

Kinetika Reaksi Saponifikasi *Irreversible* ditinjau dari Perubahan Konsentrasi Reaktan

Kinetics of Irreversible Saponification Reactions in terms of changes in Reactant Concentration

Dwi Indah Lestari^{1*}, Debi Anggun Sari², Zeolita Prabu Putri³, Isma Uly Maranggi⁴

^{1,2,4}Program Studi Teknologi Kimia Industri, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

³Program Studi Teknik Kimia, Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, Indonesia

Jl. Srijaya Negara, Bukit Lama, Ilir Barat, Kota Palembang, Sumatera Selatan – 30128

*Corresponding Author: dwiindahlest@polsri.ac.id

ABSTRAK: Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinetika reaksi saponifikasi irreversible antara trigliserida dalam minyak goreng dan natrium hidroksida (NaOH) melalui analisis perubahan konsentrasi reaktan terhadap waktu. Reaksi dijalankan pada suhu 60 °C, dan sampel diambil setiap 5 menit untuk dianalisis melalui titrasi menggunakan HCl 0,5 M. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH menurun dari 0,500 mol/L menjadi 0,290 mol/L dalam 30 menit, sedangkan trigliserida turun dari 0,203 mol/L menjadi 0,133 mol/L. Data kemudian dianalisis menggunakan model kinetika orde dua *dan pseudo first-order* untuk menentukan mekanisme reaksi yang paling sesuai. Model orde dua memberikan nilai R^2 sebesar 0,9069 dengan konstanta laju $0,0125 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, sedangkan *model pseudo first-order* menunjukkan linearitas lebih baik dengan R^2 0,9296 dan konstanta laju $0,0169 \text{ min}^{-1}$. Perbedaan ini menunjukkan bahwa meskipun reaksi secara mekanistik bersifat bimolekuler, kelebihan relatif NaOH menyebabkan reaksi tampak mengikuti pola *pseudo first-order*. Dengan demikian, kinetika teramati lebih akurat dijelaskan oleh model *pseudo first-order*, dimana penurunan konsentrasi trigliserida menjadi faktor pengendali utama laju reaksi. Hasil penelitian ini memperkuat pemahaman mengenai perilaku kinetika saponifikasi pada kondisi operasi laboratorium.

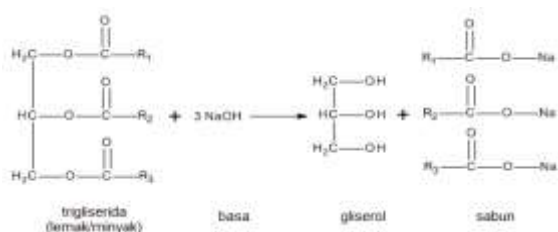
Kata kunci : saponifikasi; kinetika reaksi; *pseudo first-order*; *second order*; *irreversible*

ABSTRACT: This study aims to investigate the kinetics of the irreversible saponification reaction between triglycerides in cooking oil and sodium hydroxide (NaOH) by analyzing the changes in reactant concentrations over time. The reaction was carried out at 60 °C, and samples were collected every 5 minutes and analyzed by titration using 0.5 M HCl. The results showed that the concentration of NaOH decreased from 0.500 mol/L to 0.290 mol/L within 30 minutes, while triglycerides decreased from 0.203 mol/L to 0.133 mol/L. The kinetic data were evaluated using both second-order and pseudo first-order models to determine the most appropriate mechanism. The second-order model yielded an R^2 value of 0.9069 with a rate constant of $0.0125 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$, whereas the pseudo first-order model exhibited better linearity with an R^2 of 0.9296 and a rate constant of 0.0169 min^{-1} . These results indicate that although the reaction is mechanistically bimolecular, the experimental conditions particularly the relative excess of NaOH caused the reaction to behave in accordance with pseudo first-order kinetics. Thus, the observed kinetic behavior is more accurately described by the pseudo first-order model, in which the decrease in triglyceride concentration plays a dominant role in controlling the reaction rate. This study provides further insight into the kinetic characteristics of saponification under laboratory operating conditions.

