

ANALISIS KINETIKA SAPONIFIKASI ETIL ASETAT: STUDI EKSPERIMEN MENGGUNAKAN REAKTOR *CONTINUOUS* *STIRRED TANK REACTOR*

Ulfiana Ihda Afifa, Ade Sonya Suryandari, Ernia Novika Dewi

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang, Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

[ade.sonya@polinema.ac.id]

ABSTRAK

Reaksi saponifikasi merupakan salah satu reaksi penting dalam proses industri kimia sehingga pemahaman karakteristik kinetiknya diperlukan untuk mendukung desain dan optimasi proses secara berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan parameter kinetika reaksi saponifikasi antara etil asetat dan natrium hidroksida (NaOH), meliputi orde reaksi, konstanta laju reaksi, dan energi aktivasi. Penelitian dilakukan secara eksperimental menggunakan reaktor tangki berpengaduk kontinu (*Continuous Stirred Tank Reactor/CSTR*) tipe Armfield dengan kondisi reaktan equimolar. Masing-masing reaktan dialirkan dengan laju 30 mL/menit dan proses dilakukan pada suhu 27°C, 37°C, dan 47°C dengan pengadukan konstan untuk mempertahankan homogenitas campuran. Konsentrasi NaOH dalam sistem diukur secara *real-time* menggunakan sensor konduktivitas yang telah dikalibrasi. Data hasil pengukuran digunakan untuk menentukan orde dan konstanta laju reaksi, sedangkan energi aktivasi ditentukan berdasarkan persamaan Arrhenius. Hasil penelitian menunjukkan bahwa reaksi saponifikasi mengikuti model kinetika orde dua dengan konstanta laju reaksi sebesar 0,02083; 0,04502; dan 0,06265 M⁻¹.menit⁻¹ pada suhu berturut-turut 27°C, 37°C, dan 47°C. Berdasarkan hubungan Arrhenius, diperoleh energi aktivasi sebesar 44,16 kJ/mol. Dengan demikian, CSTR tipe Armfield dapat digunakan sebagai platform eksperimental untuk menentukan parameter kinetika reaksi saponifikasi secara kontinu, yang selanjutnya dapat menjadi dasar dalam perancangan, optimasi, dan pengendalian proses saponifikasi pada skala industri.

Kata kunci: *continuous stirred tank reactor, energi aktivasi, fitting model, konstanta laju, saponifikasi*

ABSTRACT

Saponification is an important reaction in chemical processing; therefore, understanding its kinetic characteristics is essential for supporting process design and optimization under continuous operating conditions. This study aimed to determine the kinetic parameters of the saponification reaction between ethyl acetate and sodium hydroxide (NaOH), including the reaction order, rate constant, and activation energy. The experiment was conducted using an Armfield Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) under equimolar reactant conditions. Both reactants were fed at a flow rate of 30 mL/min, and the reaction was carried out at temperatures of 27°C, 37°C, and 47°C with constant agitation to maintain mixture homogeneity. The NaOH concentration in the system was measured in real time using a calibrated conductivity sensor. The experimental data were used to determine the reaction order and rate constants, while the activation energy was determined using the Arrhenius equation. The results showed that the saponification reaction followed second-order kinetics, with rate constants of 0.02083, 0.04502, and 0.06265 M⁻¹ min⁻¹ at 27°C, 37°C, and 47°C, respectively. Based on the Arrhenius relationship, the activation energy was determined to be 44.16 kJ/mol. Therefore, the Armfield CSTR can serve as an effective experimental platform for investigating the kinetics of the saponification reaction under continuous operating conditions, providing useful kinetic parameters for the design, optimization, and control of saponification processes at the industrial scale..

