

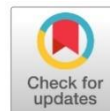


**MICROWAVE-ASSISTED TRANSESTERIFICATION UNTUK
PRODUKSI BIODIESEL DARI *CALOPHYLLUM INOPHYLLUM* L.:
EFEK JENIS KATALIS DAN WAKTU TRANSESTERIFIKASI**

Ansori Ansori

Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Jember
Jalan Kalimantan No.37, Krajan Timur, Sumbersari, Jember-68121
Korespondensi: e-mail: ansori.chem-eng@unej.ac.id

*Received: 08th Oktober 2025; Revised: 31th Oktober 2025; Accepted: 08th November 2025;
Available online: November 2022; Published regularly: November 2025*



Abstrak

*Saat ini permintaan energi meningkat seiring perkembangan perekonomian dan teknologi, tetapi kebutuhan energi masih didominasi oleh bahan bakar fosil yang tidak ramah lingkungan dan tidak terbarukan. Oleh karena itu, diperlukan adanya alternatif bahan bakar lain yang dapat diperbarui seperti biodiesel yang akan menggantikan penggunaan bahan bakar fosil (solar). Biodiesel secara komersial diproduksi melalui proses transesterifikasi antara minyak nabati dan metanol dengan adanya katalis, dimana juga dihasilkan produk samping berupa gliserol. Biodiesel dari minyak *Calophyllum inophyllum* L. dapat memberikan masa depan yang menjanjikan sebagai sumber bahan bakar terbarukan. Untuk meningkatkan yield biodiesel dan laju reaksi, metode microwave dan penambahan katalis digunakan dalam penelitian ini. Penggunaan microwave memberikan perpindahan panas yang lebih efektif karena energi langsung ditransfer ke reaktan dan dapat meminimalkan waktu transesterifikasi. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari efek antara jenis katalis basa heterogen dan waktu transesterifikasi terhadap yield, densitas, dan viskositas biodiesel. Sementara katalis yang digunakan adalah CaO dan CaCO₃ dengan waktu transesterifikasi selama 2, 6, 10, 20, dan 30 menit. Waktu optimum untuk semua jenis katalis adalah 10 menit dengan daya 300 Watt dan konsentrasi katalis 1%, dimana diperoleh nilai yield sebesar 78,92% (CaO-kulit telur), 71,07% (CaO-komersial), 65,36% (CaCO₃-kulit telur), dan 53,89% (CaCO₃-komersial). Produk biodiesel yang sesuai standar SNI dihasilkan pada katalis CaO kulit telur yang mempunyai densitas sebesar 0,8895 g/ml dan viskositas sebesar 5,7003 cSt. Sementara komponen metil ester yang terdeteksi berupa metil palmitat, metil linoleat, metil oleat, metil stearat, dan metil laurat, dimana kandungan terbesar adalah metil oleat sebesar 59,789%.*

Kata kunci: biodiesel, *Calophyllum inophyllum* L., energi, kulit telur, microwave
<https://doi.org/10.29103/jtku.v14i2.24387>



1. Pendahuluan

Pada era modern saat ini, perkembangan yang pesat di bidang teknologi dan pertumbuhan jumlah penduduk akan meningkatkan kebutuhan energi. Energi memiliki peranan yang sangat krusial dalam mendukung aktivitas perekonomian maupun perkembangan teknologi, baik sebagai bahan baku industri, bahan bakar, ataupun sebagai komoditas strategis dalam perdagangan ekspor (Hassan et al., 2022). Permintaan energi yang tinggi di dunia industri sebagian besar bersumber dari bahan bakar fosil dibandingkan dengan sumber energi alternatif lainnya sehingga akan meningkatkan masalah lingkungan akibat peningkatan emisi gas buang. Sementara tiap tahunnya mengalami peningkatan konsumsi energi sehingga cadangan bahan bakar tersebut akan semakin menipis bahkan bisa habis akibat sifatnya yang tidak dapat diperbarui (Moreau & Vuille, 2018). Dengan demikian, diperlukan alternatif bahan bakar lain yang dapat diperbarui dan ramah lingkungan untuk menggantikan penggunaan bahan bakar energi tidak terbarukan. Salah satu sumber energi yang mempunyai prospek pengembangan tinggi adalah biodiesel yang akan menggantikan bahan bakar diesel dan mengurangi tingkat polusi lingkungan (Ansori & Mahfud, 2022; Buasri & Loryuenyong, 2017; Tarigan et al., 2025). Dalam beberapa tahun terakhir ini, biodiesel sudah menjadi salah satu sumber energi yang paling prospektif dan berpotensi besar untuk mendukung sumber energi yang berkelanjutan. Hal tersebut dikarenakan biodiesel memiliki sifat *renewable* sehingga bisa menjamin kesinambungan produksi, tidak beracun, dapat terurai secara alami (*biodegradable*), angka setana dan titik nyala yang tinggi, dapat menjadi bahan bakar yang tidak mencemari lingkungan, dan tidak memerlukan modifikasi mesin (Devita et al., 2015; Hadi, 2009).

Biodiesel telah berhasil diproduksi dari beragam jenis bahan baku minyak nabati, baik yang dapat dimakan maupun yang tidak. Pemilihan bahan baku penting dalam memproduksi biodiesel karena berperan penting dalam menekan biaya produksi agar tetap ekonomis. Salah satu tanaman yang berpotensi dikembangkan sebagai bahan baku biodiesel adalah tanaman *Calophyllum inophyllum* atau nyamplung karena kandungan minyaknya yang tinggi. Hasil

minyak dari inti biji *Calophyllum inophyllum* antara 40-73% berat dasar kering. Tanaman tersebut tidak bersaing dengan kebutuhan pangan, mudah diproduksi, dan lebih ekonomis (Atabani & César, 2014). Komposisi minyak nyamplung hasil ekstraksi dari bijinya antara lain asam lemak bebas (15,76%), monogliserida (12,25%), digliserida (4,66%), trigliserida (63,91%), dan lainnya (3,42%) (Qadariyah et al., 2019). Sedangkan komposisi asam lemak dominan pada minyak nyamplung yang berasal dari pengrajin di Cilacap terdiri atas asam palmitat (15,17%), asam linoleat (29,05%), asam oleat (35,75%), dan asam stearat (17,95%) dengan nilai bilangan asam 59,94 mg KOH/g atau kadar asam lemak bebas mencapai 29,53% (Hasibuan et al., 2013).