Keywords: saponification; reaction kinetics; *pseudo first-order*; *second-order*; *irreversible*

1. PENDAHULUAN

Reaksi saponifikasi merupakan salah satu reaksi kimia fundamental dalam kimia organik dan industri kimia, khususnya dalam proses pembuatan sabun. Secara umum, saponifikasi didefinisikan sebagai reaksi antara trigliserida komponen utama minyak dan lemak dengan basa kuat seperti natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH), yang menghasilkan garam asam lemak (sabun) dan gliserol (Bakhri, Amirullah & Kasim, 2022). Saponifikasi termasuk reaksi autokatalitik di mana sabun yang dihasilkan bertindak sebagai agen yang melarutkan alkali dan mendispersikan lemak, memfasilitasi pembentukan suspensi koloid, yang pada akhirnya mempercepat proses reaksi (Panjaitan, 2021). Trigliserida tersusun dari satu molekul gliserol yang teresterifikasi oleh tiga asam lemak, sehingga proses pemutusan ikatan ester oleh basa merupakan tahap utama dalam reaksi saponifikasi. Mekanisme dasar reaksi ini berlangsung melalui nukleofilitas ion hidroksida terhadap atom karbon karbonil ester, diikuti oleh pembentukan ion karboksilat dan pelepasan gliserol sebagai produk samping sesuai dengan Gambar 1.



Gambar 1. Mekanisme Reaksi Saponifikasi (Nurhajawarsih, 2023)

Dalam segi kinetika kimia, saponifikasi termasuk ke dalam reaksi bimolekuler *irreversible*, dimana laju reaksi ditentukan oleh interaksi antara trigliserida dan ion hidroksida sebagai reaktan. Studi mengenai kinetika saponifikasi menjadi penting karena perubahan konsentrasi reaktan dan produk selama reaksi dapat digunakan untuk menentukan orde reaksi, konstanta laju, serta mekanisme yang terjadi. Pemahaman kinetika saponifikasi tidak hanya memberikan wawasan fundamental dalam kimia reaksi, tetapi juga memiliki relevansi aplikasi dalam optimasi proses industri, seperti produksi sabun, biodiesel, dan pengolahan minyak nabati.

Faktor dapat mempengaruhi laju reaksi saponifikasi, termasuk konsentrasi basa, jenis trigliserida, suhu, polaritas pelarut, serta kondisi pencampuran. Pada temperatur tinggi, laju reaksi umumnya meningkat karena aktivasi kimia yang semakin besar. Begitu pula, semakin tinggi konsentrasi NaOH, maka jumlah spesies nukleofilik yang tersedia untuk menyerang gugus ester semakin banyak, sehingga mempercepat proses hidrolisis (Pei et al., 2025). Selain itu, karakteristik minyak seperti panjang rantai dan derajat ketidakjenuhan asam lemak juga memberikan kontribusi signifikan terhadap kinetika reaksi.

Pengamatan kinetika pada proses saponifikasi memiliki nilai praktis yang tinggi, mengingat reaksi ini banyak diterapkan dalam industri sabun,

pengolahan minyak, dan sintesis biodiesel. Pemahaman yang baik tentang laju reaksi memungkinkan optimasi kondisi operasi seperti konsentrasi basa, suhu, dan waktu reaksi untuk memperoleh konversi yang lebih efisien (Pasaribu, 2022). Selain itu, data kinetika dapat digunakan untuk merancang dan mengendalikan reaktor sehingga proses berlangsung stabil, aman, dan menghasilkan produk dengan kualitas yang konsisten.

Penelitian komprehensif mengenai reaksi saponifikasi telah dilakukan untuk mengelaborasi aspek kinetika kimia dan korelasinya terhadap kualitas produk sabun yang dihasilkan. Studi kinetika kimia pada reaksi saponifikasi etil asetat dengan ion hidroksida telah dikonfirmasi mengikuti kinetika orde kedua yang ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) yang tinggi, baik menggunakan metode titrasi ($R^2 = 0.9757$) maupun konduktometri ($R^2 = 0.9955$) (Pasaribu, 2022). Mekanisme orde dua ini memberikan dasar pemahaman fundamental laju reaksi saponifikasi. Dalam aplikasinya pada produksi sabun padat dari minyak jelantah, kinetika reaksi optimal yang memengaruhi kualitas sabun cenderung mengikuti model kinetika *second-order*. Kondisi optimum untuk menghasilkan sabun berkualitas tinggi yang memenuhi standar SNI 3532:2021 dicapai pada konsentrasi NaOH 2 M dengan waktu reaksi 60 menit, menghasilkan sabun dengan kadar asam lemak bebas yang sangat rendah

(0,1126%) dan pH yang stabil (9.5–10) (Wahyudi, Sitorus & Hidayat, 2025).

