

Pengaruh Waktu Reaksi Katalis Silika Berbasis Tongkol Jagung Terhadap Densitas Dan Viskositas Biodiesel Sawit

Syifa Az Zahra Manurung¹, Alwi Gery Agustan Siregar^{2*}, Renita Manurung³, Haryati Ahda Nasution⁴

¹SMA Swasta Islam Namira, Suamtera Utara Medan, 20132, Indonesia

²Program studi Teknik Grafika, Jurusan Teknologi Industri, Politeknik Negeri Media Kreatif, Medan 20124, Indonesia

³Program studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Sumatera Utara, Medan 20151, Indonesia

⁴Program studi Desain Grafis, Jurusan Desain, Politeknik Negeri Media Kreatif, Medan 20124, Indonesia

Corresponding Author: Alwi Gery Agustan Siregar, E-Mail: alwi.gery@polimedia.ac.id

Published: Desember, 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh waktu reaksi katalis silika berbasis tongkol jagung terhadap densitas dan viskositas biodiesel sawit. Katalis silika disintesis dari limbah tongkol jagung dan digunakan pada reaksi transesterifikasi minyak sawit dengan variasi waktu reaksi 30, 60, 90, dan 120 menit. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan waktu reaksi dari 30 hingga 60 menit menyebabkan kenaikan densitas dan viskositas, sedangkan perpanjangan hingga 90 dan 120 menit menurunkan sekaligus menstabilkan kedua parameter mendekati kisaran biodiesel standar. Perilaku ini mengindikasikan bahwa konversi trigliserida menjadi metil ester berlangsung lebih sempurna pada waktu reaksi 90–120 menit. Dengan demikian, katalis silika tongkol jagung berpotensi diaplikasikan sebagai katalis heterogen berkelanjutan untuk produksi biodiesel sawit dengan karakteristik fisik yang sesuai persyaratan mutu

Kata Kunci: Waktu Reaksi, Tongkol Jagung, Densitas, Viskositas, Biodiesel sawit

ABSTRACT

Penelitian ini bertujuan mengevaluasi pengaruh waktu reaksi katalis silika berbasis tongkol jagung terhadap densitas dan viskositas biodiesel sawit. Katalis silika disintesis dari limbah tongkol jagung dan digunakan pada reaksi transesterifikasi minyak sawit dengan variasi waktu reaksi 30, 60, 90, dan 120 menit. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan waktu reaksi dari 30 hingga 60 menit menyebabkan kenaikan densitas dan viskositas, sedangkan perpanjangan hingga 90 dan 120 menit menurunkan sekaligus menstabilkan kedua parameter mendekati kisaran biodiesel standar. Perilaku ini mengindikasikan bahwa konversi trigliserida menjadi metil ester berlangsung lebih sempurna pada waktu reaksi 90–120 menit. Dengan demikian, katalis silika tongkol jagung berpotensi diaplikasikan sebagai katalis heterogen berkelanjutan untuk produksi biodiesel sawit dengan karakteristik fisik yang sesuai persyaratan mutu

Kata Kunci: Waktu Reaksi, Tongkol Jagung, Densitas, Viskositas, Biodiesel sawit

© The Author(s). 2025 Open Access This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons licence, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons licence, unless indicated otherwise in a credit line to the material. To view a copy of this licence, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara produsen kelapa sawit terbesar di dunia, dengan produksi minyak sawit mentah (CPO) yang terus meningkat signifikan, terutama sejak 2023 hingga awal 2024. Data asosiasi industry menunjukkan produksi 2024 sekitar 52,7 juta ton (CPO+PKO) dan diproyeksikan naik sekitar 10% ke kisaran 56-57 juta ton (CPO+PKO). Minyak sawit ini menjadi bahan baku utama dalam produksi biodiesel, yang saat ini mengalami peningkatan konsumsi dalam negeri karena kebijakan

pemerintah yang mendorong penggunaan biodiesel dengan bauran yang semakin tinggi, seperti B30, B35, dan persiapan menuju B50 pada 2025 (Denny *et al*, 2025) . Kebijakan ini bertujuan memperkuat ketahanan energi nasional sekaligus memberikan nilai tambah bagi sektor pertanian dan perekonomian rakyat melalui pengurangan ketergantungan impor bahan bakar fosil (Puteri Nabila *et al*, 2024).

