalis CaO telah

dilakukan untuk meningkatkan aktivitas katalitik dan hasil biodiesel. Misalnya, CaO dari cangkang telur ayam menghasilkan rendemen biodiesel sebesar 40,21% (Pattiasina, *et al.*, 2023). sementara komposit CaO/GO mencapai rendemen hingga 95,02% dengan kemurnian 86,47% (Aldo & Timothy, 2023). NaOH/CaO/Ca 85,62 % (Siregar, *et al.*, 2024). Katalis CaO/NiO/rGO dilaporkan menghasilkan biodiesel dengan rendemen tertinggi mencapai 97,46% (Li Nan, *et al.*, 2024).

Graphene Oxide (GO) memiliki gugus fungsi oksigen yang mudah terhidrolisis, sehingga stabilitasnya rendah (Nazlo, *et al.*, 2023). Reduksi GO menjadi *reduced graphene oxide* (rGO) menghilangkan gugus oksigen tersebut dan meningkatkan stabilitas katalis (Sari, 2014). rGO

memiliki luas permukaan besar. Cacat struktur yang mendukung peningkatan jumlah situs aktif katalitik, sehingga meningkatkan aktivitas katalis (Santos, *et al.*, 2019). CaO yang memiliki luas permukaan terbatas ($0,56 \text{ m}^2/\text{g}$), pengompositan rGO dapat mengatasi kelemahan tersebut dan menghasilkan katalis yang lebih efektif (Mu'arifatussolikah, 2024). Studi sebelumnya juga menunjukkan nano komposit rGO/TiO₂ mampu menghasilkan biodiesel dengan rendemen hingga 98% (Borah, *et al.*, 2018).

untuk meningkatkan rendemen dan karakterisasi biodiesel sesuai SNI 04-7182-2015 meliputi parameter massa jenis, viskositas, kadar air, titik nyala, dan bilangan asam, untuk memastikan kualitas sesuai dengan persyaratan bahan bakar ramah lingkungan.

2. Metodologi

2.1. Alat

Alat yang dipakai sebagai berikut: peralatan glas, stirer, *hot plate*, neraca analitik, termometer, kertas saring, corong, oven, *mesh* (ayakan), tanur, desikator, wadah *stainless*, piknometer, viscometer, FTIR, XRD. Labu leher tiga, refluks

2.2. Bahan

Bahan yang digunakan sebagai berikut: minyak jelantah, arang aktif, cangkang telur, H₂O, H₂SO₄, H₃PO₄, grafit, KMnO₄, DI *water*, H₂O₂, HCl, kertas pH, Zn, NaOH, CH₃OH, indikator PP, etanol.

2.3. Prosedur Penelitian

2.3.1. Pemurnian Minyak Jelantah

Minyak sebanyak 1000 g dipanaskan hingga suhu 100°C dengan pengadukan 20 menit kecepatan 300 rpm. Arang aktif sebanyak 10% dari berat minyak jelantah kemudian ditambahkan sebagai adsorben. Campuran minyak jelantah dan arang aktif dipisahkan dengan cara filtrasi menggunakan kertas saring dan corong. Selanjutnya dilakukan pengujian kadar persen (%) FFA dengan target kadar FFA yang diinginkan kurang dari 2% (Sativa, *et al.*, 2024).

2.3.2. Katalis CaO Cangkang Telur

Menimbang sebanyak 5000 g, mencuci dengan air. Selanjutnya menghancurkan kulit telur dan mengayak dengan ayakan *mesh* 100. Tahap selanjutnya cangkang telur dioven pada suhu 105°C selama 2 jam. Kemudian bubuk cangkang telur dikalsinasi pada suhu 900°C selama 3 jam. Hasil kalsinasi selanjutnya disimpan di dalam desikator untuk menjaga kondisi katalis tetap kering (Melani, *et al.*, 2024).

2.3.3. Pembuatan rGO

Metode *Hummer* digunakan untuk sintesis grafit oksida. Disiapkan campuran antara 67,5 mL H₂SO₄ 98% dan 7,5 mL H₃PO₄ 85% (9:1) di dalam erlenmeyer, kemudian ditambahkan 3 g bubuk grafit dan diaduk 30 menit. Ditambahkan 9 g KMnO₄ secara perlahan pada suhu kisaran 20 – 0 °C dalam penangas es karena senyawa KMnO₄ memiliki sifat *eksplosif* terhadap suhu tinggi. Pengadukan dilanjutkan selama 3 jam (larutan berwarna hijau tua). Kemudian dilanjutkan pengadukan selama 1 jam pada suhu 35 °C tanpa penangas es dan ditambahkan DI *water* pada larutan sebanyak 50 mL dan diaduk selama 1 jam. Dilakukan pengenceran pada larutan dengan menambahkan 100 mL DI *water* dan diaduk selama 1 jam. Lalu ditambahkan H₂O₂ 30 % sebanyak 5 mL secara perlahan dan didiamkan selama 30 menit (larutan berubah warna dari hijau tua menjadi coklat tua). Setelah itu larutan disaring dan dicuci dengan DI *water* dan HCl 5% sampai pH mendekati 7, setelah itu endapan dipanaskan dalam oven pada suhu 60 °C selama 12 jam untuk menghasilkan grafit oksida.