Biodiesel secara komersial diproduksi melalui proses transesterifikasi antara minyak nabati dan metanol dengan adanya katalis, dimana juga dihasilkan produk samping berupa gliserol. Proses transesterifikasi dimulai dengan tahap pencampuran antara katalis dan metanol sehingga membentuk gugus metoksida aktif. Gugus tersebut selanjutnya berikatan dengan karbokation pada gugus karboksilat trigliserida hingga terbentuk *intermediat* berupa alkoksikarbonil. Metil ester dan gliserida akan terbentuk ketika gugus karboksilat terlepas akibat adanya perpindahan elektron (Christina et al., 2013). Proses transesterifikasi dilakukan secara *batch* dikarenakan tidak membutuhkan banyak peralatan dan lebih mudah dalam mengontrol reaksinya (R. P. Putra et al., 2012). Selain itu, pemilihan sumber energi yang akan digunakan dalam memproduksi biodiesel memiliki peranan yang penting karena biodiesel termasuk energi terbarukan sehingga proses produksinya perlu memprioritaskan keefektifan penggunaan energi (Khemthong et al., 2012; Motasemi & Ani, 2012; Suryanto et al., 2015b; Tarigan et al., 2025). Dalam memproduksi biodiesel, terdapat banyak metode yang dilakukan guna mempercepat laju reaksi serta meningkatkan *yield* biodiesel, diantaranya dengan adanya katalis (Buasri & Loryuenyong, 2017; Kusuma et al., 2018; Muarif et al., 2024; M. D. Putra et al., 2017; Tan et al., 2015), enzim (Norjannah et al., 2016), tanpa katalis dengan kondisi superkritis (Silva & Oliveira, 2014), *hotplate stirrer* (Haryono, Rahayu, et al., 2016; Khaidir et al., 2015), *microwave* (Ansori et al., 2019; Mahfud et al., 2025; Motasemi & Ani,

2012; Suryanto et al., 2015a), *ultrasound* (Ashok et al., 2024; Haryono, Solihudin, et al., 2016), dan lain-lain. Sedangkan untuk mengurangi biaya operasional dan kondisi operasi yang lebih rendah, maka dilakukan dengan metode transesterifikasi kimia dengan katalis menggunakan bantuan *microwave*. Penggunaan radiasi gelombang mikro terbukti menjadi metode terbaik dalam mempercepat laju reaksi karena mekanisme pemanasannya memungkinkan energi diserap secara langsung oleh reaktan. Sehingga perpindahan panas lebih efektif dari pada pemanasan konvensional dan dapat meminimalkan waktu transesterifikasi dengan *yield* yang tinggi (Khemthong et al., 2012; Kusuma et al., 2018; Motasemi & Ani, 2012; Suryanto et al., 2015b; Tarigan et al., 2025).

Pemilihan katalis juga merupakan faktor penting dalam produksi biodiesel untuk mendapatkan biaya produksi yang rendah. Secara umum, proses transesterifikasi memanfaatkan katalis homogen basa kuat, misalnya KOH dan NaOH yang diketahui menunjukkan aktivitas katalitik yang baik. Namun, penggunaan jenis katalis tersebut mempunyai keterbatasan, terutama pada tahap pemisahan karena sukar memisahkan katalis dari campuran reaksinya sehingga tidak memungkinkan untuk digunakan berulang kali. Kondisi ini menyebabkan katalis berpotensi terbuang bersama limbah reaksi dan dapat menimbulkan dampak pencemaran lingkungan. Sebagai upaya dalam menghindari permasalahan tersebut, proses produksi biodiesel dapat memanfaatkan katalis heterogen, misalnya CaO dan CaCO₃ yang lebih mudah pemisahannya. Keunggulan lainnya adalah katalis heterogen mudah dipulihkan, dapat digunakan kembali, harganya relatif lebih murah, dan dapat meminimalkan proses pemurnian (Buasri & Loryuenyong, 2017; Khemthong et al., 2012; Tan et al., 2015; Tarigan et al., 2025). Katalis CaO dapat disintesis dari CaCO₃ melalui proses kalsinasi. Kulit telur merupakan salah satu sumber kalsium karbonat (CaCO₃) yang mudah ditemukan di lingkungan sekitar dan berpotensi dimanfaatkan sebagai bahan dasar pembuatan katalis karena mempunyai kandungan CaCO₃ dalam jumlah yang cukup tinggi (Ansori et al., 2019; Muarif et al., 2024; M. D. Putra et al., 2017; Sekaringgalih et al., 2025). Kulit telur yang sudah dikalsinasi dan digunakan sebagai katalis dapat menghasilkan lebih dari 90% FAME (*Fatty Acid Methyl*

Esters) dalam produksi biodiesel (Khemthong et al., 2012; Tan et al., 2015; Tarigan et al., 2025).

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mempelajari efek antara jenis katalis heterogen dan waktu transesterifikasi pada proses produksi biodiesel dari minyak *Calophyllum inophyllum L.* dengan bantuan *microwave*. Selanjutnya, analisa produk biodiesel yang meliputi *yield*, densitas, viskositas, dan komponen pada biodiesel dan dilakukan perbandingan terhadap standar mutu biodiesel yang ditetapkan dalam SNI 7182: 2015.

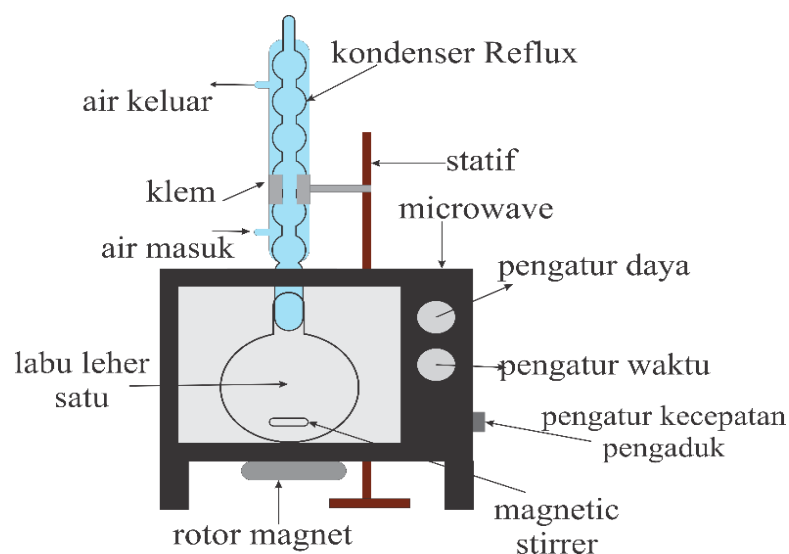
2. Bahan dan Metode

2.1 Bahan dan Alat Penelitian

Minyak nyamplung (*Calophyllum inophyllum L.*) mentah yang digunakan sebagai bahan baku utama pada penelitian ini didapatkan secara komersial dari daerah Cilacap, Jawa Tengah, Indonesia. Selain itu, bahan pendukungnya berupa metanol teknis 98%, asam fosfat teknis 85%, asam sulfat *pure analys*, CaO-kulit telur, CaO-komersial, CaCO₃-kulit telur, CaCO₃-komersial, dan akuades. Sedangkan peralatan yang digunakan terdiri dari oven *microwave*, kondensor *Reflux*, labu bulat leher satu, corong pisah, *magnetic stirrer*, gelas ukur, statif, klem holder, erlenmeyer, *beaker glass*, *hot plate stirrer*, termometer, pompa vakum, corong *buchner*, buret, pipet tetes, kertas saring, botol vial, spatula, selang, picnometer, viskometer *ostwald*, dan neraca analitik.

