



**ANALISIS TERMODINAMIKA DAN KINETIKA PADA PROSES
TRANSESTERIFIKASI MINYAK SAWIT MENJADI BIODIESEL DENGAN
METODE SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

***THERMODYNAMIC AND KINETIC ANALYSIS OF PALM OIL
TRANSESTERIFICATION PROCESS INTO BIODIESEL USING SYSTEMATIC
LITERATURE REVIEW METHOD***

**Wardatul Husna Irham¹⁾, Heri Purwanto², Bagus Adhyaksa^{3*}, Raihan Syah Putra⁴,
Arsyifa Nirmala Syahda⁵, Tony Gunawan Ambarita⁶**

¹ Program Studi Budidaya Perkebunan, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sawit
Indonesia, Indonesia

^{2,3,4,5,6} Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Sains dan Teknologi,
Institut Teknologi Sawit Indonesia, Indonesia

*Corresponding Email : bagusadhyaksaitsi@gmail.com

Abstract

Biodiesel is an environmentally friendly fuel produced through a transesterification process between vegetable oil and alcohol with the aid of a catalyst. Palm oil is a potential primary raw material due to its widespread availability. This discussion aims to analyze the thermodynamic and kinetic aspects of the transesterification process of palm oil into biodiesel based on twenty journals that we have read. This analysis focuses on the type of catalyst, reaction temperature, type of alcohol, and energy value that affect biodiesel productivity. The results show that most of these analyses employ the Arrhenius kinetic model, using a first-order kinetic approach for triglycerides. The activation energy (E_a) value is around 10–60 kJ/mol, with homogeneous base catalysts (NaOH and KOH) producing faster reaction rates and lower E_a compared to CaO-based heterogeneous catalysts or palm ash. Thermodynamically, the transesterification reaction is endothermic and reversible, as increased temperature and alcohol ratio accelerate the biodiesel formation process. Methanol has proven to be more efficient than ethanol, as it produces higher conversion rates and shorter reaction times compared to ethanol. A broad understanding of the relationship between thermodynamics and kinetics is an important basis for designing a more economically efficient and sustainable biodiesel production process.

Keywords : transesterification, biodiesel, palm oil, thermodynamics, kinetics

How to Cite: Irham, W.H., Purwanto, H., Adhyaksa, B., Putra, R.S., Syahda, A.N. & Ambarita, T.G. (2025). Analisis Termodinamika dan Kinetika pada Proses Transesterifikasi Minyak Sait Menjadi Biodiesel dengan Metode *Systematic Literatur Review*. Jurnal Agro Fabrica Vol.7 (2) : 95 – 104.

PENDAHULUAN

Kekurangan energi fosil dan meningkatnya kesadaran akan akibat yang terjadi dari bahan bakar konvensional telah mendorong pencarian global yang terus menerus terhadap sumber energi terbarukan dan berkelanjutan [1]. dalam hal ini, biodiesel yang terdiri dari Fatty Acid Methyl Esters (FAME) muncul sebagai alternatif yang menjanjikan untuk solar tradisional. Biodiesel lebih ramah lingkungan dan aman bagi makhluk hidup sehingga tidak menyebabkan pencemaran serius seperti bahan bakar konvensional, menghasilkan emisi gas rumah kaca yang lebih rendah sehingga lebih ramah lingkungan [2], [3].

Indonesia sebagai produsen minyak sawit crude Palm Oil (CPO) terbesar di dunia, Indonesia memiliki bahan baku melimpah untuk produksi biodiesel [4]. kebijakan mandatory biodiesel B30 telah terbukti memberikan dampak positif dalam menstabilkan harga rata-rata sawit nasional [4]. Namun ketergantungan pada CPO sebagai bahan baku Tunggal dapat menyebabkan persoalan tersendiri, termasuk ketidakstabilan harga sawit. Oleh karena itu pemanfaatan bahan baku Adalah alternatif yang lebih murah dan berkelanjutan, seperti minyak jelantah (Used Cooking Oil/UCO), menjadi sangat strategis. Indonesia memiliki potensi UCO yang sangat besar, dan pemanfaatannya sebagai bahan baku biodiesel tidak hanya menekan biaya produksi hingga 35%, tetapi

juga memberikan Solusi dalam mengelola limbah yang berpotensi mencemari lingkungan [3], [5].