Lebih lanjut, kualitas fisik sabun padat secara signifikan dipengaruhi oleh faktor variasi konsentrasi NaOH dan jenis asam lemak penyusun minyak. Secara spesifik, penggunaan konsentrasi NaOH 30% menghasilkan sabun yang optimal dengan tekstur padat dan pH 10, sementara formulasi yang didominasi minyak kelapa sawit mampu memberikan sifat busa yang melimpah dan stabil berkat kandungan asam palmitatnya (Erbaningsih, Muna & Hidayah, 2025).

Selain penentuan orde reaksi, penelitian-penelitian ini juga menyoroti aspek metodologi validasi dan kondisi proses spesifik yang krusial. Studi oleh Marvin Horale Pasaribu (2022) secara khusus membandingkan metode titrasi dan konduktometri dalam penentuan tetapan laju reaksi (k) saponifikasi etil asetat, menemukan bahwa nilai k yang diperoleh sangat konsisten ($k_{\text{titrasi}} = 0.0125 \text{ M}^{-1} \cdot \text{detik}^{-1}$ dan $k_{\text{konduktometri}} = 0.0132 \text{ M}^{-1} \cdot \text{detik}^{-1}$), yang memvalidasi reliabilitas kedua teknik analisis tersebut pada suhu konstan 35°C. Dalam konteks pemanfaatan limbah, penelitian Wahyudi, Sitorus, dan Hidayat (2025) menggarisbawahi pentingnya langkah *pretreatment* minyak jelantah melalui pemurnian menggunakan karbon aktif sebelum proses saponifikasi, yang berperan esensial dalam menghasilkan sabun dengan karakteristik superior dan kualitas yang dapat diterima. Secara pedagogis, eksperimen saponifikasi ini

terbukti efektif sebagai sumber belajar praktikum yang komprehensif, memungkinkan siswa memahami bahwa manipulasi variabel konsentrasi pereaksi memiliki dampak langsung tidak hanya pada kinetika reaksi, tetapi juga pada atribut fisik dan kualitas akhir produk sabun (Erbaningsih et al., 2025).

Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari karakteristik kinetika reaksi saponifikasi melalui pengamatan perubahan konsentrasi reaktan dan produk selama proses berlangsung. Fokus utama penelitian adalah menentukan orde reaksi serta konstanta laju yang menggambarkan dinamika interaksi antara trigliserida dan ion hidroksida.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi minyak goreng sebagai sumber trigliserida, larutan NaOH 0,5 M sebagai reaktan basa, serta larutan HCl 0,5 M dan indikator *fenolftalein* untuk analisis titrasi. Peralatan yang digunakan antara lain gelas beker, erlenmeyer, buret, pipet ukur, *hot plate* dengan pengaduk, termometer, dan *stopwatch*.

2.2 Prosedur

Sebanyak 10 mL minyak goreng dicampurkan dengan 40 mL NaOH 0,5 M dalam Erlenmeyer 250 mL, kemudian diletakkan di atas *hot plate* dan dipasang pengaduk magnetik. Campuran dipanaskan hingga mencapai suhu 60 °C

dan dipertahankan pada suhu tersebut selama proses berlangsung. Setelah suhu stabil, reaksi saponifikasi dimulai dan sampel 10 mL diambil pada menit ke-0, lalu dipindahkan ke Erlenmeyer 50 mL untuk dianalisis melalui titrasi menggunakan HCl 0,5 M hingga warna berubah dari ungu menjadi bening. Proses pengambilan dan titrasi sampel diulangi pada interval waktu 5, 10, 15, 20, 25, dan 30 menit guna memperoleh data perubahan konsentrasi NaOH selama reaksi berlangsung.