Data menunjukkan distribusi biodiesel dalam negeri mencapai lebih dari 13 juta kiloliter, dengan total produksi biodiesel diproyeksikan mencapai 15,6 juta kiloliter pada tahun 2025 atau setara dengan 14 juta ton CPO pada tahun 2025 yang berarti sekitar sepertiga produksi sawit nasional terserap domestik untuk energi, bukan di ekspor dalam bentuk CPO atau produk olahan biasa (gapki.id : outlook industri sawit Indonesia 2026 : prospek, tantangan dan strategi menghadapi era baru pasar global).. Konsumsi biodiesel meningkat tajam seiring dengan penerapan program mandatori yang mengharuskan pencampuran minyak sawit ke dalam bahan bakar solar . Program ini juga mendorong peningkatan produksi minyak sawit untuk memenuhi kebutuhan bahan baku biodiesel yang mencapai sekitar 13,5 juta ton pada tahun 2025 (Muhammad *et al.*, 2025).

Penggunaan katalis heterogen semakin diminati karena kemudahannya untuk dipisahkan, kemampuannya untuk digunakan ulang, serta potensi mengurangi biaya operasional. Dalam konteks keberlanjutan, pemanfaatan biomassa pertanian sebagai bahan baku katalis menjadi strategi penting yang mendukung circular economy (Erwinsyah, 2024). Indonesia memiliki volume limbah pertanian yang sangat besar, salah satunya tongkol jagung, yang mengandung silika alami dan berpotensi dikembangkan sebagai katalis padat. Silika berbasis tongkol jagung memiliki struktur pori yang memungkinkan aktivitas katalitik yang baik setelah melalui proses aktivasi atau modifikasi. Selain itu, penggunaan katalis dari limbah pertanian dapat mengurangi ketergantungan terhadap katalis komersial berbasis mineral serta menekan biaya produksi biodiesel [5].

Tongkol jagung sebagai biomaterial berpotensi digunakan sebagai sumber silika alami yang dapat difungsikan sebagai katalis dalam proses transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel (Mahmut *et al*, 2021). Penggunaan katalis silika berbasis tongkol jagung diharapkan dapat meningkatkan efisiensi proses biodiesel serta memengaruhi sifat fisik seperti densitas dan viskositas produk biodiesel, yang sangat penting untuk kualitas dan aplikabilitas biodiesel sesuai standar energi terbarukan (alwi *et al*, 2021) .

Secara teknis, mutu biodiesel ditentukan oleh berbagai parameter fisik dan kimia, di antaranya densitas dan viskositas, yang memengaruhi performa pembakaran, karakter atomisasi, dan kompatibilitas dengan sistem injeksi mesin diesel (Primata *et al*, 2021). Standar Nasional Indonesia (SNI 7182:2015) menetapkan densitas biodiesel pada rentang 850–890 kg/m³ dan viskositas kinematik 2,3–6,0 mm²/s. Parameter ini sangat sensitif terhadap kondisi proses produksi, terutama pada tahap transesterifikasi yang umum dilakukan menggunakan katalis basa. Variabel waktu reaksi merupakan salah satu faktor utama yang menentukan tingkat konversi trigliserida menjadi metil ester. Waktu reaksi yang tidak optimal dapat

menghasilkan biodiesel dengan komposisi ester yang rendah, sehingga berdampak pada kenaikan densitas, viskositas, dan menurunnya karakteristik pembakaran (Primata et al, 2021).

Walaupun berbagai penelitian telah dilakukan terkait produksi biodiesel dari minyak sawit menggunakan katalis heterogen, masih terbatas studi yang secara khusus mengevaluasi pengaruh waktu reaksi pada sistem katalis silika berbasis tongkol jagung terhadap parameter kritis seperti densitas dan viskositas biodiesel. Sebagian besar publikasi memfokuskan pada analisis konversi ester, karakterisasi katalis, atau optimasi umum tanpa mengkaji secara mendalam keterkaitan antara waktu reaksi dan kualitas fisik biodiesel yang merupakan parameter wajib dalam pemenuhan SNI (Inge *et al.*, 2021). Dengan demikian, terdapat kebutuhan ilmiah untuk menghasilkan pemahaman yang lebih komprehensif mengenai hubungan antara variabel waktu reaksi dan stabilitas mutu biodiesel menggunakan katalis berbasis limbah pertanian (Wahyudi *et al.*, 2022).

Penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan menganalisis pengaruh variasi waktu reaksi pada proses transesterifikasi minyak sawit menggunakan katalis silika berbasis tongkol jagung terhadap densitas dan viskositas biodiesel yang dihasilkan. Temuan dari studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada teknologi produksi biodiesel berkelanjutan, terutama dalam menentukan kondisi reaksi optimal yang mampu menghasilkan biodiesel sesuai standar mutu nasional, sekaligus menawarkan alternatif katalis lokal yang ekonomis dan ramah lingkungan.

METODE PENELITIAN

Bahan Penelitian

Bahan utama yang digunakan adalah minyak sawit sebagai substrat reaksi, tongkol jagung sebagai sumber silika, dan metanol teknis ($\geq 99\%$) sebagai pereaksi transesterifikasi. Bahan kimia tambahan meliputi natrium hidroksida (NaOH) sebagai agen aktivasi basa, Aquadest (H_2O) untuk proses netralisasi, serta aquades sebagai pelarut pencuci. Semua bahan digunakan tanpa pemurnian lanjut.

Persiapan Katalis Silika Berbasis Tongkol Jagung

Tongkol jagung dibersihkan, dikeringkan pada suhu $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam, dan kemudian dikalsinasi pada $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam untuk menghasilkan abu tongkol jagung (Alwi *et al.* 2021). Abu tersebut diekstraksi menggunakan larutan NaOH 1 M pada suhu 80°C selama 1 jam untuk memperoleh natrium silikat. Larutan natrium silikat kemudian diasamkan secara perlahan menggunakan HCl hingga pH 7 untuk mengendapkan gel silika (Alwi *et al.*, 2021). Endapan silika dicuci hingga bebas ion klorida, dikeringkan pada $110\text{ }^{\circ}\text{C}$, dan dikalsinasi kembali pada $550\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama 3 jam (Niar *et al.*, 2014). Katalis silika yang telah terbentuk kemudian diayak dengan ukuran 200 mesh dan disimpan dalam wadah kedap udara.

Reaksi Pembuatan Biodiesel

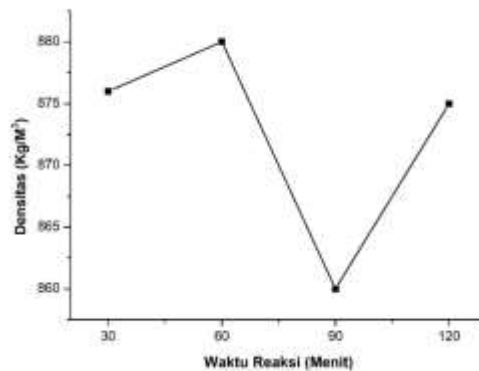
Sintesis biodiesel dilakukan melalui reaksi transesterifikasi menggunakan katalis silika berbasis tongkol jagung dengan berat katalis 2% dari berat minyak sawit RBDPO sebanyak 25 gram. Reaksi berlangsung

pada skala batch menggunakan reaktor kaca berpengaduk dengan suhu 60 °C dengan waktu Variasi waktu reaksi ditetapkan untuk mengevaluasi pengaruh kinetika terhadap kualitas biodiesel (Sandra et al, 2020). Waktu reaksi yang digunakan adalah: 30, 60, 90, 120, dan 150 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh waktu Reaksi Terhadap Densitas Biodiesel Sawit

Pengujian densitas biodiesel sangat penting karena parameter ini berkaitan langsung dengan kualitas pembakaran, efisiensi energi, dan kesesuaian bahan bakar terhadap standar mutu biodiesel, sehingga sering digunakan sebagai indikator tidak langsung tingkat konversi trigliserida menjadi metil ester. Selain itu, densitas memiliki korelasi yang kuat dengan viskositas dan nilai kalor, sehingga perubahan densitas akibat variasi kondisi proses, termasuk waktu reaksi, mencerminkan perubahan struktur kimia dan komposisi biodiesel yang dihasilkan (Inge et al, 2018).