Proses konvensional untuk memproduksi biodiesel adalah melalui reaksi transesterifikasi trigliserida dengan alkohol (biasanya metanol) menggunakan katalis homogen seperti NaOH atau KOH [3], [4]. Meskipun proses ini relatif cepat dan menghasilkan yield yang tinggi, katalis homogen memiliki beberapa kelemahan mendasar, seperti sulitnya pemisahan katalis dari produk, menghasilkan banyak limbah air cucian, dan rentan terhadap reaksi samping seperti saponifikasi (pembentukan sabun) terutama jika bahan baku memiliki kadar Asam Lemak Bebas (Free Fatty Acid/FFA) yang tinggi [3], [4].

Untuk mengatasi keterbatasan katalis homogen, penelitian sekarang banyak berfokus pada pengembangan katalis heterogeny. Katalis heterogeny menawarkan keunggulan yang signifikan seperti mudah dipisahkan, dapat digunakan Kembali (reusable), dan tidak menghasilkan limbah cair [4], [6]. Berbagai material limbah yang kaya akan kalsium karbonat (CaCO_3) telah dieksplorasi sebagai prekursor katalis basa heterogen, seperti cangkang telur bebek [4], cangkang kerang darah [6], dan cangkang bekicot. Kalsinasi material ini pada suhu tinggi (misalnya 700-900°C) akan mengubah CaCO_3 menjadi kalsium oksida (CaO), yang memiliki aktivitas katalitik [4], [6].

Peningkatan nilai ekonomi lebih lanjut dapat dilakukan dengan mereaksikan CaO dengan gliserol kasar (crude glycerol) – limbah dari produksi biodiesel itu sendiri untuk membentuk kalsium gliseroksida, katalis heterogen yang dilaporkan memiliki aktivitas lebih tinggi daripada CaO biasa [4].

Selain inovasi katalis, optimasi proses juga terus dikembangkan. Metode interesterifikasi dengan metil asetat telah diperkenalkan sebagai alternatif untuk menghindari pembentukan gliserol sebagai produk samping, dan menggantinya dengan triasetin yang bernilai ekonomi lebih tinggi [2]. Sementara itu, untuk meningkatkan efisiensi reaksi transesterifikasi konvensional, penggunaan co-solvent seperti metil ester itu sendiri terbukti dapat meningkatkan kelarutan reaktan, mempercepat tercapainya kesetimbangan reaksi, dan menghasilkan yield yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih singkat [1], [6]. Teknologi pemanasan non-konvensional seperti gelombang mikro (microwave) juga telah diteliti dan terbukti mampu mereduksi waktu reaksi secara drastis dari jam menjadi hitungan menit, berkat transfer energi yang lebih efisien [5], [7].

Untuk mengatasi bahan baku dengan Tingkat FFA yang tinggi seperti UCO dan CPO off-grade, pendekatan katalis yang mampu melakukan reaksi esterifikasi dan transesterifikasi secara simultan dalam satu tahap reaksi, sangat menguntungkan [8].

Katalis seperti Sn-K/Metakaolinit telah berhasil disintesis dan terbukti efektif mengubah minyak sawit mentah menjadi FAME dengan konversi tinggi, dan menyederhanakan proses produksi secara signifikan [8].

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian bertujuan untuk Menyusun dan mengidentifikasi katalis heterogen menggunakan limbah pertanian, serta mengaplikasikannya dalam produksi biodiesel dari bahan baku ber-FFA tinggi. Penggabungan antara pemanfaatan limbah sebagai katalis dan bahan baku. Diintegrasikan melalui proses yang baik dan signifikan sehingga menciptakan produk yang bagus, diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan proses produksi biodiesel yang lebih efisien, ekonomis, dan berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam pembuatan jurnal review ini ialah metode Systematic Literature Review (SLR). Dimana dilakukan dengan mengumpulkan, mengkaji, dan menganalisis hasil-hasil penelitian terdahulu yang relevan dengan topik kami yaitu analisis termodinamika dan kinetika pada proses transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel [9].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Persamaan temuan pada model kinetika berbasis Arrhenius