2.2 Microwave-Assisted Transesterification

Microwave-assisted transesterification terdiri dari oven *microwave* (EMM2308X, Electrolux, daya maksimum 800 Watt) untuk sumber panas yang dilengkapi *magnetic stirrer* dalam proses esterifikasi dan transesterifikasi (Gambar 1). Reaktor labu bulat leher satu 1000 mL berada dalam *microwave* yang dihubungkan dengan kondensor Refluks melalui lubang yang terdapat di bagian atas *microwave* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Lubang tersebut ditutup dengan PTFE untuk mencegah radiasi keluar dari *microwave*.



Gambar 1. Rangkaian Alat *Microwave-Assisted Transesterification*

Penelitian ini dimulai dengan melakukan uji kandungan asam lemak bebas (ALB) pada minyak sebelum ke proses transesterifikasi. Minyak *Calophyllum inophyllum* L. mempunyai kandungan ALB dan viskositas yang tinggi sehingga diperlukan beberapa tahap *pre-treatment* seperti proses *degumming* dan esterifikasi sebelum dilanjutkan ke proses transesterifikasi. Hasil *pre-treatment* minyak *Calophyllum inophyllum* L. menjadi *crude* biodiesel telah dilaporkan sebelumnya oleh Ansori et al., (2025), dimana nilai viskositas sebesar 22,3905 cSt dan ALB sebesar 0,4076% pada kondisi operasi esterifikasi yaitu perbandingan mol minyak/metanol sebesar 1:40 dengan bantuan katalis asam sulfat murni sebanyak 10% (w/w) pada daya microwave 450 Watt selama 20 menit. Karena kadar ALB < 2%, maka dapat dilanjutkan ke proses transesterifikasi. Proses transesterifikasi dimulai dengan mencampurkan metanol (rasio mol minyak terhadap metanol 1:9) dan konsentrasi katalis 1% (b/b), kemudian diaduk selama 2 menit sehingga terbentuk campuran metoksida. Selanjutnya campuran metoksida tersebut dituangkan ke dalam reaktor yang sudah diisi dengan minyak hasil esterifikasi yang sebelumnya sudah dipanaskan terlebih dahulu. Proses transesterifikasi dilakukan dengan pengadukan konstan menggunakan *magnetic stirrer* pada daya *microwave* 300 Watt selama waktu transesterifikasi 2, 6, 10, 20, dan 30 menit. Setelah transesterifikasi selesai, hasil reaksi yang diperoleh berupa campuran sisa reaktan (metanol dan minyak), gliserol, metil ester, dan katalis.

Katalis CaO-kulit telur, CaO-komersial, CaCO₃-kulit telur, dan CaCO₃-komersial yang digunakan merupakan katalis yang sama dengan penelitian sebelumnya (Ansori et al., 2019; Qadariyah et al., 2019), dimana sudah dilaporkan terkait hasil karakteristik dari masing-masing jenis katalis menggunakan XRD. Katalis heterogen tersebut dipisahkan melalui penyaringan dengan kertas saring dan corong *Buchner* yang dibantu oleh pompa vakum. Selanjutnya, pemisahan antara biodiesel dan komponen pengotor dilakukan dengan corong pisah dan dicuci menggunakan akuades hangat (60°C). Setelah itu, produk dikeringkan pada suhu 110°C di dalam oven untuk mengurangi kadar air dalam produk biodiesel. *Yield* didefinisikan sebagai rasio antara massa produk yang diperoleh terhadap massa awal bahan baku berupa minyak *Calophyllum inophyllum L.* Pendekatan penurunan viskositas minyak nyamplung menjadi biodiesel berdasarkan persamaan Arrhenius digunakan untuk menentukan tingkat kemurnian produk (Tesfa et al., 2010). Perhitungan kadar biodiesel pada berbagai variabel dilakukan dengan mengacu pada persamaan (1). Sedangkan *yield* biodiesel dapat dihitung menggunakan persamaan (2).

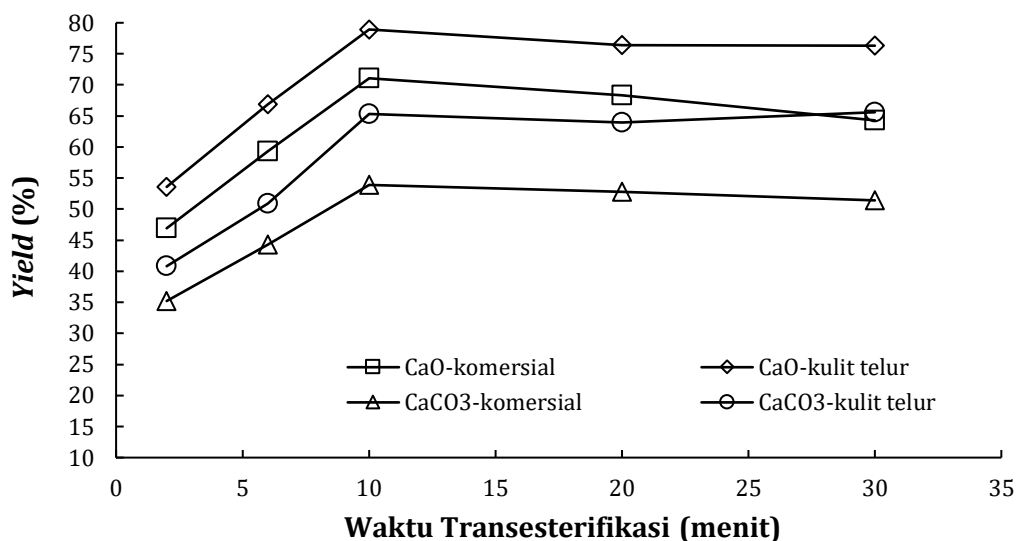
$$\text{kadar biodiesel} = \frac{\ln \eta_{\text{minyak}} - \ln \eta_{\text{biodiesel}}}{\ln \eta_{\text{minyak}} - \ln \eta_{\text{blending}}} \quad (1)$$

$$\text{Yield biodiesel} = \frac{\text{Kadar biodiesel} \times \text{Massa produk transesterifikasi}}{\text{Massa minyak nyamplung setelah degumming}} \quad (2)$$

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Efek antara Jenis Katalis dan Waktu Transesterifikasi terhadap *Yield Biodiesel*

Dalam upaya menentukan kondisi reaksi yang optimal, penting untuk menganalisis efek antara jenis katalis dan waktu transesterifikasi terhadap *yield*, mengingat parameter tersebut memiliki keterkaitan erat dengan aspek ekonomi dalam proses produksi. Untuk mengkaji efek antara jenis katalis dan waktu transesterifikasi terhadap *yield* biodiesel, percobaan dilakukan dengan menggunakan daya *microwave* sebesar 300 Watt dan konsentrasi katalis 1% (b/b) pada berbagai jenis katalis selama waktu transesterifikasi 2, 6, 10, 20, dan 30 menit.