0,4 g grafit oksida dicampur dengan 40 mL akuades dan diaduk selama 1 jam agar didapatkan larutan yang homogen, kemudian dilakukan ultrasonikasi pada pancaran gelombang ultrasonik 50/60 Hz selama 90 menit untuk mengelupas grafit oksida menjadi grafena oksida. Kemudian ditambahkan 0,8 g Zn dan 10 mL HCl 35% diaduk selama 1 jam, 10 mL HCl 35%

ditambahkan lagi ke dalam larutan dan dilakukan pengadukan selama 30 menit. Setelah itu, larutan dicuci dengan HCl 5% dan aquades sampai pH campuran menjadi netral. Hasil pencucian dioven pada suhu 200 °C selama 18 jam untuk menghasilkan serbuk rGO (Putri, 2021; Taufantari, *et al.*, 2016; Fauziah, 2024).

2.3.4. Komposit CaO/rGO

1 g rGO dilarutkan dalam 100 mL akuades, kemudian larutan diaduk selama 30 menit pada suhu 50°C. Perlakuan yang sama juga diterapkan untuk CaO. Larutan CaO ditambahkan tetes demi tetes ke dalam larutan rGO. Atur pH menjadi 10,2. Larutan gabungan diaduk pada suhu 70°C selama 90 menit. Larutan disaring. Endapan yang dihasilkan dicuci menggunakan akuades dan etanol untuk menghilangkan kotoran permukaan. Setelah itu, dikeringkan dalam oven pada suhu 120°C selama 18 jam. Tahap akhir di kalsinasi pada suhu 600°C selama 2 jam. Dikarakterisasi menggunakan XRD (Li Nan, *et al.*, 2024).

2.3.5. Transesterifikasi Biodiesel

Penelitian ini rasio minyak terhadap metanol, dan katalis. Minyak jelantah dan metanol dicampur dengan diperbandingan volume 1:6, 1:9, 1:12 dimasukkan ke dalam reaktor pada suhu 55 – 65°C. Selanjutnya katalis CaO/rGO juga dimasukkan ke dalam reaktor. Variasi katalis yang digunakan adalah 0% (*control negative*) 0,5%, 1% (b/v). Pemanasan dilakukan selama 90 menit dengan kecepatan pengadukan 700 rpm. Setelah reaksi transesterifikasi didiamkan selama 24 jam, hasilnya dipisahkan dan dimurnikan dengan pencucian menggunakan aquades hangat. Penguapan pada suhu 100°C dilakukan untuk menghilangkan air, kemudian campuran biodiesel dan pengotor dipisahkan menggunakan corong pisah selama 24 jam (Amrullah & Cyrilla, 2024).

2.4. Karakterisasi Biodiesel

2.4.1. Rendemen

Biodiesel yang telah terbentuk di timbang massanya untuk dihitung% rendemennya dengan menggunakan persamaan:

$$\%rendemen = \frac{\text{massa biodiesel}}{\text{massa jelantah}} \times 100\%$$

2.4.2. %FFA

Pengujian FFA dilakukan menggunakan metode titrasi dengan penambahan 3 tetes indikator pp ke dalam 2 g sampel di dalam Erlenmeyer yang telah ditambahkan metanol 20 mL, lalu diaduk hingga homogen yang selanjutnya dititrasi menggunakan larutan NaOH 0,1N. Adapun perhitungan %FFA menggunakan persamaan:

$$\%FFA = \frac{V \text{ NaOH} \times N \text{ NaOH} \times 256}{\text{Massa sampel} \times 100} \times 100\% \dots$$

2.4.3. Massa Jenis 40°C

Analisis ini dilakukan menggunakan alat piknometer. Piknometer kosong ditentukan bobotnya dan dicatat, setelah itu biodiesel dimasukkan ke dalam piknometer dan ditutup lalu ditimbang dan dihitung densitasnya menggunakan persamaan:

$$\rho = \frac{\text{masa pikno isi} - \text{pikno koso}}{\text{volume biodiesel}}$$

2.4.5. Viskositas 40°C

Sampel disaring untuk memisahkan partikel-partikel yang ada dalam minyak. Masukkan sampel ke dalam viscometer, gunakan penyedot sampai permukaan minyak mencapai posisi dalam pipa kapiler viskometer di atas tanda batas, selanjutnya ukur laju alir sampel yang mengalir dengan satuan detik dimulai dari tanda batas pertama dan dihentikan pada batas kedua.

$$v = C \times t$$

2.4.6. Bilangan Asam

20 g sampel ditambahkan 50 mL alkohol 95%. Campuran dipanaskan dalam penangas air hingga mendidih sambil diaduk hingga terbentuk larutan homogen. Setelah mencapai suhu ruang, tambahkan 3 tetes indikator pp, setelah itu larutan tersebut dititrasi menggunakan larutan KOH 0,1 N hingga diperoleh warna merah jambu yang stabil selama 30 detik.

Bilangan asam sampel biodiesel kemudian dihitung.

$$\text{Bil Asam} = \frac{\text{ml KOH} \times N \text{ KOH} \times 56,1}{\text{berat sampel}}$$

2.4.7. Titik Nyala

Sampel diambil menggunakan sudip, kemudian dinyalakan dengan pemantik api untuk mengamati sifat pembakaran, dan suhu sampel diukur menggunakan alat pengukur suhu yang sesuai.