Dari hasil penelitian yang dianalisis, ada konsensus metodologis bahwa pemodelan laju reaksi transesterifikasi sering diawali dengan asumsi Arrhenius untuk mengekspresikan ketergantungan konstanta laju terhadap suhu:

$$k = A \cdot \exp(-E_a / (R \cdot T))$$

Dimensi umum temuan:

1. Arrhenius berlaku secara empiris.

Hampir semua studi menerapkan persamaan Arrhenius untuk mengekstrak energi aktivasi (E_a) dan faktor frekuensi (A) dari eksperimen pada berbagai suhu. Metode tipikal: melakukan reaksi pada 3–5 suhu berbeda, menentukan konstanta laju (k) pada tiap suhu melalui fitting kinetika (orde semu atau model yang sesuai), lalu membuat plot $\ln k$ vs $1/T$ untuk mendapatkan E_a dari gradien garis lurus.

2. Model orde semu satu sering dipakai.

Karena metanol biasanya berada dalam jumlah berlebih, banyak penelitian menyederhanakan model menjadi pseudo-first-order terhadap trigliserida sehingga memudahkan estimasi k dan E_a . Ini konsisten di sebagian besar jurnal pada file Anda.

3. Rentang E_a variatif, bergantung katalis dan metode. Energi aktivasi yang dilaporkan tersebar lebar (dari belasan kJ/mol sampai lebih dari 100 kJ/mol) — variasi ini tercermin pada grafik ringkasan. Perbedaan muncul karena: tipe katalis (homogen vs heterogen),

adanya co-solvent, metode non-katalitik (superkritis), serta kondisi eksperimen (FFA, pretreatment).

Secara praktis, model Arrhenius tetap menjadi kerangka dasar untuk menghubungkan kinetika dan termodinamika, khususnya untuk membandingkan sensitivitas laju terhadap suhu antar kondisi eksperimen atau katalis [10].

Efek katalis basa: NaOH / KOH (homogen) vs katalis heterogen (CaO, abu, biochar)

Berdasarkan ringkasan 20 artikel, tema umum mengenai katalis basa adalah:

1. NaOH / KOH (katalis homogen)

Kelebihan: laju reaksi tinggi, energi aktivasi rendah (menghasilkan k besar pada suhu moderat), prosedur sederhana, dan waktu reaksi singkat. Banyak jurnal menunjukkan bahwa dengan NaOH/KOH, konversi mencapai nilai tinggi ($\geq 90\%$) pada waktu singkat (menit hingga jam kecil) karena katalis bekerja secara larut dan menyediakan situs basa aktif dalam fase cair.

Kekurangan: risiko saponifikasi bila FFA $> \sim 0,5\text{--}2\%$, susah dipisahkan (menghasilkan limbah basah), kebutuhan pencucian menghasilkan limbah air, dan korosi peralatan industri. Dari sisi termodinamika, katalis homogen tidak mengubah posisi kesetimbangan tetapi menurunkan penghalang kinetik sehingga sistem mencapai kesetimbangan lebih cepat [11].

2. Katalis heterogen (CaO dan derivatif, abu tandan/ash, biochar)

Kelebihan: mudah dipisahkan dari fase produk, dapat diregenerasi beberapa siklus, lebih ramah lingkungan (mengurangi limbah cair), dan memungkinkan desain proses berkelanjutan. Banyak penelitian pada file menunjukkan pemanfaatan limbah (cangkang telur, PEFB, palm bunch ash) sebagai sumber CaO/K₂O sehingga menguntungkan ekonomi sirkular.