Gambar 1. Pengaruh waktu Reaksi terhadap Densitas Biodiesel

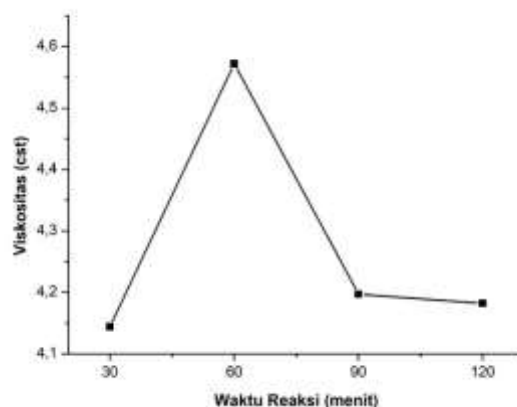
Pada penelitian ini, variasi waktu reaksi 30, 60, 90, dan 120 menit menghasilkan pola densitas biodiesel sawit yang tidak linier, dengan kecenderungan penurunan densitas hingga 90 menit dan peningkatan kembali pada 120 menit (Gambar 1). Densitas tertinggi dicapai pada 60 menit (sekitar 880 kg/m³), sementara densitas terendah diperoleh pada 90 menit (sekitar 860 kg/m³), kemudian naik lagi mendekati 875 kg/m³ pada 120 menit, sehingga 90 menit dapat diidentifikasi sebagai waktu reaksi paling optimum dari sisi densitas. Penurunan densitas dari 30–90 menit mengindikasikan bahwa laju pembentukan metil ester terus meningkat seiring waktu, sehingga fraksi trigliserida dan komponen berat lain (minyak sisa, gliserol) menurun dan menghasilkan biodiesel yang lebih murni dengan densitas lebih rendah. Pada 120 menit, kenaikan densitas kembali mengarah pada kemungkinan terjadinya reaksi samping (misalnya saponifikasi atau reaksi balik) maupun deaktivasi parsial katalis, yang menyebabkan terbentuknya kembali fraksi berat atau tidak terkonversinya sebagian minyak sehingga densitas produk naik.

Pada penelitian Inge et al. (2018). melaporkan bahwa pada produksi biodiesel sawit dengan reaktor static mixer, densitas dan viskositas menurun seiring meningkatnya konversi reaksi; densitas optimum

sekitar 851,66 kg/m³ dicapai pada kondisi reaksi yang memberikan fraksi metil ester tertinggi, yang sejalan dengan temuan bahwa densitas terendah pada 90 menit menunjukkan konversi terbaik. Optimasi sintesis biodiesel sawit dengan katalis basa homogen menunjukkan densitas optimum sekitar 879 kg/m³ dan viskositas 4,3 cSt pada waktu reaksi 90 menit, mendukung bahwa waktu menengah (sekitar 90 menit) sering menjadi titik optimum untuk mencapai keseimbangan antara konversi tinggi dan minim reaksi samping (Wahyudi et al, 2022). Dengan demikian, seluruh data menunjukkan bahwa waktu reaksi 90 menit dengan katalis silika berbasis tongkol jagung memberikan keseimbangan terbaik antara densitas rendah, indikasi viskositas yang lebih rendah, dan kesesuaian terhadap karakteristik biodiesel sawit yang dilaporkan dalam beberapa penelitian terdahulu dan rujukan standar mutu, sehingga dapat direkomendasikan sebagai kondisi optimum dalam konteks penelitian ini.

Pengaruh waktu Reaksi Terhadap Viskositas Biodiesel Sawit

Pengujian viskositas biodiesel sangat penting karena viskositas menentukan kemampuan bahan bakar untuk mengalir, membentuk kabut (atomisasi) di injektor, serta memengaruhi pembakaran dan emisi pada mesin diesel. Viskositas yang terlalu tinggi menyebabkan semprotan bahan bakar lebih sempit dan tidak homogen, sedangkan viskositas terlalu rendah dapat menurunkan pelumasan sistem injeksi sehingga berpotensi mempercepat keausan komponen.