2.3 Analisis Data

Orde reaksi (*second order*) pada reaksi bimolekuler *irreversible* umumnya adalah orde dua karena dua partikel reaktan terlibat langsung dalam tahap penentu laju (Nandiyanto, Oktiani & Ragadhita, 2019). Orde reaksi dua ditunjukkan pada persamaan (1).

$$\ln \left(\frac{[A][B_0]}{[B][A_0]} \right) = k_2([B_0] - [A_0])t \quad (1)$$

Namun, dalam beberapa kondisi pengamatan, orde yang teramati bisa tampak berbeda jika salah satu reaktan dibuat berlebih atau disebut dengan *pseudo first-order* yang ditunjukkan pada persamaan (2).

$$\ln \left(\frac{[A]}{[A_0]} \right) = -k't \quad (2)$$

Dimana,

[A],[B] = Konsentrasi zat A dan zat B pada waktu tertentu (mol/L)

[A₀],[B₀] = Konsentrasi mula-mula zat A dan zat B (mol/L)

t = waktu (menit)

k' = konstanta orde reaksi *pseudo first-order* (min^{-1})

k_2 = konstanta reaksi orde dua (L/mol.min)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan kinetika orde reaksi saponifikasi dilakukan dengan mengamati data titrasi terhadap NaOH, kemudian secara stoikiometri bisa didapatkan juga konsentrasi trigliserida terhadap waktu. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa konsentrasi NaOH dan trigliserida terus menurun selama 30 menit proses pemanasan pada $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. NaOH turun dari 0,500 mol/L menjadi 0,290 mol/L, sedangkan trigliserida berkurang dari 0,203 mol/L menjadi 0,133 mol/L.

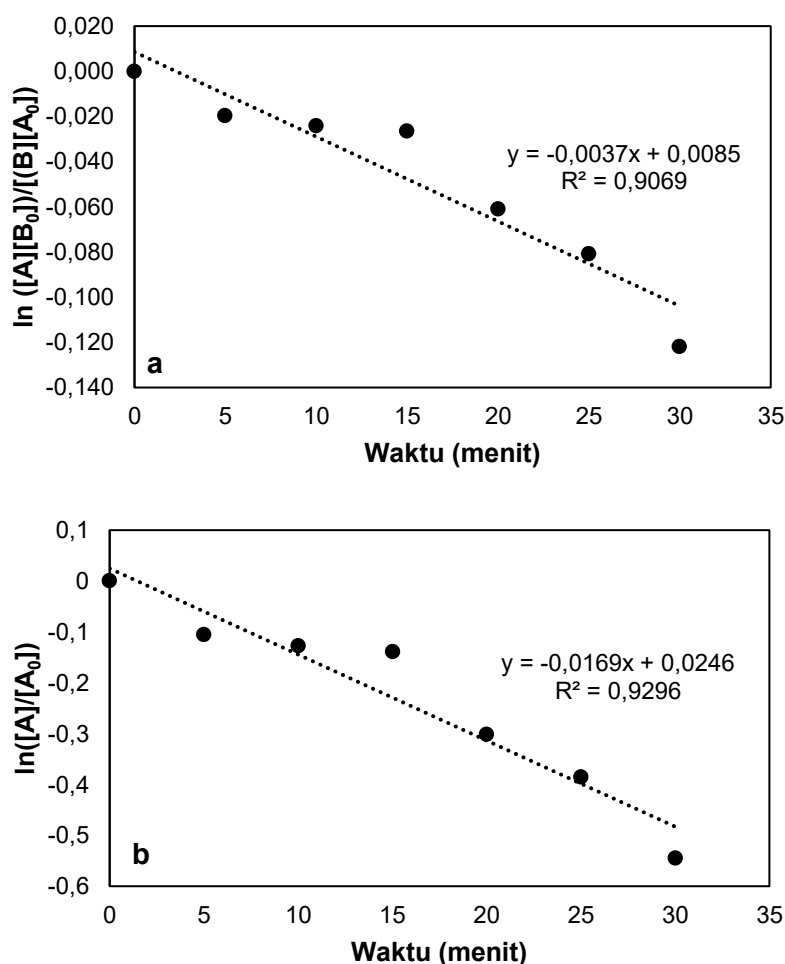
Tabel 1. Konsentrasi reaktan terhadap waktu

Waktu (menit)	Konsentrasi NaOH (mol/L)	Konsentrasi Trigliserida (mol/L)
0	0,500	0,203
5	0,450	0,186
10	0,440	0,183
15	0,435	0,181
20	0,370	0,160
25	0,340	0,150
30	0,290	0,133