2.4.8. Kadar Air

Dipanaskan cawan porselin selama 15 menit. Sampel sebanyak 3 g ditimbang dan dimasukkan ke dalam cawan yang sudah diketahui massanya. Selanjutnya, sampel bersama cawan dikeringkan dalam oven pada suhu 110 °C selama 4 jam untuk menguapkan kadar air yang terkandung. Setelah proses pengeringan, cawan didinginkan dalam desikator selama 30 menit, dan kemudian ditimbang kembali. Proses pengeringan dan penimbangan diulangi hingga diperoleh berat yang konstan, Kadar air dalam sampel dihitung berdasarkan rumus berikut.

$$KA = \frac{\text{sampel awal} (\text{sampel cawan akhir} - \text{cawan})}{\text{bobot sampel awal}}$$

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Pemurnian Minyak

Hasil pemurnian minyak jelantah menggunakan arang aktif dilihat pada Gambar 1.



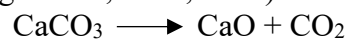
Gambar 1. Minyak jelantah sebelum penambahan arang aktif dan sesudah penambahan arang aktif.

Berdasarkan Gambar 1, pemurnian minyak jelantah digunakan arang aktif 10% dari berat minyak yang digunakan, sebelum pemurnian dilakukan pengujian FFA sebesar 2,5% dan setelah proses pemurnian FFA berubah menjadi 0,25%. Penurunan ini karena arang aktif memiliki struktur

berpori dengan luas permukaan yang besar, sehingga mampu menyediakan banyak situs adsorpsi. Senyawa-senyawa yang terkandung dalam arang aktif, berperan dalam menetralkan dan menstabilkan molekul asam lemak bebas (FFA) melalui interaksi fisika dan kimia (Oko, *et al.*, 2020). Hal ini sejalan dengan hasil penelitian (Intani, *et al.*, 2025) yang melaporkan bahwa penggunaan arang aktif dapat menurunkan kadar FFA. penggunaan arang aktif dapat menurunkan asam lemak bebas, bilangan peroksida, kotoran, serta peningkatan kejernihan dan *smoke point*.

3.2. Katalis CaO Cangkang Telur

Pembersihan cangkang telur ayam untuk menghilangkan selaput putih yang menempel. Pengeringan berperan penting dalam menghilangkan kadar air yang terkandung di dalamnya (Sari, 2014). Pengecilan ukuran hingga *mesh* 100 menghasilkan partikel seragam yang meningkatkan homogenitas bahan dan memastikan reaksi termal lebih merata, sehingga kualitas produk akhir meningkat (Amrullah & Cyrilla, 2024). Proses kalsinasi pada suhu tinggi (900°C) menyebabkan dekomposisi termal CaCO_3 menjadi CaO dengan pelepasan karbon dioksida CO_2 , sesuai dengan reaksi dekomposisi kalsium karbonat. (Melani, *et al.*, 2024). Kalsinasi juga berfungsi menghilangkan sisa air dan senyawa organik, yang umumnya terdekomposisi di bawah 600°C (Zahra, *et al.*, 2027). Reaksi yang terjadi saat dilakukan kalsinasi dapat dilihat pada persamaan reaksi 1 (Melani, *et al.*, 2024). Reaksi proses kalsinasi CaO dilihat pada persamaan dibawah (Aguslana, *et al.*, 2022)



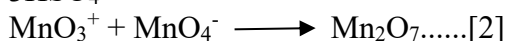
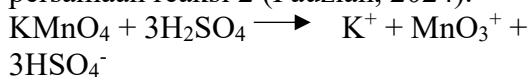
Pada suhu 900–1000°C, kalsium karbonat terurai sempurna dengan komposisi CaO mencapai 93,75–95,59%. Hasil dari kalsinasi CaO pada suhu 900°C menghasilkan serbuk berwarna putih, yang menunjukkan kemurnian CaO sesuai dengan karakteristik. Hal ini, sejalan dengan penelitian (Zahra, *et al.*, 2020) melaporkan bahwa hasil kalsinasi pada 800–900°C

berwarna putih sesuai spesifikasi CaO, sedangkan pada suhu 300–700°C berwarna kehitaman akibat abu bahan organik yang belum terurai.

3.3. Sintesis rGO

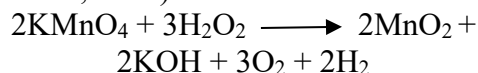
Proses sintesis *Reduced Graphene Oxide* (rGO) meliputi tahapan oksidasi grafit menjadi grafit oksida, pembentukan grafena oksida (GO), dan reduksi GO menjadi rGO dengan menggunakan metode Hummer termodifikasi (Putri, 2021). Bahan baku utama grafit merupakan isi pensil Faber *castell* yang sudah berbentuk serbuk. Penggunaan asam kuat seperti H₂SO₄ dan H₃PO₄ dalam rasio 9:1 bersama oksidator kuat KMnO₄ berperan penting dalam proses oksidasi grafit. Reaksi ini ditandai dengan perubahan warna larutan menjadi hijau, yang menunjukkan interaksi antara KMnO₄ dan asam (Putri, 2021).