Keywords: *continuous stirred-tank reactor, activation energy, model fitting, rate constant, saponification*

Corresponding author: Ade Sonya Suryandari

Jurusan Teknik Kimia, Politeknik Negeri Malang

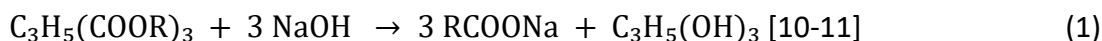
Jl. Soekarno-Hatta No. 9, Malang 65141, Indonesia

E-mail: ade.sonya@polinema.ac.id



1. PENDAHULUAN

Sabun merupakan senyawa organik yang dihasilkan dari reaksi antara asam lemak atau minyak dengan basa kuat, seperti natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH) [1-4]. Sabun adalah senyawa amfipatik yang memiliki dua bagian utama, yaitu kepala hidrofilik (suka air) dan ekor hidrofobik (tidak suka air), yang membuatnya efektif dalam membersihkan kotoran berminyak dari permukaan. Bagian hidrofilik larut dalam air, sementara bagian hidrofobik berinteraksi dengan minyak dan lemak, membentuk misel yang mengangkat kotoran dari permukaan. Struktur ini memungkinkan sabun untuk bertindak sebagai surfaktan, menurunkan tegangan permukaan air dan meningkatkan kemampuan pembersihannya. Pada proses pencucian, misel yang terbentuk menangkap kotoran berminyak di pusatnya dan terdispersi dalam air, sehingga dapat dibilas dengan mudah. Efektivitas sabun sebagai agen pembersih sangat dipengaruhi oleh pH, suhu, dan konsentrasi ionik dalam air, namun tetap bergantung pada struktur amfipatik molekulnya [5-7]. Konsumsi sabun di dunia terus meningkat setiap tahunnya. Pada tahun 2019, konsumsi sabun di dunia mencapai 20 juta ton. Pasar sabun global diperkirakan akan mencapai nilai USD 50,68 miliar pada tahun 2025, dengan tingkat pertumbuhan tahunan gabungan (CAGR) sebesar 6,05% dari 2025 hingga 2032 [8-9]. Sabun diproduksi melalui proses saponifikasi, yaitu reaksi hidrolisis basa terhadap trigliserida, menghasilkan sabun dan gliserol. Proses ini melibatkan pemecahan ikatan ester pada trigliserida oleh basa kuat seperti natrium hidroksida (NaOH) atau kalium hidroksida (KOH), menghasilkan garam asam lemak (sabun) dan gliserol sebagai produk samping. Reaksi kimia ini dapat dituliskan pada persamaan (1) berikut.



Tipe sabun dapat dibedakan berdasarkan jenis alkali yang digunakan dalam proses saponifikasi. Sabun keras dihasilkan dengan menggunakan NaOH, sedangkan sabun lunak dihasilkan dengan menggunakan KOH. Sabun lithium, yang dihasilkan dengan menggunakan lithium hidroksida, memiliki kekentalan yang lebih tinggi dan sering digunakan sebagai pelumas dalam industri otomotif dan sebagai agen pelepas dalam proses manufaktur. Pemilihan jenis alkali dalam pembuatan sabun mempengaruhi sifat fisik dan kimia sabun yang dihasilkan, seperti kekerasan, kelarutan, dan kemampuan emulsi, yang pada gilirannya menentukan aplikasi sabun tersebut dalam berbagai industri [12-17].

Kinetika reaksi adalah bagian dari kimia-fisika yang mempelajari laju reaksi. Laju reaksi didefinisikan sebagai kecepatan terjadinya reaksi, yaitu perubahan molekuler dalam reaksi per satuan volume per satuan waktu. Laju reaksi dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti luas permukaan untuk reaktan padat, konsentrasi reaktan, tekanan untuk reaktan fase gas, penggunaan katalis, suhu reaksi, dan pengadukan [7,18-22]. Terdapat beberapa parameter yang dapat menentukan kinetika kimia, yakni orde reaksi, konstanta laju reaksi, serta energi aktivasi. Orde reaksi menunjukkan seberapa besar pengaruh konsentrasi reaktan terhadap laju reaksi. Orde reaksi dapat ditentukan secara eksperimental melalui analisis data konsentrasi reaktan terhadap waktu [23]. Konstanta Laju Reaksi (k) menunjukkan seberapa cepat reaksi kimia berlangsung. Nilai k dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti suhu, tekanan, dan katalis [24]. Energi Aktivasi (E_a) adalah jumlah minimal energi yang diperlukan untuk mengubah reaktan menjadi produk. Energi aktivasi dapat ditentukan melalui persamaan Arrhenius [23,25].