Gambar 2. Pengaruh waktu Reaksi terhadap Viskositas Biodiesel

Berdasarkan Gambar 2, variasi waktu reaksi 30, 60, 90, dan 120 menit menunjukkan pola viskositas yang tidak linier. Pada 30 menit viskositas biodiesel sekitar 4,15 cSt, meningkat tajam menjadi sekitar 4,58 cSt pada 60 menit, lalu menurun menjadi sekitar 4,20 cSt pada 90 menit dan sedikit turun lagi menjadi sekitar 4,18 cSt pada 120 menit. Dengan demikian, rentang 90–120 menit menghasilkan viskositas paling rendah dan relatif stabil, sementara 60 menit merupakan titik viskositas tertinggi

Kenaikan viskositas hingga 60 menit mengindikasikan bahwa pada tahap ini reaksi transesterifikasi belum sepenuhnya mencapai kesetimbangan sehingga campuran masih mengandung trigliserida, digliserida, monogliserida, maupun gliserol yang bersifat lebih kental daripada metil ester murni. Akumulasi komponen berat ini memperbesar gaya tarik antarmolekul dan berakibat pada peningkatan

viskositas larutan biodiesel. Setelah 60 menit, penurunan viskositas pada 90–120 menit menunjukkan bahwa konversi trigliserida menuju metil ester semakin besar, fraksi gliserida berat berkurang, dan komposisi biodiesel menjadi lebih homogen sehingga gaya geser berkurang dan viskositas menurun (Niar et al., 2014). Penurunan viskositas yang diikuti oleh penurunan densitas pada waktu reaksi optimum (90 menit) juga menguatkan indikasi bahwa biodiesel yang dihasilkan lebih kaya metil ester dengan panjang rantai karbon dan tingkat kejenuhan yang sesuai karakteristik biodiesel sawit. Korelasi positif antara densitas dan viskositas ini lazim dilaporkan dalam studi sifat fisik biodiesel: ketika fraksi metil ester meningkat dan pengotor berkurang, keduanya cenderung turun Bersama (Sandra et al, 2020). Dengan demikian, kombinasi densitas minimum dan viskositas yang relatif rendah pada 90 menit dapat dipandang sebagai kondisi konversi paling efektif untuk sistem katalis silika berbasis tongkol jagung yang digunakan.

Beberapa penelitian terdahulu pada biodiesel sawit menunjukkan bahwa viskositas optimum umumnya berada pada kisaran 3,5–5,0 cSt, yang masih memenuhi standar nasional maupun internasional untuk biodiesel. Studi produksi biodiesel sawit dengan reaktor static mixer, misalnya, melaporkan viskositas sekitar 4,3 cSt pada kondisi operasi optimum; nilai ini sebanding dengan viskositas biodiesel pada waktu reaksi 90–120 menit pada penelitian Anda, yang berada di kisaran 4,18–4,20 cSt. Penelitian lain mengenai optimasi transesterifikasi minyak sawit dengan katalis basa homogen juga menunjukkan bahwa waktu reaksi sekitar 90 menit menghasilkan viskositas sekitar 4,3 cSt, sedangkan waktu yang lebih singkat atau terlalu lama mengarah pada viskositas yang lebih tinggi karena konversi belum maksimal atau muncul reaksi samping (Sandra et al., 2020)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, waktu reaksi katalis silika berbasis tongkol jagung terbukti berpengaruh nyata terhadap sifat fisik biodiesel sawit, khususnya densitas dan viskositas. Peningkatan waktu reaksi dari 30 hingga 60 menit menyebabkan viskositas dan densitas meningkat, yang mengindikasikan bahwa pada tahap ini konversi trigliserida menjadi metil ester belum berlangsung sempurna, sehingga masih didominasi oleh campuran minyak, metanol, serta senyawa antara yang bersifat lebih kental dan padat. Pada waktu reaksi 90 hingga 120 menit, viskositas menurun dan menjadi relatif stabil di sekitar 4,2 cSt, sementara densitas berada dalam kisaran 860–875 kg/m³, yang sesuai dengan rentang nilai biodiesel sawit yang dilaporkan dalam berbagai penelitian dan mendekati persyaratan standar mutu. Pola ini menunjukkan bahwa perpanjangan waktu reaksi memberi kesempatan lebih besar bagi katalis silika tongkol jagung untuk mengarahkan reaksi transesterifikasi menuju pembentukan metil ester yang lebih dominan, sehingga dihasilkan biodiesel dengan karakter densitas dan viskositas yang lebih seragam dan berpotensi memenuhi spesifikasi bahan bakar. Dengan demikian, rentang waktu reaksi 90–120 menit dapat direkomendasikan sebagai kondisi yang paling efektif untuk menghasilkan biodiesel sawit

berkualitas menggunakan katalis heterogen berbasis limbah tongkol jagung, sekaligus menegaskan prospek pemanfaatan biomassa pertanian sebagai katalis padat berkelanjutan dalam produksi biodiesel.