Suhu selama proses oksidasi dijaga antara 0–20 °C untuk mencegah kerusakan pada grafit oksida (Fauziah, 2024). Perubahan warna larutan menjadi coklat tua mengindikasikan proses oksidasi grafit telah berlangsung, terjadi akibat interaksi antara grafit, H₂SO₄, dan KMnO₄. Warna coklat tua ini menandakan terbentuknya gugus fungsi oksigen pada permukaan karbon (Safira, *et al.*, 2020). Reaksi antara KMnO₄ dengan H₂SO₄ dapat dilihat pada persamaan reaksi 2 (Fauziah, 2024).

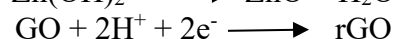
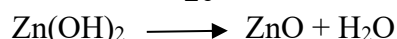
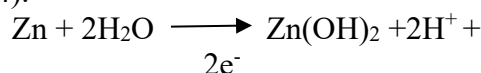


Penambahan H₂O₂ pada tahap akhir menghentikan reaksi oksidasi dengan memecah permanganat, ditandai oleh perubahan warna larutan menjadi kuning dengan semburat hijau, menunjukkan adanya grafit yang belum teroksidasi sempurna (Fauziah, 2024). Proses penetralan dilakukan hingga pH larutan mencapai nilai netral yaitu pH 7 dengan menggunakan aquades. Grafit oksida yang dihasilkan memiliki massa sebesar 5 g dan berbentuk lembaran berwarna hitam. Adapun Reaksi antara KMnO₄ dengan

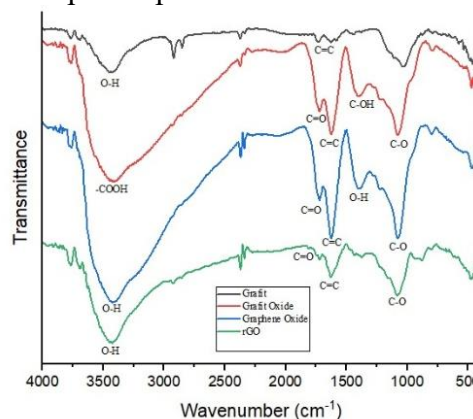
H₂O₂ dapat dilihat pada persamaan reaksi 3 (Fauziah, 2024).



GO yang diperoleh dari grafit oksida menunjukkan kelarutan baik dalam air dan membentuk larutan homogen setelah perlakuan ultrasonikasi, yang efektif memisahkan lembaran oksida grafena menjadi partikel lebih kecil dan halus dengan memutus ikatan *Van der Waals* (Putri, 2021). GO dilakukan dengan Zn dan HCl 35%, di mana Zn berperan sebagai agen pereduksi yang memperbaiki cacat struktural kisi karbon serta menghilangkan gugus oksigen, sementara reaksi Zn dengan HCl mengubah gugus epoksi menjadi gugus hidroksi (Taufantari, *et al.*, 2016). Penambahan Zn secara perlahan ke dalam larutan HCl menimbulkan gelembung gas sebagai indikasi reaksi reduksi berlangsung. Proses ini efektif mengurangi gugus oksigen yang tidak tereduksi sempurna. Hasil dari reaksi reduksi dapat dilihat pada persamaan reaksi 4 (Fauziah, 2024).



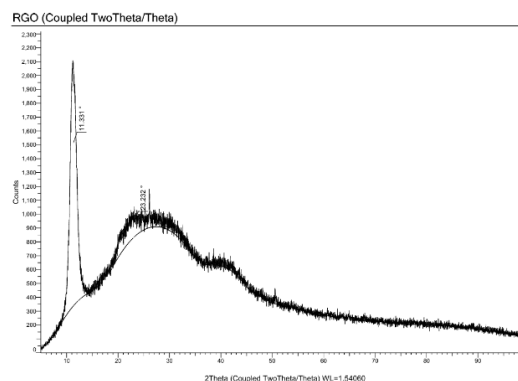
Karakterisasi FTIR dilakukan pada rGO yang dihasilkan, menunjukkan perubahan struktur kimia setelah proses reduksi, dengan spektrum utama ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hasil karakterisasi FTIR Grafit, Grafit Okside, GO, rGO.

Pada spektrum FTIR grafit oksida terlihat gugus -COOH *stretching* pada $3410,15\text{ cm}^{-1}$ yang menandakan gugus karboksil khas. Gugus -COOH terbentuk selama oksidasi grafit dengan KMnO_4 dan H_2SO_4 pada suhu $<5^\circ\text{C}$, membentuk *graphite intercalation compound* (GIC) yang meningkatkan reaktivitas grafit sehingga ikatan C-C terputus dan terbentuk gugus fenol dipermukaan dan tepi lembaran grafena oksida. Gugus fenol mengalami transformasi menjadi gugus eter (C-O-C), teroksidasi menjadi keton (C=O), lalu menjadi karboksil (-COOH). Gugus -COOH mudah terdekarboksilasi, menyebabkan hilangnya ikatan C-C sehingga struktur grafit berubah menjadi grafit oksida dengan banyak gugus oksigen (Fauziah, 2024). Spektrum FTIR grafit oksida menunjukkan pita vibrasi C=O pada $1722,43\text{ cm}^{-1}$, C=C aromatik pada $1624,06\text{ cm}^{-1}$, dan C-O pada $1080,14\text{ cm}^{-1}$, yang menegaskan keberadaan gugus oksigen hasil oksidasi. Hasil ini sesuai dengan (Kanta, *et al.*, 2017) yang melaporkan vibrasi O-H pada 3408 cm^{-1} , C=O pada 1727 cm^{-1} , C=C pada 1634 cm^{-1} , dan C-O pada 1052 cm^{-1} .