Reaksi saponifikasi digambarkan sebagai reaksi multi-tahap dengan kinetika linear: dimulai dari periode induksi, kemudian periode kecepatan konstan, dan akhirnya periode penurunan kecepatan

(Protasova et al., 2021). Penurunan kedua reaktan yang ditunjukkan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa reaksi saponifikasi berlangsung aktif, di mana ion hidroksida menyerang gugus ester trigliserida dan membentuk sabun serta gliserol. Laju penurunan yang semakin melandai pada menit-menit akhir menandakan bahwa jumlah reaktan yang tersisa semakin sedikit, sehingga reaksi berlangsung lebih lambat. Dengan demikian, model kinetika saponifikasi yang diajukan terbukti efektif dan dapat dimanfaatkan untuk menghitung berkurangnya nilai asam pada variasi kondisi yang berbeda (Putri, Augustin & Hasanudin, 2022).

Pada pengamatan kinetika pada saponifikasi, data percobaan kemudian dianalisis menggunakan dua pendekatan: orde dua dan *pseudo first-order*. Ketika konsentrasi reaktan diplot dalam bentuk orde dua pada Gambar 2a, diperoleh kurva yang cukup linear dengan nilai R^2 sebesar 0,9069. Linearitas ini selaras dengan teori bahwa saponifikasi merupakan reaksi bimolekuler yang secara mekanistik melibatkan interaksi langsung antara trigliserida dan ion hidroksida. Konstanta laju yang diperoleh dari model ini adalah $0,0125\text{ L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, yang mencerminkan besarnya laju konsumsi reaktan ketika kedua spesies kimia tersebut berinteraksi.



Gambar 2. Hasil linearisasi persamaan kinetika (a) *second-order* (b) *pseudo first-order*

Pada Gambar 2b hasil *plotting* kinetika reaksi *pseudo first order*, hubungan yang terbentuk lebih linear ($R^2 = 0,9296$) dengan konstanta laju sebesar $0,0169 \text{ min}^{-1}$. Nilai R^2 yang lebih tinggi menunjukkan bahwa, dalam kondisi percobaan ini, model *pseudo first-order* memberikan gambaran yang lebih baik terhadap dinamika laju reaksi. Hal tersebut dapat dikarenakan pada awal reaksi konsentrasi NaOH relatif jauh lebih besar dibandingkan trigliserida, sehingga perubahan konsentrasinya tidak terlalu drastis. Dengan kata lain, NaOH dapat dianggap hampir konstan, sementara laju

reaksi lebih ditentukan oleh penurunan trigliserida. Pada reaksi saponifikasi etil asetat dan NaOH dalam reaktor CSTR mengungkap bahwa perubahan konsentrasi reaktan, khususnya basa, merupakan faktor yang paling berpengaruh terhadap sensitivitas kinetika reaksi sehingga menentukan besarnya konversi pada kondisi operasi tertentu (Hannani, Azehar & Ali, 2025). Temuan tersebut sejalan dengan penelitian ini yang juga menunjukkan bahwa kelebihan konsentrasi NaOH menyebabkan kinetika saponifikasi trigliserida cenderung mengikuti model *pseudo first-order*

Dari keseluruhan analisis, terlihat bahwa meskipun reaksi saponifikasi secara teoritis mengikuti hukum laju orde dua, namun secara eksperimental seperti reaksi *pseudo first-order*. Nilai R^2 yang lebih tinggi dan konstanta laju yang lebih besar pada model *pseudo first-order* menjadi indikasi bahwa, selama