Penelitian terdahulu telah banyak meneliti kinetika reaksi saponifikasi, terutama dengan reaksi antara NaOH dan Etil Asetat. Beberapa studi telah mengkaji laju reaksi dan model kinetika menggunakan berbagai jenis reaktor, seperti reaktor batch atau mikroreaktor dengan fokus pada reaktor yang tidak kontinu atau menggunakan suhu tetap, yang membatasi pemahaman tentang dinamika reaksi dalam kondisi variasi suhu yang lebih luas [26-28]. Salah satu jenis reaktor yang dapat digunakan untuk studi kinetika reaksi saponifikasi adalah reaktor jenis CSTR. Komponen utama dalam reaktor CSTR adalah tangki dan impeler. Impeler yang berputar dalam cairan akan mengangkat atau merendam cairan ke dasar, sehingga kedua zat menjadi homogen. Pengadukan juga berfungsi untuk meningkatkan laju transfer massa dalam sistem reaktor tangki yang diaduk, [29-30]. CSTR merupakan jenis reaktor kimia di mana campuran reaktan yang masuk ke dalam reaktor akan tercampur secara sempurna sehingga menghasilkan komposisi yang seragam di seluruh volume reaktor. Reaktor CSTR memiliki beberapa karakteristik, yakni aliran masuk dan keluar reaktor kontinu, konsentrasi dan suhu di seluruh volume reaktor sama (tercampur sempurna), waktu tinggal (residence time) reaktan di dalam reaktor dapat dikontrol, serta cocok untuk reaksi yang membutuhkan waktu tinggal lama [24]. Pada penelitian ini, reaktor CSTR yang digunakan adalah merk Armfield yang dilengkapi dengan sistem pengaduk, pemanasan, dan pengambilan sampel yang memungkinkan pengontrolan dan pengamatan proses reaksi secara real-time. Penggunaan reaktor CSTR dalam studi kinetika saponifikasi Etil Asetat pada berbagai suhu masih relatif terbatas, terutama yang menggabungkan analisis energi aktivasi secara eksperimen. Penelitian ini menggunakan CSTR Armfield sebagai alat untuk mengkaji kinetika reaksi saponifikasi Etil Asetat dengan NaOH. CSTR memberikan kontrol yang lebih baik atas suhu, pencampuran, dan waktu tinggal reaktan, yang merupakan pendekatan baru dalam mempelajari kinetika saponifikasi secara real-time [29-30].

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk melakukan studi kinetika kimia yaitu penentuan orde reaksi, konstanta laju reaksi (k), serta energi aktivasi (E_a) pada reaksi saponifikasi Etil Asetat dengan natrium hidroksida. Penelitian ini menguji suhu pada tiga kondisi yang berbeda (27°C, 37°C, dan 47°C), yang memungkinkan untuk memodelkan pengaruh suhu terhadap laju reaksi dengan lebih akurat. Hal ini memberikan wawasan baru tentang hubungan suhu dengan laju reaksi pada proses saponifikasi yang tidak banyak dieksplorasi sebelumnya dalam konteks CSTR. Penelitian ini menghitung energi aktivasi (E_a) untuk reaksi saponifikasi Etil Asetat menggunakan metode Arrhenius, yang memberikan gambaran mengenai energi minimum yang dibutuhkan untuk memulai reaksi dalam kondisi operasi CSTR. Penelitian ini memberikan pemahaman yang lebih dalam mengenai kinetika saponifikasi dalam reaktor CSTR, serta kontribusi baru dalam analisis suhu dan energi aktivasi pada reaksi saponifikasi Etil Asetat dengan NaOH.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah satu unit CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) merk Armfield tipe CEM MkII, waterbath, beaker glass, dan labu ukur. Penelitian menggunakan reaktor CSTR merk Armfield tipe CEM MkII, yang dilengkapi dengan tangki berpengaduk mekanis, sistem jaket pemanas dengan pengontrol suhu