Gambar 2. Efek antara Jenis Katalis dan Waktu Transesterifikasi terhadap *Yield* Biodiesel dengan Konsentrasi Katalis 1% dan Daya *Microwave* 300 Watt

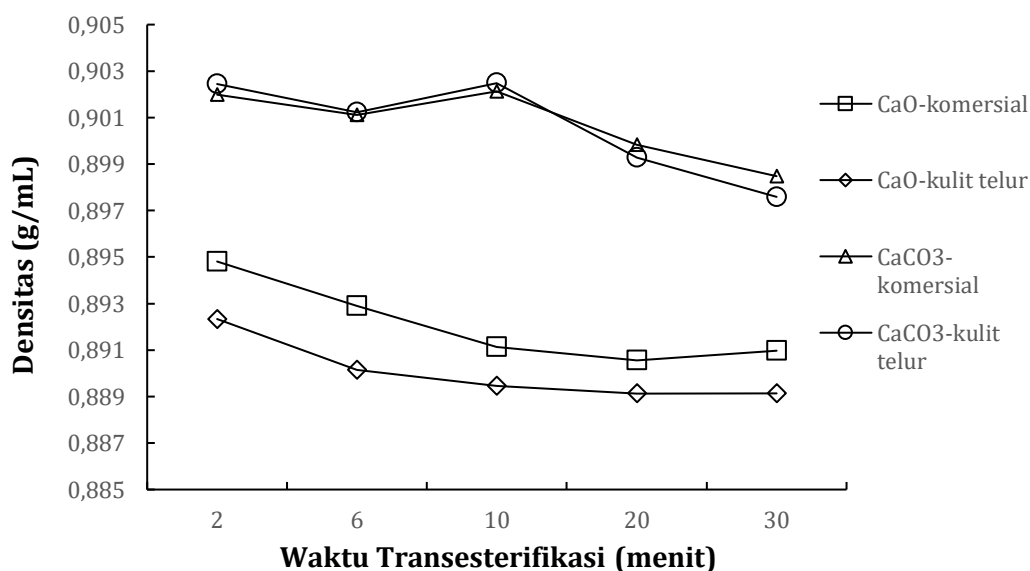
Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa pada rentang waktu transesterifikasi antara 2 hingga 30 menit pada penggunaan katalis basa heterogen, yaitu CaO yang disintesis dari kulit telur, CaO-komersial, CaCO₃ dari kulit telur, dan CaCO₃-komersial, terjadi peningkatan nilai *yield* dengan pola kecenderungan yang relatif serupa. Peningkatan *yield* tersebut disebabkan oleh semakin lamanya waktu transesterifikasi yang memungkinkan jumlah trigliserida dalam minyak *Calophyllum inophyllum L.* bereaksi lebih banyak dengan metanol, sehingga dihasilkan *yield* biodiesel yang lebih tinggi. Pemilihan daya *microwave* sebesar 300 Watt didasarkan dari hasil penelitian sebelumnya, dimana daya tersebut terbukti memberikan hasil paling optimal (Ansori et al., 2019). Selain itu, dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa waktu transesterifikasi yang optimum untuk semua jenis katalis diperoleh pada menit ke-10, dimana diperoleh nilai *yield* sebesar 78,92% (CaO-kulit telur), 71,07% (CaO-komersial), 65,36% (CaCO₃-kulit telur), dan 53,89% (CaCO₃-komersial). Nilai *yield* yang lebih kecil pada waktu transesterifikasi di bawah 10 menit disebabkan oleh belum sempurnanya proses transesterifikasi yang terjadi, sehingga sebagian trigliserida dalam minyak *Calophyllum inophyllum L.* belum sepenuhnya terkonversi menjadi biodiesel. Sebaliknya, penambahan waktu reaksi lebih dari 10 menit justru menyebabkan

penurunan *yield* akibat terjadinya pergeseran kesetimbangan reaksi. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada menit ke-10, reaksi transesterifikasi telah mencapai titik kesetimbangan, sehingga penambahan waktu transesterifikasi tidak memberikan peningkatan hasil yang signifikan (Khemthong et al., 2012; Suryanto et al., 2015b, 2018; Tarigan et al., 2025). Fenomena ini sesuai dengan teori yang menyatakan bahwa reaksi transesterifikasi bersifat *reversible*, dimana ketika kesetimbangan reaksi telah tercapai, pergeseran reaksi cenderung terjadi ke arah pembentukan reaktan kembali, yang pada akhirnya menurunkan konsentrasi produk serta memperlambat laju reaksi (Atadashi et al., 2013). Sementara itu hasil yang dilaporkan oleh Tan et al., (2015) terkait transesterifikasi dari minyak jelantah. produksi biodiesel cepat pada tahap awal reaksi dan mencapai optimum dalam waktu sekitar 2 jam, akan tetapi hasil berkurang seiring bertambahnya waktu. Selain itu, Haryono, Solihudin, et al., (2016) melaporkan bahwa penurunan *yield* biodiesel pada waktu transesterifikasi selama tiga jam dikarenakan adanya penggerusan ukuran partikel CaO, yang mengakibatkan sebagian biodiesel terperangkap di dalam mikropori katalis dan ikut terbawa selama tahap pemisahan katalis dari produk biodiesel. Apabila ditinjau dari segi katalis, katalis heterogen memiliki keunggulan karena dapat digunakan kembali pada siklus berikutnya serta lebih mudah dipisahkan dari campuran reaksinya. Katalis CaO memiliki situs oksida anion dan situs basa permukaan yang jauh lebih kuat dan aktif dibandingkan CaCO₃, sehingga lebih efisien dalam memfasilitasi pembentukan metoksida aktif. Selain itu, CaO mempunyai struktur mikropori dan luas permukaan spesifik yang lebih tinggi sehingga meningkatkan aksesibilitas reaktan ke situs aktif (Basumatary et al., 2023; Khemthong et al., 2012; Liu et al., 2008; Tan et al., 2015; Tarigan et al., 2025). Sedangkan dari waktu reaksinya, proses transesterifikasi dengan bantuan *microwave* jauh lebih cepat (dalam menit) dibandingkan dengan metode konvensional yang memerlukan waktu reaksi dalam skala jam (Haryono, Rahayu, et al., 2016; Khemthong et al., 2012; Muarif et al., 2024; Suryanto et al., 2015b). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penerapan teknologi *microwave* pada proses transesterifikasi memberikan

keuntungan dari segi efisiensi dan selektivitas waktu reaksi dalam menghasilkan konversi biodiesel yang optimal.