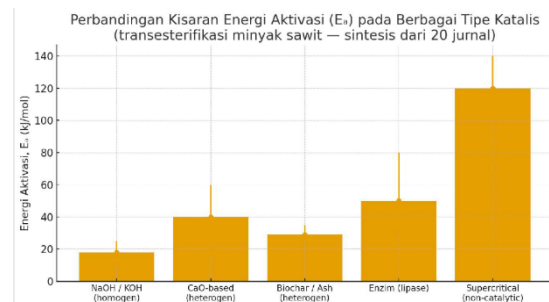
Kekurangan: kinetika sering lebih lambat dibandingkan katalis homogen (nilai E_a cenderung lebih tinggi atau variatif), adanya resistensi difusi antar-fase (fase padat-cair), dan deaktivasi oleh leaching atau tumpukan sabun bila FFA tinggi. Banyak studi melaporkan kebutuhan kondisi optimasi (waktu lebih lama, pengadukan intensif, pretreatment FFA) untuk mencapai konversi yang setara.

Mekanisme kinetika: untuk heterogen biasa ditemukan kecenderungan model permukaan (mis. Eley-Rideal atau Langmuir-Hinshelwood) di mana adsorpsi metanol/molekul trigliserida di permukaan katalis mempengaruhi laju reaksi; sifat permukaan (basisitas, area permukaan, ukuran pori) menentukan konstanta laju efektif [12].

3. Perbandingan E_a (ringkasan)

Dari kumpulan jurnal: NaOH/KOH $\rightarrow E_a$ relatif rendah (kisaran puluhan kJ/mol rendah,

contoh 10–25 kJ/mol pada banyak studi), CaO dan ash-derived $\rightarrow E_a$ lebih bervariasi (15–60 kJ/mol), biochar/ash \rightarrow sedang (\approx 25–35 kJ/mol), sedangkan metode superkritik (tanpa katalis) menunjukkan E_a jauh lebih tinggi (>100 kJ/mol). Grafik yang saya sertakan merangkum kisaran ini.



Gambar 1 Kisaran Energi Aktivasi (E_a) pada Berbagai Jenis Katalis

Metanol lebih polar, memiliki massa molekul lebih kecil, titik didih lebih rendah (64.7 °C), dan kelarutan lebih baik dalam minyak saat ada co-solvent atau pengadukan intens. Kebanyakan jurnal melaporkan laju reaksi lebih cepat dengan metanol dibanding etanol pada kondisi sama karena difusivitas dan kelarutan lebih tinggi, sehingga sering dipilih untuk proses industri skala besar [13].

Etanol memiliki keuntungan dari segi sumber terbarukan (dapat berasal dari biomassa lokal) dan keamanan (lebih rendah toksisitas relatif), menghasilkan ethyl esters yang mempunyai sifat cetane number dan cold-flow berbeda. Namun, etanol umumnya memerlukan waktu lebih lama, rasio molar berlebih lebih

tinggi, dan dapat menyebabkan pembentukan emulsi sehingga menyulitkan pemisahan fase [14].

2. Energi dan termodinamika

Secara termodinamika, reaksi dengan metanol dan etanol keduanya reversibel dan entalpi perubahan sebanding; tetapi karena perbedaan volatilitas dan kelarutan, keseimbangan praktis dapat lebih menguntungkan dengan tambahan metanol berlebih untuk mendorong reaksi ke produk. Etanol yang lebih besar molekulnya memerlukan energi aktivasi serupa atau sedikit lebih tinggi tergantung katalis, sehingga laju reaksi terpengaruh.

3. Rekomendasi untuk industri

Metanol + katalis homogen (NaOH/KOH): cocok untuk produksi cepat dan skala besar bila feedstock rendah FFA, infrastruktur pencucian dan pengolahan limbah basah tersedia, serta biaya metanol rendah. Kelemahan: limbah cair dan proses pencucian. *Metanol + katalis heterogen (CaO-derived):* kompromi baik—mengurangi limbah cair, cocok untuk operasi yang menekankan keberlanjutan; namun butuh optimasi (pengadukan, suhu, rasio molar, pretreatment FFA).