Spektrum FTIR reduksi GO menjadi rGO menunjukkan pengurangan signifikan gugus oksigen terutama hidroksil (C-OH). Hilangnya pita C-OH pada rGO menandakan proses reduksi dan eksfoliasi lapisan oksida berhasil, menghasilkan struktur karbon lebih murni dan kurang teroksidasi dibanding GO. Beberapa pita khas yang masih ada adalah O-H pada $3429,43\text{ cm}^{-1}$, C=O pada $1718,58\text{ cm}^{-1}$, C=C pada $1629,85\text{ cm}^{-1}$, dan C-O pada $1083,99\text{ cm}^{-1}$ sesuai data (Kanta, *et al.*, 2017) yang mencatat O-H pada 3400 cm^{-1} , C=O pada 1720 cm^{-1} , C=C pada 1644 cm^{-1} , dan C-O pada 1050 cm^{-1} . Hasil Analisa XRD dilakukan untuk mengetahui pola difraksi pada sudut 2θ dilihat pada Gambar 3.



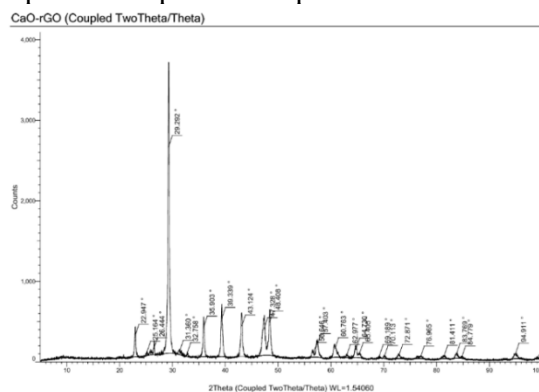
Gambar 3. Hasil XRD rGO.

Pola XRD pada Gambar memperlihatkan dua puncak utama, yaitu satu puncak tajam pada sudut 2θ sekitar $23,232^\circ$ dan satu puncak $2\theta = 11,331^\circ$. Pada rGO dihasilkan nilai $2\theta = 23,232^\circ$ dan pada nilai $2\theta = 11,331^\circ$ itu terdapat puncak GO. Penelitian (Safira, *et al.*, 2022). Menyatakan bahwa XRD GO muncul pada rentang $2\theta = 8 - 18$, dan terbukti pada penelitiannya bahwa GO muncul pada rentang $2\theta = 10,781^\circ$, maka hasil ini dapat didefinisikan sebagai material GO. Munculnya puncak difraksi pada $2\theta = 11,331^\circ$ pada sampel rGO menandakan bahwa proses reduksi GO belum berlangsung secara sempurna, sehingga masih terdapat sisa fasa GO pada material. Kondisi ini disebabkan oleh proses Penetrasi pH yang hanya mencapai pH 5 selama proses pencucian grafit oksida. pH berpengaruh terhadap sifat hidrofilik GO. Pada pH rendah gugus karboksil terprotonisasi, lembaran grafena menjadi kurang hidrofilik dan terbentuk agregat, membuat GO menjadi kurang stabil terdispersi dalam larutan, sehingga proses reduksi menuju rGO tidak optimal. Pada pH tinggi gugus karboksil terdeprotonisasi sehingga sangat hidrofilik yang lebih larut dalam air seperti garam-garam (Hidayat, *et al.*, 2018)

3.4. Pengompositan CaO/rGO

Sintesis komposit CaO/rGO melibatkan rGO sebagai bahan pendukung untuk meningkatkan luas permukaan dan aktivitas katalis (Siregar, *et al.*, 2024). Penggabungan CaO dengan rGO menghasilkan interaksi optimal yang

meningkatkan sifat fisik dan kimia komposit (Kholidah, 2014). Pengeringan CaO/rGO pada 120°C selama 18 jam efektif menghilangkan kandungan air dalam material (Sari, 2014). Tahap kalsinasi pada suhu 600°C berperan penting dalam mendispersikan rGO secara merata pada permukaan CaO serta menghilangkan kadar air dan pengotor senyawa organik (Kholidah, 2014). Setelah proses pengompositan, katalis CaO/rGO mengalami perubahan warna menjadi abu-abu, yang mengindikasikan keberhasilan pembentukan komposit antara kedua material, sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya (Maisar, *et al.*, 2025). hasil karakterisasi komposit CaO/rGO yang diperoleh dapat dilihat pada Gambar 4.



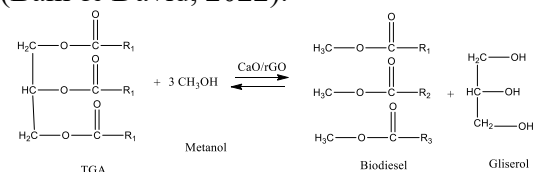
Gambar 4. Hasil XRD Komposit CaO/rGO

Hasil XRD menunjukkan puncak utama pada $2\theta = 29,292^\circ$, yang mengindikasikan struktur kristalin dan keberadaan CaO, sesuai dengan (Pratigto, *et al.*, 2019) yang melaporkan puncak CaO pada $29,424^\circ$, $34,078^\circ$, dan $47,508^\circ$. Selain itu, puncak pada $2\theta = 25,164^\circ$, $26,444^\circ$ mengonfirmasi keberadaan rGO dalam komposit, sejalan dengan (Fauziah, 2024) yang melaporkan puncak rGO pada $25,85^\circ$. Dengan demikian, komposit CaO/rGO yang disintesis mengandung kedua fase tersebut secara jelas.