3.2 Efek antara Jenis Katalis dan Waktu Transesterifikasi terhadap Densitas Biodiesel

Densitas merupakan salah satu parameter penting biodiesel yang harus terpenuhi supaya dapat beroperasi secara optimum dalam mesin diesel (Tesfa et al., 2010). Secara konseptual, densitas didefinisikan sebagai rasio antara massa zat terhadap volumenya pada suhu tertentu. Pengukuran densitas dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan piknometer berkapasitas 5 mL. Berdasarkan ketentuan dalam standar mutu SNI 7182:2015, rentang densitas yang diperbolehkan untuk biodiesel pada suhu 40°C adalah 0,850 hingga 0,890 g/mL.



Gambar 3. Efek antara Jenis Katalis dan Waktu Transesterifikasi terhadap Densitas Biodiesel dengan Konsentrasi Katalis 1% dan Daya *Microwave* 300 Watt

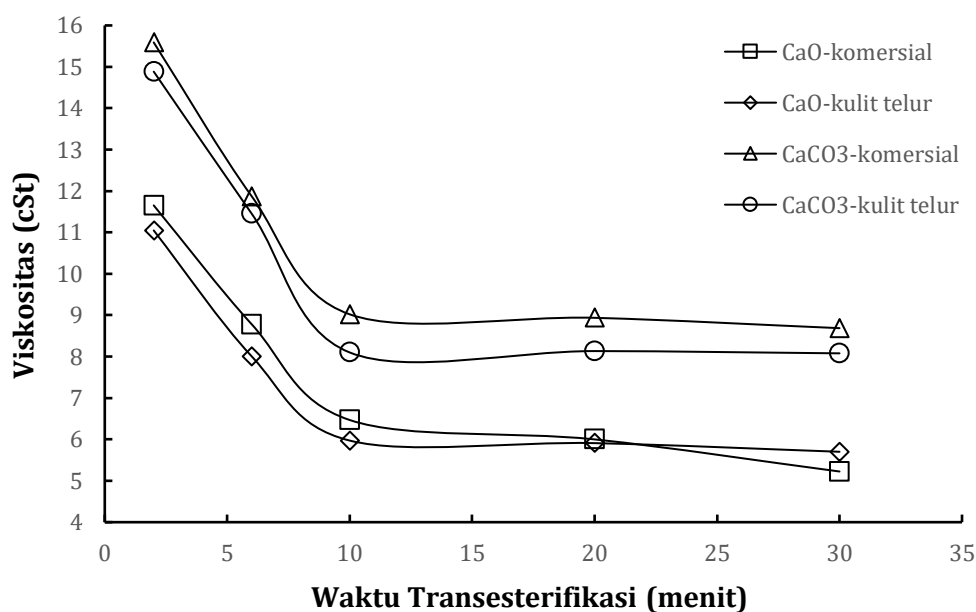
Pada Gambar 3 mempresentasikan efek jenis katalis basa heterogen dan waktu transesterifikasi terhadap densitas produk biodiesel pada konsentrasi katalis 1% serta daya *microwave* 300 Watt. Berdasarkan Gambar 3, terlihat bahwa nilai densitas biodiesel yang diperoleh pada rentang waktu transesterifikasi antara 2 hingga 30 menit menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya waktu reaksi. Penurunan densitas tersebut memperlihatkan pola

yang serupa antara katalis CaO yang disintesis dari kulit telur dan CaO-komersial, demikian pula pada katalis CaCO₃ yang berasal dari kulit telur maupun CaCO₃-komersial. Kondisi optimum untuk semua jenis katalis basa heterogen dicapai pada waktu transesterifikasi selama 30 menit, dimana nilai densitas produk biodiesel yang diperoleh sebesar 0,8891 g/ml (CaO-kulit telur), 0,8910 g/ml (CaO-komersial), 0,8976 g/ml (CaCO₃-kulit telur), dan 0,8985 g/ml (CaCO₃-komersial). Selain itu, dapat dilihat pada Gambar 3 bahwa jenis katalis yang digunakan berpengaruh terhadap nilai densitas biodiesel yang diperoleh. Densitas terendah diperoleh pada penggunaan katalis CaO yang disintesis dari kulit telur sebesar 0,8891 g/mL, dimana telah memenuhi standar densitas biodiesel berdasarkan SNI 7182:2015. Sementara itu, nilai densitas biodiesel yang diperoleh jenis katalis lainnya pada waktu reaksi 30 menit masih di luar rentang yang ditetapkan oleh SNI. Sementara Khaidir et al., (2015) menjelaskan bahwa kecil ataupun besarnya nilai densitas biodiesel dipengaruhi oleh massa molekul asam lemak penyusunnya dan derajat ketidakjenuhannya. Selain itu, tingginya nilai densitas juga dapat disebabkan oleh keberadaan senyawa pengotor, seperti sisa metanol, asam lemak yang belum sepenuhnya terkonversi menjadi biodiesel, kandungan air, ataupun sisa gliserol dalam produk biodiesel (Saroso & Ardiansyah, 2017). Proses pemisahan gliserol dari biodiesel yang tidak sempurna akan menyebabkan sisa gliserol masih terdapat dalam produk biodiesel. Sementara proses pemisahannya dilakukan secara manual dengan menggunakan corong pisah. Oleh karena itu, apabila pemisahan gliserol tidak berlangsung secara optimal, sisa gliserol yang masih terperangkap dalam biodiesel dapat berkontribusi terhadap peningkatan nilai densitas biodiesel (Widyasanti et al., 2017).

3.3 Efek antara Jenis Katalis dan Waktu Transesterifikasi terhadap Viskositas Biodiesel

Viskositas kinematik adalah parameter yang menggambarkan besarnya hambatan atau gaya gesek terhadap laju alir suatu fluida pada suhu tertentu. Pembuatan biodiesel dari minyak nyamplung akan menurunkan nilai viskositas

kinematik. Berdasarkan ketentuan dalam standar mutu SNI 7182: 2015, kisaran nilai viskositas biodiesel yang memenuhi standar mutu pada suhu 40°C, yaitu 2,3 hingga 6,0 cSt.