percobaan, konsentrasi trigliserida merupakan faktor yang paling menentukan laju reaksi. Dengan demikian, model *pseudo first-order* dapat dianggap sebagai pendekatan kinetika yang paling representatif untuk kondisi percobaan yang dilakukan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, reaksi saponifikasi antara trigliserida dan NaOH menunjukkan penurunan konsentrasi reaktan yang konsisten selama proses berlangsung pada suhu 60 °C. Analisis kinetika menunjukkan bahwa meskipun reaksi ini secara teoritis merupakan reaksi bimolekuler orde dua, data percobaan lebih sesuai dengan model *pseudo first-order*, ditunjukkan oleh nilai R^2 sebesar 0,9206 dan konstanta laju yang lebih besar yaitu 0,0169 min⁻¹. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kondisi percobaan, laju reaksi terutama dikendalikan oleh penurunan konsentrasi trigliserida, sementara NaOH berada dalam jumlah relatif berlebih. Secara keseluruhan, model *pseudo first-order* menjadi pendekatan yang paling representatif untuk menggambarkan kinetika saponifikasi pada kondisi operasional penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Bakhri, Syamsul, Amirullah Amirullah, and Muhammad Ridha Kasim. 2022. "Pembuatan Sabun Cair

Berbasis Minyak Kelapa Dengan Proses Saponifikasi Untuk Menghambat Pertumbuhan Bakteri Dengan Penambahan Minyak Zaitun (Pure Olive Oil) Untuk Pelembap Kulit." *Jurnal Teknologi Dan Industri Pertanian Indonesia* 14(1):34–38. doi:10.17969/jtipi.v14i1.22567.

Erbaningsih, Erbaningsih, Laili Nailul Muna, and Muhamad Aditya Hidayah. 2025. "The Effect of NaOH Concentration and Fatty Acid Type on the Physical Properties of Solid Soap in Saponification Reaction Material." *Jurnal IPA & Pembelajaran IPA* 9(1):259–75. doi:10.24815/jipi.v9i1.44328.

Hannani, Nur, Mohamad Azehar, and Sherif Abdulbari Ali. 2025. "Sensitivity Analysis of Reaction Kinetics in Saponification of Ethyl Acetate and Sodium Hydroxide in Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)." 8(2):52–65. doi:10.24191/mjcet.v8i2.8714.

Nandiyanto, Asep Bayu Dani, Rosi Oktiani, and Risti Ragadhita. 2019. "How to Read and Interpret Ftir Spectroscopy of Organic Material." *Indonesian Journal of Science and Technology* 4(1):97–118. doi:10.17509/ijost.v4i1.15806.

- Nurhajawarsih. 2023. "Formulation and Analysis of Solid Bath Soap With the Addition of Seaweed." *Jurnal Sains Dan Teknik Terapan* 1(1):27–40. <https://journal.akom-bantaeng.ac.id/index.php/jstt>.
- Panjaitan, Jabosar Ronggur Hamonangan. 2021. "Reaction Kinetics of Soap Making and Glycerol Purification from Soap Alkaline Waste: Review." *Rekayasa* 14(2):200–206.
- Pasaribu, Marvin Horale. 2022. "Chemical Kinetic Study on Saponification Reaction of Ethyl Acetate Using Titration and Conductometric Methods." *Jurnal Jejaring Matematika Dan Sains* 4(2):58. <https://doi.org/10.36873/jjms.2022.v4.i2.710>.
- Pei, Wen-Bo, Jian-Lan Liu, Jiansheng Wu, Fun Man Fung, and Xiao-Ming Ren. 2025. "Enhanced Accuracy and Efficiency in Measuring the Rate Constant for Ethyl Acetate Saponification." *Journal of Chemical Education*. doi:10.1021/acs.jchemed.5c00554
- Protasova, N. N., M. V. Korchagin, A. V. Protasov, and V. I. Korchagin. 2021. "Analysis and Synthesis of Kinetic Parameters of Soapstocksaponification Stage in Sunflower Oil Production." *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 640(4). doi:10.1088/1755-1315/640/4/042015.
- Putri, Qodria Utami, Diah Augustin, and Hasanudin Hasanudin. 2022. "Kinetika Esterifikasi Asam Lemak Bebas Dari Sludge Industri Crude Palm Oil (CPO) Menggunakan Katalis Montmorillonite/Karbon Tersulfonasi Dari Tetes Tebu." *ALCHEMY Jurnal Penelitian Kimia* 18(1):48. doi:10.20961/alchemy.18.1.50470.48-57.
- Wahyudi, Apri, Berlian Sitorus, and Ferdinand Hidayat. 2025. "Kinetic Analysis of Saponification Reaction in Eco-Friendly Soap Production Based on Waste Cooking Oil." *Jurnal Kependidikan Kimia* 13(3):713–23. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v13i3.14828>.