presisi, serta *port* pengambilan sampel otomatis untuk *monitoring* waktu nyata. CSTR ini didukung sensor konduktivitas *in-line* yang terkalibrasi untuk mengukur perubahan konsentrasi NaOH secara langsung dan *real-time* [31-33]. Pengadukan menggunakan *impeller* tipe propeler yang telah terbukti meningkatkan homogenitas dan laju transfer massa di reaktor berpengaduk [7]. Selain itu, peralatan laboratorium standar seperti gelas ukur, labu ukur, dan pipet volumetrik digunakan untuk persiapan larutan NaOH dan Etil Asetat.



Gambar 1. Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR) Armfield tipe CEM MkII

Bahan utama dalam penelitian ini adalah natrium hidroksida (NaOH) dengan konsentrasi 0,05 M sebagai basa kuat, dan Etil Asetat ($\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$) dengan konsentrasi ekuivalen 0,05 M sebagai substrat ester [34]. Larutan disiapkan menggunakan akuades (air suling) berkualitas tinggi untuk menghindari pengaruh ion asing yang dapat mempengaruhi laju reaksi [35]. NaOH yang digunakan memiliki kemurnian analitik (SmartLab) sedangkan Etil Asetat berkemurnian >99%. Pemilihan konsentrasi didasarkan pada literatur yang menunjukkan konsentrasi ini ideal untuk memperoleh kinetika reaksi yang jelas dan menghindari kondisi pengenceran berlebih [7,36]. Semua bahan kimia disiapkan dan disimpan sesuai protokol keamanan laboratorium standar.

2.2. Prosedur Penelitian

Larutan NaOH 0,05 M dan Etil Asetat 0,05 M disiapkan secara terpisah sebanyak 5 liter masing-masing. Larutan disiapkan menggunakan air suling dengan pencampuran homogen. Semua larutan disimpan dalam wadah tertutup agar tidak mengalami kontaminasi atau penguapan selama persiapan dan percobaan. CSTR Armfield dioperasikan dengan mengalirkan larutan NaOH dan Etil Asetat secara kontinu dan bersamaan pada laju alir yang sama, yaitu 30 mL/menit masing-masing, sehingga kondisi ekuimolar terpenuhi selama proses [35,37]. Suhu dipilih berdasarkan rentang suhu efektif yang umum digunakan dalam studi kinetika saponifikasi ester untuk mendapatkan data lengkap pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Suhu reaksi dijaga pada nilai 27°C, 37°C, dan 47°C. Pengadukan pada kecepatan konstan sebesar 300 rpm memastikan pencampuran sempurna di dalam reaktor dan menghindari gradien konsentrasi dan suhu lokal. Laju alir dan pengadukan dipantau secara digital dan tercatat untuk memastikan kestabilan kondisi operasi [35,38].

2.3. Pengambilan data dan analisis

Pengambilan sampel dilakukan secara otomatis melalui port pengambilan yang terhubung langsung ke sistem analisis konduktivitas. Data konduktivitas diubah menjadi konsentrasi NaOH. Perubahan konsentrasi NaOH dan Etil Asetat dicatat untuk setiap 30 detik. Pengukuran konsentrasi ini berfungsi sebagai indikator laju reaksi dan digunakan untuk analisis kinetika. Data perubahan konsentrasi reaktan dijadikan dasar *fitting model* kinetika reaksi [39]. Seluruh data konsentrasi terhadap waktu dikumpulkan hingga mencapai kondisi tunak (*steady state*) yang menunjukkan reaksi mendekati kesetimbangan atau telah selesai. Selanjutnya, data dianalisis menggunakan metode grafik linear untuk menentukan orde reaksi dan konstanta laju. Data kinetika dianalisis dengan memplot invers konsentrasi NaOH terhadap waktu untuk menguji hipotesis orde dua. Nilai konstanta laju reaksi diperoleh dari slope garis regresi linear. Selanjutnya, konstanta laju pada tiga suhu yang berbeda digunakan untuk membuat plot Arrhenius guna menentukan energi aktivasi reaksi [23-24,40].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian telah dilakukan dengan mereaksikan larutan Etil Asetat dan NaOH melalui reaksi saponifikasi. Reaksi saponifikasi merupakan reaksi antara asam lemak atau minyak dengan basa kuat [1-3]. Adapun pada penelitian ini persamaan reaksi yang terjadi dapat dilihat pada Persamaan (2) berikut.