Gambar 4. Efek antara Jenis Katalis dan Waktu Transesterifikasi terhadap Viskositas Biodiesel dengan Konsentrasi Katalis 1% dan Daya *Microwave* 300 Watt

Berdasarkan Gambar 4, dapat diamati bahwa peningkatan waktu reaksi transesterifikasi berkontribusi terhadap penurunan nilai viskositas biodiesel yang diperoleh untuk semua jenis katalis basa heterogen. Kondisi optimum diperoleh selama waktu transesterifikasi 30 menit dengan konsentrasi katalis 1% dan daya 300 Watt, dimana nilai viskositas yang diperoleh sebesar 5,7003 cSt (CaO-kulit telur), 5,2240 cSt (CaO-komersial), 8,0788 cSt (CaCO₃-kulit telur), dan 8,6867 cSt (CaCO₃-komersial). Nilai viskositas yang memenuhi standar mutu SNI 7182: 2015 hanya diperoleh pada katalis berbasis CaO, sedangkan katalis berbasis CaCO₃ masih menghasilkan viskositas di atas batas standar tersebut. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian yang telah dilaporkan Haryono, Rahayu, et al., (2016) dimana memiliki pola kecenderungan yang sama, yaitu nilai viskositas biodiesel semakin turun seiring lamanya waktu transesterifikasi, dimana nilai

viskositas yang dihasilkan adalah 5,28 mm²/s. Sementara itu, Saroso & Ardiansyah, (2017) juga melaporkan mengenai proses transesterifikasi minyak nyamplung dengan katalis CaO dan NaOH menggunakan bantuan gelombang mikro yang mengindikasikan bahwa waktu pemanasan berpengaruh secara signifikan terhadap kualitas biodiesel yang diperoleh. Semakin rendah nilai viskositas biodiesel, maka semakin mudah pemompaan bahan bakar tersebut serta semakin baik pola penyemprotan yang dihasilkan (Khaidir et al., 2015). Nilai viskositas biodiesel memiliki peranan penting karena secara langsung berpengaruh terhadap kinerja mesin serta karakteristik emisi yang dihasilkan. Peningkatan nilai viskositas akan menyebabkan bertambahnya energi yang diperlukan dalam proses pemasukan dan penyemprotan bahan bakar ke ruang bakar (Tesfa et al., 2010).

3.4 Analisa Komposisi Biodiesel menggunakan *Gas Chromatography* (GC)

Dalam penelitian ini, analisa dilakukan menggunakan metode *Gas Chromatography* (GC) untuk mengidentifikasi komponen metil ester yang terkandung dalam biodiesel dari hasil proses transesterifikasi minyak *Calophyllum inophyllum* L. menggunakan bantuan gelombang mikro pada beragam jenis katalis basa heterogen. Analisa ini bertujuan untuk menentukan komposisi relatif masing-masing metil ester terhadap total metil ester yang terbentuk dalam produk biodiesel. Hasil pengujian GC tidak dipergunakan untuk perhitungan *yield* biodiesel, karena instrumen GC terbatas pada deteksi senyawa metil ester saja tanpa mengidentifikasi senyawa lain yang mungkin masih terdapat dalam produk, sehingga tingkat kemurnian biodiesel tidak dapat diketahui secara akurat. Proses analisis GC dilakukan menggunakan peralatan kromatografi yang tersedia di Laboratorium Teknik Kimia, Universitas Surabaya.

Pada Tabel 1, menampilkan hasil perhitungan persentase komposisi relatif yang diperoleh dari pembacaan kromatogram produk biodiesel pada beragam jenis katalis basa heterogen dengan konsentrasi katalis 1% dan daya 300 Watt selama waktu transesterifikasi 10 menit. Berdasarkan data yang ditunjukkan pada Tabel 1, terlihat bahwa komponen minyak *Calophyllum inophyllum* L. yang

terkonversi menjadi metil ester dan terdeteksi melalui analisis *Gas Chromatography* meliputi metil heksanoat, metil laurat, metil stearat, metil palmitat, metil linoleat dan metil oleat. Enam komponen itu termasuk dalam golongan metil ester asam lemak atau *FAME (Fatty Acid Methyl Esters)*. Persentase komposisi relatif masing-masing komponen ditentukan berdasarkan perbandingan luas area puncak komponen terhadap total luas area seluruh metil ester yang terdeteksi. Penggunaan komposisi relatif ini didapatkan dari perhitungan yang hanya mempertimbangkan proporsi tiap komponen terhadap total senyawa FAME. Hasil analisis menunjukkan bahwa komposisi relatif biodiesel terbanyak pada katalis CaO-komersial untuk metil oleat (59,063%), metil linoleat (22,617%), dan metil palmitat (17,138%). Sedangkan pada katalis CaO-kulit telur untuk metil oleat (59,789%), metil linoleat (22,111%), dan metil palmitat (17,003%). Sementara pada katalis CaCO₃-komersial untuk metil oleat (57,557%), metil linoleat (22,129%), dan metil palmitat (19,454%). Sedangkan pada katalis CaCO₃-kulit telur untuk metil oleat (58,130%), metil linoleat (22,534%), dan metil palmitat (18,335%). Temuan ini sejalan dengan hasil yang dilaporkan oleh Hasibuan et al., (2013), dimana disebutkan bahwa komponen asam lemak terbanyak pada minyak nyamplung terdiri atas asam palmitat (15,17%), asam stearat (17,95%), asam linoleat (29,05%), dan asam oleat (35,75%).

Apabila ditinjau dari 2 komponen metil ester dengan konsentrasi tertinggi, diketahui bahwa senyawa metil oleat dan metil linoleat merupakan hasil konversi dari 2 asam lemak utama yang terdapat dalam minyak nyamplung, yakni asam linoleat (29,05%) dan asam oleat (35,75%). Berdasarkan hasil analisis, diperoleh bahwa persentase total metil ester terbanyak dijumpai pada penggunaan katalis CaO yang berasal dari kulit telur sebesar 81,900%, diikuti oleh CaO-komersial sebesar 81,680%, CaCO₃ dari kulit telur sebesar 80,664%, dan CaCO₃-komersial sebesar 79,686%. Hal tersebut menjelaskan bahwa katalis CaO yang disintesis dari kulit telur memiliki aktivitas katalitik yang lebih baik dibandingkan dengan CaO-komersial, sedangkan CaCO₃ yang diperoleh dari kulit telur menunjukkan aktivitas yang lebih tinggi dibandingkan CaCO₃-komersial. Dengan demikian,

hasil identifikasi komponen metil ester melalui analisa GC ini mengindikasikan bahwa proses produksi biodiesel dari minyak *Calophyllum inophyllum* L. menggunakan teknologi *microwave* dan katalis basa heterogen dapat dilakukan secara efektif untuk menghasilkan konversi metil ester yang lebih optimal.