3.5 Transesterifikasi

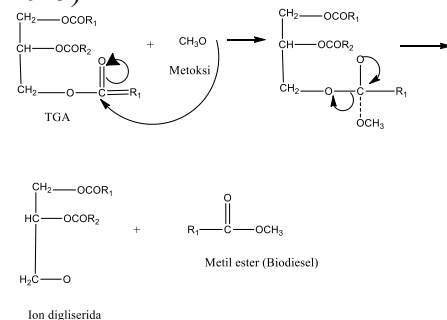
Pengecekan FFA minyak dengan metode titrasi menggunakan metanol menunjukan kadar 0,256%, menandakan bahan baku layak untuk proses

transesterifikasi biodiesel. %FFA ditentukan dengan metode titrasi menggunakan metanol sebagai pelarut untuk melarutkan asam lemak bebas dalam minyak tanpa mengubah pH sampel (Rezeika, 2017). Transesterifikasi adalah reaksi kimia antara satu mol trigliserida dan tiga mol alkohol yang menghasilkan tiga mol biodiesel dan satu mol gliserol, yang dapat berlangsung dengan atau tanpa katalis untuk mengubah minyak menjadi biodiesel (Arif, *et al.*, 2025). Reaksi transesterifikasi TGA pada minyak dengan metanol dilihat pada persamaan Gambar 5 (Bani & David, 2022).



Gambar 5. Reaksi transesterifikasi minyak terhadap metanol.

Minyak jelantah dipilih sebagai bahan baku karena murah, efektif, dan mudah dikonversi menjadi biodiesel melalui transesterifikasi (Awogbemi, *et al.*, 2025). Penggunaan alkohol yang umum digunakan adalah metanol, yang memiliki keunggulan berupa harga yang relatif murah serta rantai karbon yang pendek, sehingga mempermudah untuk proses terbentuknya biodiesel (Rezeika, 2017). Katalis heterogen CaO/rGO berbasis limbah biomassa efektif menurunkan biaya produksi dan meningkatkan kualitas biodiesel, serta mendukung proses sintesis yang berkelanjutan (Awogbemi, *et al.*, 2025). Mekanisme reaksi transesterifikasi dapat dilihat pada Gambar 6 (Pattiasina, *et al.*, 2025).



Gambar 6. Mekanisme Transesterifikasi.

proses transesterifikasi dilakukan pada suhu 55–60°C untuk menjaga kestabilan pelarut metanol dan memastikan reaksi berlangsung secara optimal dan efisien (Agusliana, *et al.*, 2022). Setelah proses refluks selesai, campuran dipisahkan menggunakan corong pisah menjadi dua fase berdasarkan perbedaan massa jenis, yaitu fase atas metil ester dan fase bawah gliserol (Deli, *et al.*, 2024). Biodiesel kemudian dicuci dengan akuades hangat untuk menghilangkan sisa alkohol, gliserol, sabun, dan katalis berlebih (Arif, *et al.*, 2025). Hasil biodiesel yang diperoleh dari proses ini disajikan pada Tabel 1 berikut, yang menunjukkan kualitas produk setelah tahap pemurnian.

Tabel 1. Hasil Rendemen Biodiesel

Variasi rasio	Variasi katalis	Konsentrasi per liter medium
1:9	(-)	65%
1:6	1%	79%
1:9	0,5%	80%
1:9	1%	86%
1:12	1%	89,5%

Berdasarkan data tabel, rasio minyak terhadap metanol 1:12 dengan penggunaan katalis 1% menghasilkan rendemen biodiesel tertinggi sebesar 89,5%. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan rasio metanol secara signifikan meningkatkan rendemen, dan katalis CaO/rGO efektif dalam mencapai hasil maksimal tersebut. Temuan ini sejalan dengan (Lin Nan, *et al.*, 2024). Melaporkan bahwa modifikasi CaO dengan pendukung karbon meningkatkan aktivitas katalitik dan efisiensi produksi biodiesel.

Pemilihan dan konsentrasi katalis merupakan faktor krusial yang berpengaruh signifikan terhadap rendemen biodiesel. Penelitian oleh (Bani & David, 2022) menunjukkan bahwa rentang konsentrasi katalis antara 3% hingga 6% memberikan dampak yang berbeda terhadap hasil konversi. Pada konsentrasi katalis 3%, rendemen biodiesel mencapai 86,6%, namun pada rentang 4% hingga 6%, justru menyebabkan penurunan rendemen

hingga 80,5%. Penurunan ini diduga akibat terjadinya saponifikasi pembentukan sabun yang menghambat reaksi transesterifikasi serta mengganggu proses pemisahan produk. Oleh karena itu, penggunaan katalis secara berlebihan dapat menurunkan efisiensi reaksi, sehingga konsentrasi katalis optimal perlu ditentukan untuk memaksimalkan rendemen biodiesel.