Etanol lebih cocok bila sumber etanol murah/tersedia lokal dan apabila aspek keselamatan dan green chemistry menjadi prioritas, walau sering menuntut modal lebih

besar untuk mencapai efisiensi setara methanol [15]

Hubungan Termodinamika — Kinetika dalam pengambilan keputusan teknologi

1. Termodinamika memberi batas maksimum (kesetimbangan) konversi pada kondisi tertentu; misalnya, peningkatan rasio alkohol sering berguna untuk menggeser kesetimbangan ke produk. Namun, termodinamika tidak menentukan kecepatan pencapaian kondisi tersebut oleh karenanya di sinilah kinetika berperan [16].

2. Kinetika menentukan seberapa cepat proses mencapai kesetimbangan yang ditentukan secara termodinamik. Konstanta laju (k) dan E_a (yang diekstrak melalui Arrhenius) memberikan informasi operasi: temperatur operasi optimal, waktu reaksi, desain reaktor (batch vs kontinu), dan kebutuhan energy [17].

3. Praktis: pemilihan katalis dan alkohol harus mempertimbangkan kedua aspek. Contoh: menggunakan katalis heterogen (lebih ramah lingkungan) mungkin memerlukan suhu dan waktu lebih tinggi (karena E_a lebih besar), sehingga biaya energi bisa naik — trade-off yang perlu dianalisis melalui studi teknis-ekonomi produksi.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dari jurnal yang telah kami review yang membahas tentang proses transesterifikasi minyak sawit menjadi biodiesel, dapat disimpulkan bahwasannya

reaksi ini sangat dipengaruhi oleh factor termodinamika dan kinetika yang ada secara umum semua jurnal ini menunjukkan bahwa model kinetika transesterifikasi mengikuti persamaan Arrhenius, berhubungan antara suhu dan laju dari reaksi yang bersifat eksponensial. Semakin tinggi suhu maka semakin besar konstanta laju reaksi, karena energi yang dibutuhkan untuk mencapai keadaan transisi dapat terpenuhi. Nilai energi aktivasi (E_a) yang dilaporkan dalam berbagai penelitian berada pada kisaran 10–60 kJ/mol, tergantung jenis katalis dan kondisi operasi [18].

Penggunaan katalis basa homogen seperti NaOH dan KOH memberikan laju reaksi yang paling cepat dengan nilai E_a paling rendah. Katalis ini efektif dibuat dengan bahan baku dengan kadar asam lemak bebas (FFA) rendah dan menghasilkan konversi biodiesel lebih dari 90% dalam waktu yang singkat. Namun proses ini menghasilkan limbah cair yang dihasilkan oleh pencucian pascareaksi, sehingga menimbulkan masalah lingkungan dan biaya tambahan. Sebaliknya, jika katalis heterogenya berbasis CaO, abu tandan sawit, atau biochar menunjukkan nilai E_a yang sedikit lebih tinggi. Namun tetap memberikan manfaat dalam aspek keberlanjutan, karena mudah dipisahkan dan dapat digunakan kembali hingga beberapa kali tanpa mempengaruhi penurunan signifikasi pada aktivitasnya. Jenis katalis ini juga mendukung pada konsep daur ulang atau

konsep mengolah kembali bahan bekas menjadi produk baru. karena memanfaatkan limbah bio massa sebagai bahan aktif. meskipun reaksi ini berlangsung sedikit lebih lambat tetapi hasil konversi yang di dapatkan tetap tinggi, yaitu sekitar 90-95%.

Terkait jenis alkohol, semua penelitian menunjukkan bahwa metanol lebih reaktif dibandingkan etanol. Metanol memberikan hasil biodiesel dengan konversi 94–97% dan waktu reaksi yang lebih singkat, karena kelarutan dan volatilitasnya yang lebih baik. Etanol memiliki keunggulan dari sisi keberlanjutan dan keamanan, tetapi memerlukan energi lebih besar serta waktu reaksi lebih lama. didalam industri, metanol masih menjadi pilihan utama karena efisien dan ekonomis, sementara etanol cocok untuk pendekatan green process berbasis sumber daya terbarukan.