Penggunaan CSTR pada penelitian ini berfungsi untuk memperbesar kemungkinan terjadinya reaksi yang homogen, dapat diatur suhunya serta dipantau secara realtime. Adapun pemilihan variasi suhu didasarkan pada Hukum Arrhenius yang mendefinisikan adanya pengaruh suhu terhadap laju reaksi. Laju reaksi dipengaruhi oleh komposisi dan energi material dalam hal ini adalah suhu. Adanya pengaruh suhu terkait dengan energi kinetik molekul, dimana akan mempengaruhi ikatan energi antara atom [11,23]. Penelitian ini bertujuan untuk mempelajari kinetika kimia yaitu penentuan orde reaksi, konstanta laju reaksi (k), serta energi aktivasi (E_a) pada reaksi saponifikasi Etil Asetat dengan natrium hidroksida. Secara kuantitatif kecepatan reaksi ditentukan oleh orde reaksi, yaitu jumlah dari eksponensial konsentrasi pada persamaan laju reaksi dan nilainya ditentukan berdasarkan hasil percobaan [23-24]. Apabila reaksi saponifikasi dituliskan dengan simbol A, B, C, dan D mewakili senyawa NaOH, Etil Asetat, sodium asetat, dan etanol berturut-turut, maka persamaan reaksi ditulis pada Persamaan (3) berikut.



Apabila reaktan diumpankan secara equimolar ($C_{A0}=C_{B0}$) maka persamaan laju reaksinya adalah sebagai berikut.



$$-r_A = -\frac{d}{dt} C_A = k \cdot C_A^2 \quad (6)$$

Dimana:

C_A : konsentrasi NaOH sebagai fungsi waktu (mol/L)

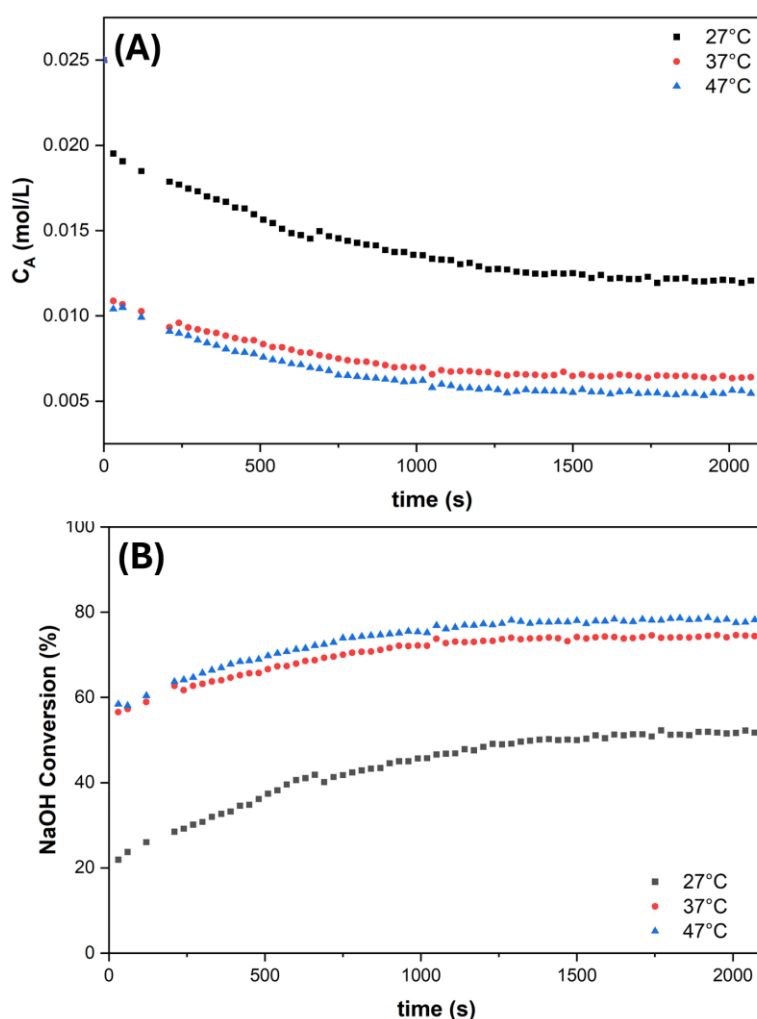
C_B : konsentrasi Etil Asetat sebagai fungsi waktu (mol/L)