Penentuan variasi rasio minyak terhadap metanol sangat penting karena penambahan metanol secara teori dapat menggeser kesetimbangan reaksi transesterifikasi ke arah produk, sehingga meningkatkan rendemen biodiesel yang diperoleh. Namun, penambahan metanol yang berlebihan melewati batas optimum justru dapat menurunkan rendemen karena produk samping seperti gliserol dapat larut dalam metanol, menyebabkan pergeseran kesetimbangan reaksi ke arah reaktan dan menghambat pemisahan fase produk (Bani & David, 2022).

hasil pengujian mutu biodiesel dari variasi perbandingan minyak: metanol dengan dan tanpa penambahan katalis, yang kemudian dibandingkan dengan standar mutu SNI (Standard Nasional Indonesia). Dapat dijabarkan sebagai berikut:

- **Massa Jenis 40°C:** Semua sampel, baik dengan maupun tanpa katalis, memenuhi standar SNI dengan nilai antara 858,55–863,53 kg/m³ (standar: 850–890 kg/m³).
- **Viskositas 40°C:** Semua sampel tidak memenuhi standar SNI (2,3–6,0 mm²/s), Nilai lainnya terlalu rendah (<0,3 mm²/s), menandakan kemungkinan proses transesterifikasi kurang optimal.
- **Bilangan Asam:** Umumnya, hasil memenuhi standar SNI (maks. 0,5 mg-KOH/g), kecuali sampel tanpa katalis (0,61 mg-KOH/g), yang melampaui batas standar.
- **Kadar Air:** Kebanyakan sampel memenuhi SNI (maks. 0,05%),

namun beberapa sampel seperti variasi 1:9 K 0,5 g, 1:6 K 1 g, dan tanpa katalis tidak memenuhi karena kadar airnya di atas batas standar.

- **Titik Nyala:** Semua sampel memenuhi batas minimal standar SNI ($>100^{\circ}\text{C}$) dengan nilai antara $150,3\text{--}162,3^{\circ}\text{C}$.

4. Kesimpulan

1. Katalis CaO/rGO perbandingan 1:12 dapat meningkatkan biodiesel sebesar 89,5%.
2. Penelitian ini memenuhi standar SNI titik nyala, bilangan asam, kadar air, massa jenis, dan tidak memenuhi SNI untuk parameter viskositas.

Ucapan Terimakasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Sukabumi dan BSIP-TRI Sukabumi atas fasilitas penunjang yang telah disediakan.

Daftar Pustaka

- Agusliana, S., Ruslan, K., Suryanto, A. (2022). Pembuatan Biodiesel Dengan Penambahan Katalis CaO Dari Cangkang Telur. *Journal of Technology Process*. Vol 2(2): 90 – 95.
- Aldo S V dan Timothy A S. 2023. Pembuatan Komposit *Gaphene Oxide* (GO) Dan CaO Sebagai Katalis Pembuatan Biodiesel. *Skripsi*. Universitas Katolik Widya Mandala. Surabaya.
- Amrullah S. Cyrilla O. 2024. Karakterisasi Biodiesel dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO/SiO_2 dari Ekstrak Cangkang Telur dan Sekam Padi. *Jurnal Pengendalian Pencemaran Lingkungan*. Vol 6(2): 2686 – 6145.
- Arif M. Adel I A. Yuanzhang Z. Mostafa K. Tareq K. El-Sayed S. Xiangkai L. 2025. Artificial intelligence and machine learning models application in biodiesel optimization process and fuel properties prediction. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*.
- Awogbemi O. Dawood A. Desai. 2025. Application of computational technologies for transesterification of waste cooking oil into biodiesel. *Biomass and Bioenergy*. Vol 194.
- Badan Standar Nasional. 2015. *SNI 7182:2015. Biodiesel*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.
- Bani O. David T. 2022. Pengujian Kualitas Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit Dengan Katalis Heterogen Abu Daun Kucai (*Allium schoenoprasum*): Parameter Berat Katalis, Rasio Mol Minyak Terhadap Metanol dan Waktu Reaksi. *Jurnal Teknik Kimia USU*. Vol 11(2): 80-88.
- Borah M J. Anuchaya D. Raktim A S. Dhanapati D. 2018. Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Catalyzed by In-Situ Decorated TiO_2 on Reduced Gaphene Oxide Nanocomposite. *Energy*. Vol 158: 881 – 889.
- Deli N A. Antonius J S. Hanifah K. 2024. Produksi Biodiesel Dari Minyak Goreng Bekas Menggunakan Katalis Abu Tandan Kosong Sawit. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*. Vol 7(1): 490 – 497.
- Fauziah E. 2024. Sintesis dan Karakterisasi Grafena Oksida Tereduksi (rGO) Sebagai Elektrolit Padat Pada Baterai. [Skripsi]. Sukabumi: Universitas Muhammadiyah Sukabumi.
- Hidayat A. Soni S. Eko P H. 2018. Sintesis Oksida Grafena Tereduksi (rGO) Dari Arang Tempurung Kelapa (*Cocos nucifera*). *al-Kimiya*. Vol 5(2): 68-73.
- Intani E T. Mohammad P B. Ngatirah. 2025. Utilization of Trembesi Leaves and Mendong Plants as Bioadsorbents for Used Cooking