Tabel 1. Komposisi Metil Ester dari Minyak *Calophyllum inophyllum* L. pada berbagai Jenis Katalis

No.	Komponen	Komposisi relatif (%)			
		CaO Kulit Telur	CaO Komersial	CaCO ₃ Kulit Telur	CaCO ₃ Komersial
1	Metil Heksanoat	-	-	0,017	-
2	Metil Laurat	0,151	0,068	0,046	0,048
3	Metil Palmitat	17,003	17,138	18,335	19,454
4	Metil Oleat	59,789	59,063	58,130	57,557
5	Metil Linoleat	22,111	22,617	22,534	22,129
6	Metil Stearat	0,946	1,114	0,938	0,812
TOTAL		100	100	100	100

4. Simpulan dan Saran

Berdasarkan temuan penelitian, disimpulkan bahwa penggunaan metode *microwave-assisted transesterification* dalam memproduksi biodiesel dari minyak *Calophyllum inophyllum* dengan katalis heterogen dapat dilakukan. Penggunaan *microwave* memberikan perpindahan panas yang lebih efektif karena energi diserap secara langsung oleh reaktan sehingga mempercepat laju reaksi dan dapat meminimalkan waktu transesterifikasi. Faktor jenis katalis dan waktu transesterifikasi mempunyai efek yang signifikan terhadap *yield*, densitas, dan viskositas biodiesel. Kondisi operasi optimum diperoleh pada waktu yang paling optimum untuk semua katalis, yakni 10 menit dengan daya 300 Watt dan konsentrasi katalis 1%, dimana diperoleh nilai *yield* sebesar 78,92% (CaO-kulit telur), 71,07% (CaO-komersial), 65,36% (CaCO₃-kulit telur), dan 53,89% (CaCO₃-komersial). Produk biodiesel yang sesuai standar SNI dihasilkan pada katalis CaO kulit telur yang mempunyai nilai densitas sebesar 0,8895 g/ml dan viskositas sebesar 5,7003 cSt. Sementara komponen metil ester yang terdeteksi

berupa metil laurat, metil stearat, metil palmitat, metil linoleat dan metil oleat, dimana kandungan terbesar adalah metil oleat sebesar 59,789%. Untuk penelitian lebih lanjut, disarankan melakukan produksi biodiesel pada kondisi operasi yang optimal dan dalam skala yang lebih besar sehingga dapat mendukung upaya komersialisasi biodiesel sebagai sumber energi terbarukan yang berkelanjutan.

5. Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) Universitas Jember atas dukungan dana yang diberikan melalui Skema Hibah Penelitian Dosen Pemula.

6. Daftar Pustaka

1. Ansori, A., & Mahfud, M. (2022). Box-Behnken Design for Optimization on Biodiesel Production from Palm Oil and Methyl Acetate using Ultrasound Assisted Interesterification Method. *Periodica Polytechnica Chemical Engineering*, 66(1), 30–42. <https://doi.org/10.3311/PPch.17610>
2. Ansori, A., Sekaringsalih, R., Raharjo, S. H., Afred, M. Y., & Nurani, Y. (2025). Utilization of Microwave Technology in the Esterification Process of Nyamplung Oil (*Calophyllum inophyllum* L.) for Biofuel Feedstock. *Berkala Sainstek*, 13(2), 87–95. <https://doi.org/10.19184/bst.v13i2.53705>
3. Ansori, A., Wibowo, S. A., Kusuma, H. S., Bhuana, D. S., & Mahfud, M. (2019). Production of Biodiesel from Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.) using Microwave with CaO Catalyst from Eggshell Waste: Optimization of Transesterification Process Parameters. *Open Chemistry*, 17(1), 1185–1197. <https://doi.org/10.1515/chem-2019-0128>
4. Ashok, C., Sankarajan, E., Kumar, P. S., Janani, G., Suresh, A. R., Muthuvelu, K. S., & Rangasamy, G. (2024). Ultrasound-assisted transesterification of waste cooking oil to biodiesel utilizing banana peel derived heterogeneous catalyst. *Biotechnology for Sustainable Materials*, 1(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s44316-024-00004-z>
5. Atabani, A. E., & César, A. D. S. (2014). *Calophyllum inophyllum* L. - A prospective non-edible biodiesel feedstock. Study of biodiesel production, properties, fatty acid composition, blending and engine performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 644–655. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.05.037>
6. Atadashi, I. M., Aroua, M. K., Abdul Aziz, A. R., & Sulaiman, N. M. N. (2013). The effects of catalysts in biodiesel production: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 19(1), 14–26. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2012.07.009>
7. Basumatary, S. F., Brahma, S., Hoque, M., Das, B. K., Selvaraj, M., Brahma,

- S., & Basumatary, S. (2023). Advances in CaO-based catalysts for sustainable biodiesel synthesis. *Green Energy and Resources*, 1(3), 100032. <https://doi.org/10.1016/j.gerr.2023.100032>
8. Buasri, A., & Loryuenyong, V. (2017). Application of waste materials as a heterogeneous catalyst for biodiesel production from *Jatropha Curcas* oil via microwave irradiation. *Materials Today: Proceedings*, 4(5), 6051–6059. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.06.093>
 9. Christina, N., Sungadi, E., Hindarso, H., & Kurniawan, Y. (2013). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Nyamplung dengan menggunakan Katalis berbasis Kalsium. *Widya Teknik*, 12(2), 26–35.
 10. Devita, L., Penyuluhan, S. T., & Medan, P. (2015). Biodiesel Sebagai Bioenergi Alternatif dan Prospektif. *Agrica Ekstensia*, Vol. 9 No., 23–26.
 11. Hadi, W. A. (2009). Pemanfaatan Minyak Biji Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L) Sebagai Bahan Bakar Minyak Pengganti Solar. *Jurnal Riset Daerah*, VIII(2), 1044–1052.
 12. Haryono, H., Rahayu, I., & Yulyati, Y. B. (2016). Biodiesel dari Minyak Goreng Sawit Bekas dengan Katalis Heterogen CaO: Studi Penentuan Rasio Mol Minyak/Metanol dan Waktu Reaksi Optimum. *Eksergi*, 13(1), 1. <https://doi.org/10.31315/e.v13i1.1413>
 13. Haryono, H., Solihudin, S., Rukiah, R., & Uryani, S. (2016). Biodiesel Dari Minyak Nyamplung Terozonisasi Melalui Esterifikasi Dan Transesterifikasi Dengan Bantuan Gelombang Ultrasonik. *Jurnal Sains Dasar*, 5(2), 148–153. <https://doi.org/10.21831/jsd.v5i2.13809>
 14. Hasibuan, S., Sahirman, & Yudawati, N. M. A. (2013). Karakteristik Fisikokimia dan antibakteri hasil purifikasi minyak biji nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L.). *AGRITECH*, 33(3), 311–319.
 15. Hassan, T., Rahman, M. M., & Rahman, M. A. (2022). Opportunities and challenges for the application of biodiesel as automotive fuel in the 21st century. *Biofuels, Bioprducts, & Biorefining*, 16, 1353–1387. <https://doi.org/10.1002/bbb.2375>
 16. Khaidir, Nasruddin, & Syahputra, D. (2015). Pengolahan Ampas Kelapa Dalam Menjadi Biodiesel pada Beberapa Variasi Konsentrasi Katalis Kalium Hidroksida (KOH). *Jurnal Samudera*, 9(2), 78–92.
 17. Khemthong, P., Luadthong, C., Nualpaeng, W., Changsuwan, P., Tongprem, P., Viriya-Empikul, N., & Faungnawakij, K. (2012). Industrial eggshell wastes as the heterogeneous catalysts for microwave-assisted biodiesel production. *Catalysis Today*, 190(1), 112–116. <https://doi.org/10.1016/j.cattod.2011.12.024>
 18. Kusuma, H. S., Ansori, A., Wibowo, S., Bhuana, D. S., & Mahfud, M. (2018). Optimization of transesterification process of biodiesel from nyamplung (*calophyllum inophyllum* linn) using microwave with CaO catalyst. *Korean Chemical Engineering Research*, 56(4), 435–440. <https://doi.org/10.9713/kcer.2018.56.4.435>
 19. Liu, X., Piao, X., Wang, Y., Zhu, S., & He, H. (2008). Calcium methoxide as a solid base catalyst for the transesterification of soybean oil to biodiesel with methanol. *Fuel*, 87(7), 1076–1082. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2007.05.059>