DAFTAR PUSTAKA

- Alwi Gery Agustan Siregar, Renita Manurung, Taslim Taslim, (2021). Synthesis and Characterization of Sodium Silicate Produced from Corncobs as a Heterogeneous Catalyst in Biodiesel Production. *Indones. J. Chem.*, 2021, 21 (1), 88 - 96
- Denny Swadaya Putra Sebayang, Adi Ruswanto, Yohana Theresia Maria Astuti, (2025). Analisis Beberapa Faktor yang Mempengaruhi Produksi Crude Palm Oil di Pabrik Kelapa Sawit PT SH Kalimantan Tengah. *J. Agro Ind. Perkeb. Volume 13 No. 1* | Maret 2025: 51-66
- Erwinsyah , (2024). Pengaruh Produksi, Harga Dunia, Dan Emisi Karbon Terhadap Ekspor Minyak Kelapa Sawit Indonesia. *Buletin Ilmiah Litbang Perdagangan, VOL. 18 NO. 1, JULI 2024*.
- Inge Scorpi Tulliza, Edy Hartulistiyoso, Dadan Kusdiana, (2018). Armansyah Halomoan Tambunan, Characteristics of Palm Oil Biodiesel Produced with a Static Mixing Reactor, Vol.1. No.2.
- Muhammad Lukman Hakim*, Dejhawe Al Jannah, Arsianita Nur Fattah, Dwisapto Yusuf Pradana, Yeni Khoirunnisa Agustiani, Fat'chatus Chanifa Jikhan, (2025). Peluang dan Tantangan Kebijakan Biodiesel B50 dalam Mewujudkan Transisi Energi Nasional di Indonesia. *Journal of Social Contemplativa Volume 3 Nomor 2, 2025, Halaman 79-89*.
- Mahmut Bayramoğlu, İbrahim Korkut, Başak Temur Ergan, (2021). Reusability and regeneration of solid catalysts used in ultrasound assisted biodiesel production. *Turk J Chem. 2021 Apr 28;45(2):342–347*.
- Niar Kurnia Julianti, Tantri Kusuma Wardani, Ignatius Gunardi dan Achmad Roesyadi, (2014). Pembuatan Biodiesel dari Minyak Kelapa Sawit RBD dengan Menggunakan Katalis Berpromotor Ganda Berpenyangga γ -Alumina (CaO/MgO/ γ -Al₂O₃) dalam Reaktor Fluidized Bed. *JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 3, No. 2*,
- Primata Mardina, Hesti Wijayanti, Abubakar Tuhuloula, Erita Hijriyati, Sarifah, (2021). Corncob residue as heterogeneous acid catalyst for green synthesis of biodiesel: A short review. *Communications in Science and Technology 6(2) (2021) 60–68*.
- Sandra, Bambang Susilo, Nadia Ijkri Aulia, (2020). Sintesis Minyak Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) Menjadi Biodiesel Menggunakan Metil Asetat Dengan Metode Interesterifikasi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem, 9(1), 1-10*
- Puteri Nabilla, Noratun Juliaviani, Safrida, (2024). Analisis Trend Volume Ekspor Crude Palm Oil (CPO) Indonesia – India. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian, Volume 9, Nomor 1*,
- Wahyudi Wahyudi, (2025). Correlation of The Physical Properties of Nyamplung Oil-Based Biodiesel: Density, Viscosity, Calorific Value, and Flash Point, *Journal Research of Social Science, Economics, and Management. Vol.4, No. 10*.

Wahyudi, Muhammad Nadjib, Adi Parmono, 2022. Pengaruh Densitas Dan Viskositas Biodiesel Campuran Jatropha–Sawit terhadap Sudut Injeksi, Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia, Vol. 7, No. 09.