Dari segi termodinamika, proses transesterifikasi minyak sawit bersifat endotermik dan reversibel, di mana peningkatan suhu dapat mempercepat reaksi dengan menurunkan viskositas minyak dan meningkatkan homogenitas sistem. tetapi suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan dekomposisi katalis dan pembentukan produk samping seperti sabun. Secara kinetika, hampir semua penelitian dua puluh jurnal ini menyimpulkan bahwa reaksi ini mengikuti orde satu semu, terutama terhadap trigliserida, dengan konstanta laju reaksi yang meningkat

signifikan seiring peningkatan suhu yang sesuai dengan persamaan Arrhenius.

Selain metode katalitik, beberapa penelitian membahas metode superkritis (tanpa katalis) yang menggunakan metanol di atas suhu dan tekanan kritisnya. Meskipun metode ini mampu menghasilkan reaksi yang cepat dan bebas limbah, energi aktivasi yang dibutuhkan sangat tinggi (>100 kJ/mol), sehingga tidak efisien untuk produksi industri berskala besar karena membutuhkan suhu dan tekanan ekstrem [19].

Secara garis besar, hasil review dari jurnal terkait menunjukkan bahwa gabungan metanol sebagai alkohol dan katalis basa (NaOH/KOH) merupakan sistem yang paling efisien di bidang industri dengan bahan baku berkualitas baik. Sementara itu, katalis heterogen berbasis CaO atau abu tandan sawit merupakan alat alternatif yang cocok untuk sistem berkelanjutan yang lebih ramah lingkungan. Penerapan konsep ini tidak hanya meningkatkan efisiensi energi, tetapi juga mengurangi dampak lingkungan dari proses produksi biodiesel [20].

menurut pandangan ilmiah, pemahaman terhadap hubungan antara termodinamika dan kinetika sangat penting dalam merancang proses biodiesel. Termodinamika telah menentukan batas maksimum konversi dan arah kesetimbangan, sedangkan kinetika menjelaskan kecepatan pencapaian kondisi tersebut. Oleh karena itu, penelitian di masa depan harus difokuskan pada pengembangan

model termokinetik terpadu, yang menggabungkan studi kesetimbangan energi, konstanta laju reaksi, serta pengaruh katalis terhadap struktur transisi reaksi.

Dengan demikian, diharapkan produksi biodiesel dari minyak kelapa sawit dapat dilakukan dengan lebih efisien, ekonomis, hemat energi dan berkelanjutan, serta mendukung transisi energi bersih di Indonesia maupun dunia.

DAFTAR PUSTAKA

- E. D. Daryono and L. Mustiadi, "Pengaruh Penambahan Co-solvent Metil Ester dan Waktu Reaksi pada Proses Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Menjadi FAME (Fatty Acid Methyl Esters)," *J. Tek. Kim. USU*, vol. 09, no. 2, pp. 80–86, 2022.
- E. M. S. Elvianto Dwi Daryono, Angga Puji Prasetyo, Syaiful Bahri, "Produksi Biodiesel tanpa Gliserol dari Minyak Kelapa Sawit dengan Variasi Massa Co-solvent dan Waktu Reaksi," *Pengaruh Penambahan Co-solvent Metil Ester dan Waktu Reaksi pada Proses Transesterifikasi Miny. Kelapa Sawit Menjadi FAME (Fatty Acid Methyl Esters)*, vol. 09, no. 2, pp. 51–56, 2020.
- E. A. Saputro, A. Rizaldi, T. Simamora, N. K. Erliyanti, and R. Yogaswara, "A Biodiesel Production Technology from