20. Mahfud, M., Rachmaditasari, R., Ansori, A., Suryanto, A., & Sardi, B. (2025). Optimization using Box-Behnken design of biodiesel synthesis: Microwave-assisted transesterification of coconut oil with isopropyl alcohol using $K_2O/\gamma-Al_2O_3$ catalyst. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 67, 103657. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2025.103657>
21. Moreau, V., & Vuille, F. (2018). Decoupling energy use and economic growth: Counter evidence from structural effects and embodied energy in trade. *Applied Energy*, 215(January), 54–62. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.01.044>
22. Motasemi, F., & Ani, F. N. (2012). A review on microwave-assisted production of biodiesel. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7), 4719–4733. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.03.069>
23. Muarif, A., Fatnia, F., Meriatna, M., Dewi, R., & Bahri, S. (2024). Pengaruh Suhu Dan Waktu Reaksi Terhadap Hasil Sintesis Biodiesel Dari Minyak Jelantah Dengan Penambahan Katalis Cangkang Telur Ayam. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 13(1), 58–71. <https://doi.org/10.29103/jtku.v13i1.16432>
24. Norjannah, B., Ong, H. C., Masjuki, H. H., Juan, J. C., & Chong, W. T. (2016). Enzymatic transesterification for biodiesel production: A comprehensive review. *RSC Advances*, 6(65), 60034–60055. <https://doi.org/10.1039/c6ra08062f>
25. Putra, M. D., Ristianingsih, Y., Jelita, R., Irawan, C., & Nata, I. F. (2017). Potential waste from palm empty fruit bunches and eggshells as a heterogeneous catalyst for biodiesel production. *RSC Advances*, 7(87), 55547–55554. <https://doi.org/10.1039/c7ra11031f>
26. Putra, R. P., Wibawa, G. A., Priharini, P., & Mahfud. (2012). Pembuatan Biodiesel Secara Batch Dengan Memanfaatkan Gelombang Mikro (Microwave). *Jurnal Teknik ITS*, 1(Vol 1, No 1 (2012)), F34–F37. <http://ejournal.its.ac.id/index.php/teknik/article/view/472>
27. Qadariyah, L., Ansori, A., Wibowo, S. A., Muchammad, R. S. C., Bhuana, D. S., & Mahfud, M. (2019). Biodiesel production from Calophyllum inophyllum L oil using Microwave with Calcium Carbonate catalyst. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 543(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/543/1/012072>
28. Saroso, H., & Ardiansyah, R. (2017). Transesterifikasi Minyak Nyamplung (*Calophyllum inophyllum* L) dengan Katalis CaO dan NaOH Menggunakan Microwave. *PROSIDING SENTRINOV*, 3, 1–10.
29. Sekaringgalih, R., Rachmah, A. N. L., Raharjo, S. H., & Ansori. (2025). Sintesis dan Karakterisasi Kalsium Karbonat Presipitat dari Limbah Cangkang Telur melalui Metode Karbonasi. *Jurnal Rekayasa Material, Manufaktur, Dan Energi*, 8(2), 257–265. <https://doi.org/10.30596/rmme.v8i2.24583>
30. Silva, C. Da, & Oliveira, J. V. (2014). Biodiesel production through non-catalytic supercritical transesterification: Current state and perspectives. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 31(2), 271–285. <https://doi.org/10.1590/0104-6632.20140312s00002616>

31. Suryanto, A., Suprpto, S., & Mahfud, M. (2015a). Production biodiesel from coconut oil using microwave: Effect of some parameters on transesterification reaction by NaOH catalyst. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 10(2), 162–168. <https://doi.org/10.9767/bcrec.10.2.8080.162-168>
32. Suryanto, A., Suprpto, S., & Mahfud, M. (2015b). The Production of Biofuels from Coconut Oil Using Microwave. *Modern Applied Science*, 9(7), 93. <https://doi.org/10.5539/mas.v9n7p93>
33. Suryanto, A., Zakir Sabara, H. W., Ismail, H., Artiningsih, A., Zainuddin, U., Almukmin, A., Nurichsan, U., & Niswah, F. W. (2018). Production Biodiesel from Kapok Seed Oil Using Ultrasonic. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 175(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/175/1/012023>
34. Tan, Y. H., Abdullah, M. O., Nolasco-Hipolito, C., & Taufiq-Yap, Y. H. (2015). Waste ostrich- and chicken-eggshells as heterogeneous base catalyst for biodiesel production from used cooking oil: Catalyst characterization and biodiesel yield performance. *Applied Energy*, 160, 58–70. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.09.023>
35. Tarigan, J. B., Barus, A. F., Simamora, N. T., Tarigan, R. S., Perangin-angin, S., Ginting, J., Sitepu, E. K., & Taufiq-yap, Y. H. (2025). Microwave-intensified esterification of high-free fatty acid feedstock into biodiesel using waste chicken eggshells as a heterogeneous catalyst. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 11(January), 16–18. <https://doi.org/10.1016/j.cscee.2025.101107>
36. Tesfa, B., Mishra, R., Gu, F., & Powles, N. (2010). Prediction models for density and viscosity of biodiesel and their effects on fuel supply system in CI engines. *Renewable Energy*, 35(12), 2752–2760. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.04.026>
37. Widyasanti, A., Nurjanah, S., & Sinatria, T. M. G. (2017). Pengaruh Suhu dalam Proses Transesterifikasi pada Pembuatan Biodiesel Kemiri Sunan (Reautealis Trisperma). *Jurnal Material Dan Energi Indonesia*, 7(01), 9–18. <https://doi.org/10.24198/jmei.v7i01.12051>