- Oil Purification. *Jurnal Sains dan Terapan Kimia*. Vol X(X): 6-12.
- Kanta U, Voranuch T, Weredesh S, Nutthapon W, and Jatuphorn W. 2017. Preparations, Characterizations, and a Comparative Study on Phototatic Performance of Two Different Type of Graphene/TiO₂ Nanocomposite Photoelectrodes. *Journal of Nanomaterials*. Pp 1-13.
- Kholidah N. 2014. Laporan Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat Menyelesaikan pendidikan S1 Terapan Jurusan Teknik Kimia Program Studi S1 (Terapan) Teknik Energi. *Skripsi*. Politeknik Negeri Sriwijaya. Palembang.
- Komis Leni A. Amiliza M. Tantri O. Yuni M. 2024. Analisis Kadar Kalsium (CaO) Pada Batu Karang Di Pulau Kelagian Kecil Lampung. Vol 9(2): 99 – 104.
- Lin Nan. Xiangying M. Boyang X. 2024. rGO CaO/NiO as a Bifunctional Heterogeneous Nanocatalyst for High-quality Biodiesel Production from Degaded Waste Oil by Microwave-assisted: Diesel Engine Parameters Assessment. *Journal Renewable Energy Science Direct*.
- Maisari R. Latera E S. Rabiatal A. Rahmawati. Teuku A F. Rachmad A P. 2025. Produksi Biodiesel Menggunakan Katalis Komposit CaO/Karbon Aktif Dari Cangkang Kerang Dan Tandan Kosong Kelapa Sawit (Tkks) Limbah Lokal. *Hadron Jurnal Fisika dan Terapan*. Vol 7(1): 2715-9469.
- Melani H. Dine A. Siti M. 2024. Pengaruh Suhu Dalam Katalis Reaksi Transesterifikasi Biodiesel Dari Minyak Jelantah Menggunakan Katalis CaO Cangkang Keong Mas (*Pomacea canaliculata Lamarck*). *Jurnal Pendidikan Dan Aplikasi Teknologi*. Vol 11(1): 40 – 46. Vol 11(2): 2085 – 1669.
- Oko S. Mustafa. Andri K. Nur A M. 2020. Pemurnian Minyak Jelantah Dengan Metode Adsorpsi Menggunakan Arang Aktif Dari Serbuk Gergaji Kayu Ulin (*Eusideroxylon zwageri*). *Jurnal riset teknologi industri*. Vol 14 (2): 124-132.
- Pattiasina P M. Wayan I S. Hellna T. 2023. Biodiesel From the Waste Cooking Oil Is Catalyzed by Eggshell of Purebred Chicken with Metanol as A Solvent. *Pattimura Journal of Biology and Learning*. Vol 3(1): 71 – 74.
- Pratigto S. Istadi I. Dyah H W. 2019. Karakterisasi Katalis CaO dan Uji Aktivitas pada Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Kedelai. *Media Komunikasi Rekayasa Proses dan Teknologi Tepat Guna*. Vol 15(2):57-64.
- Putri D R. Muh I. Mardhiyah N. 2024. Pengaruh Jenis Katalis Pada Pembuatan Biodiesel Dari Minyak Jelantah. *Jurnal Pendidikan Kimia dan Ilmu Kimia*. Vol 7(2): 2621 – 3060.
- Putri NA. 2021. Sintesis Reduced Graphene Oxide (rGO) Dengan Metode Hummer Termodifikasi. [Skripsi]. Malang: Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
- Rezeika S H. 2017. Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Katalis NaOH Dengan Variasi Waktu Reaksi Transesterifikasi Dan Uji Performanya Pada Mesin Diesel. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Santos Dos T C. Evelyn C S S. Julianna P D. Jade B. Fernando L S. Celia M R. 2019. Reduced Graphene Oxide as An Excellent Platform to Produce a Stable Brønsted Acid Catalyst for Biodiesel Production. *Fuel*. Vol 256: 1 – 10.
- Sari A P. 2014. Pengaruh Temperatur Kalsinasi Pada Pembentukan

- Lithium Iron Phosphate (LFP) Dengan Metode Solid State. *Skripsi*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Sativa F I O. Tia A W C. Rizky N N. Eka M A P. Ahmad F A. Elvianto D D. 2024. Proses Interesterifikasi Minyak Jelantah Menjadi Metil Ester Dengan Biokatalis Ekstrak Daun Salam (*Syzygium polyanthum*). *Jurnal Integasi Proses*. Vol 13(1): 29 – 33.
- Siregar E. Lisnawaty S. Jhony H S. Elfrida G. 2024. Production of Biodiesel from Candlenut Seed Oil (Aleurites Moluccana Wild) Using a NaOH/CaO/Ca Catalyst with Microwave Heating. *Journal of Scientific and Applied Chemistry*. Vol 27 (1): 21 – 27.
- Safira V R N. Muhammad B R. Fitrilawati. Norman S. 2022. Perbandingan Pendekatan Fungsi Gauss Dan Fungsi Lorentz Pada Dekomposisi Pola Xrd Oksida Grafena dan Oksida Grafena Tereduksi. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*. Vol 12(01): 34 – 43.
- Taufantari Y. Irdawati. Raka L A. Asih A. 2016. Synthesis and Characterization of Graphene with Graphite Oxide Reduction Method Using Zn Reducer. *Journal of Chemistry Valence*. Vol 2(1): 17 – 23.
- Zahara A. Bhayu G B. Muhammad R H. 2020. Literature Review: Pengaruh Suhu Kalsinasi Terhadap Sintesis Katalis Heterogen CaO Dari Cangkang Telur. *AMINA*. Vol 2(2): 84-91.