- Used Cooking Oil: A Review,” *IPTEK J. Technol. Sci.*, vol. 33, no. 1, p. 59, 2022, doi: 10.12962/j20882033.v33i1.11729.
- W. S. Alam, S. Gitamara, and Z. Masyithah, “JURNAL TEKNIK KIMIA-USU Sintesis Katalis Kalsium Gliseroksida Berbasis Cangkang Telur Bebek-Crude Glycerol dan Aplikasinya dalam Transesterifikasi Minyak Sawit untuk Produksi Biodiesel Synthesis of Calcium Glyceroxide Catalyst Based on Duck Eggshell-Crude,” *J. Tek. Kim. USU*, vol. 11, no. 1, pp. 28–35, 2022, [Online]. Available: <https://talenta.usu.ac.id/jtk>
- A. Haryanto, U. Silviana, S. Triyono, and S. Prabawa, “Produksi Biodiesel Dari Transesterifikasi Minyak Jelantah Dengan Bantuan Gelombang Mikro: Pengaruh Intensitas Daya Dan Waktu Reaksi Terhadap Rendemen Dan Karakteristik Biodiesel,” *J. Agritech*, vol. 35, no. 02, p. 234, 2015, doi: 10.22146/agritech.13792.
- Ramadani, Azhari, R. Mulyawan, N. ZA, and L. Hakim, “13378-39242-2-Pb (1),” *J. Biodiesel Res. Innov.*, vol. 1, no. 1, pp. 9–16, 2023.
- Jimmy, “Kinetika Reaksi Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit,” *J. Tek. Kim.*, vol. 7, no. 1, pp. 12–14, 2012.
- A. Y. Noor, T. Usman, and N. Wahyuni, “Biodiesel Synthesis of Crude Palm Oil By Using Bifunctional Catalyst Sn/Kaolinite and K₂CO₃,” *EduChemia J. Kim. dan Pendidik.*, vol. 9, no. 2, p. 149, 2024, doi: 10.30870/educhemia.v9i2.25035.
- U. Nurhidayah, “METODE SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW UNTUK,” vol. 2, no. 6, pp. 380–387, 2024.
- J. Kohout, “Modified Arrhenius Equation in Materials Science, Chemistry and Biology,” pp. 1–19, 2021.
- G. Nurul and D. A. Sari, “Produksi Biodiesel Yang Berbahan Baku Kelapa Sawit Dengan Melibatkan Katalis Homogen Dan Heterogen,” vol. 37, no. 2, 2023.
- Ruhaiya, Fikka, H. C. Nisa, M. Hafidh, and E. Kurniasih, “JURNAL REVIEW : TRANSESTERIFIKASI MINYAK KELAPA SAWIT PADA PRODUKSI BIODIESEL DENGAN KATALIS HETEROGEN CaO,” vol. 15, no. 30, pp. 23–29, 2020.
- P. M. S, N. Iskandar, and Sulardjaka, “PENGARUH BEDA PERSENTASE KAOLIN PADA KATALIS ZEOLIT

- ALAM,” vol. 12, no. 3, pp. 57–62, 2024.
- E. Ningsih, J. T. Kimia, and J. T. Industri, “KARAKTERISTIK BIODIESEL DENGAN,” vol. 3, no. 1, 2017.
- S. Sobah, M. N. A. H, and S. Theresia, “Pembuatan Biodisel dari Minyak Jarak dengan Metode Transesterifikasi Menggunakan Etanol Teknis dan Metanol PA,” vol. 1, no. 1, pp. 30–37, 2021.
- V. C. Usha, K. Jaiyeoba, and T. F. Oyewusi, “Overview on Different Reactors for Biodiesel Production,” no. May, 2021.
- D. Angelia, G. Prestasindi, W. Permatasari, S. Redjeki, and K. Surabaya, “Kinetics Transesterification Reaction Of Waste Cooking Oil Into Biodiesel With Modified CaO,” *J. Tek. Kim.*, vol. 16, no. 2, pp. 93–100, 2022.
- M. N. Arafah, R. Sukmawati, H. M. Safitri, and H. Budiastuti, “Non-Edible Moringa Oleifera Seeds for Environmentally Friendly Biodiesel – A Review,” vol. 5, 2021.
- O. Aboelazayem, M. Gadalla, and B. Saha, “Comprehensive Optimisation of Biodiesel Production Conditions via Supercritical Methanolysis of Waste Cooking Oil,” 2022.
- E. K. R. Jimmy, Eko Yohanes Setyawan, “Transesterifikasi Minyak Kelapa Sawit Berkatalis Basa Pada Temperatur Kamar : Pengaruh Waktu Pengadukan Dan Waktu Reaksi (Alkali-Catalyzed Palm Oil Transesterification at Room Temperature : Effect of Stirring Time and Reaction Time),” vol. 7, no. 1, pp. 63–73, 2022.