k : konstanta laju reaksi

Apabila diintegrasikan maka diperoleh persamaan (7) berikut.

$$\frac{1}{C_A} = kt + \frac{1}{C_{A0}} \quad (7)$$

Penentuan nilai k pada penelitian ini menggunakan metode grafik, yakni dengan *plotting* grafik waktu (t) terhadap $\frac{1}{C_A}$. Apabila diperoleh garis linear dengan nilai k positif dan R^2 mendekati 1, maka termasuk reaksi orde 2. Nilai k dihitung melalui kemiringan kurva regresi linear.



Gambar 2. Kurva perubahan (A) konsentrasi NaOH dan (B) konversi NaOH terhadap perubahan waktu

Gambar 2 menunjukkan grafik perubahan konsentrasi setiap satuan waktu pada variasi temperatur 27°C, 37°C, dan 47°C. Gambar 2 (A) menunjukkan kurva perubahan

konsentrasi NaOH terhadap perubahan waktu pada variasi temperatur 27°C, 37°C, dan 47°C. Terlihat bahwa konsentrasi reaktan NaOH semakin menurun dari waktu ke waktu. Hal ini merupakan hasil dari adanya reaksi kimia antara NaOH (basa kuat) dan Etil Asetat (ester) yang terjadi secara equimolar dan reaksi terus berlangsung, sehingga konsentrasi NaOH akan terus menurun seiring waktu [41-42]. Apabila dilihat setiap variasi temperatur, yakni 27°C, 37°C, dan 47°C, adanya peningkatan temperatur dapat mempercepat penurunan konsentrasi NaOH karena terjadinya peningkatan energi kinetik partikel, sehingga memperbesar kemungkinan tumbukan yang efektif [23,43]. Gambar 2 (B) menunjukkan kurva perubahan konversi NaOH terhadap perubahan waktu pada variasi temperatur 27°C, 37°C, dan 47°C. Dapat dilihat bahwa terjadi peningkatan konversi NaOH seiring dengan bertambahnya waktu. Reaksi saponifikasi NaOH dengan Etil Asetat merupakan reaksi irreversibel dan merupakan reaksi orde dua, dimana laju reaksi bergantung pada konsentrasi kedua reaktan dan pada sistem CSTR, reaktan bercampur secara homogen, sehingga terjadi reaksi secara terus menerus yang berakibat meningkatnya konversi reaktan, [42]. Kenaikan suhu dapat mempercepat laju reaksi kimia karena terjadi peningkatan energi kinetik partikel untuk meningkatkan tumbukan yang efektif. Selain itu terjadi penurunan energi aktivasi relative, sehingga lebih banyak molekul yang mencapai keadaan transisi. Hal ini sesuai dengan persamaan Arrhenius yang menyatakan bahwa laju reaksi meningkat secara eksponensial dengan kenaikan temperatur sebagai berikut [44-46].

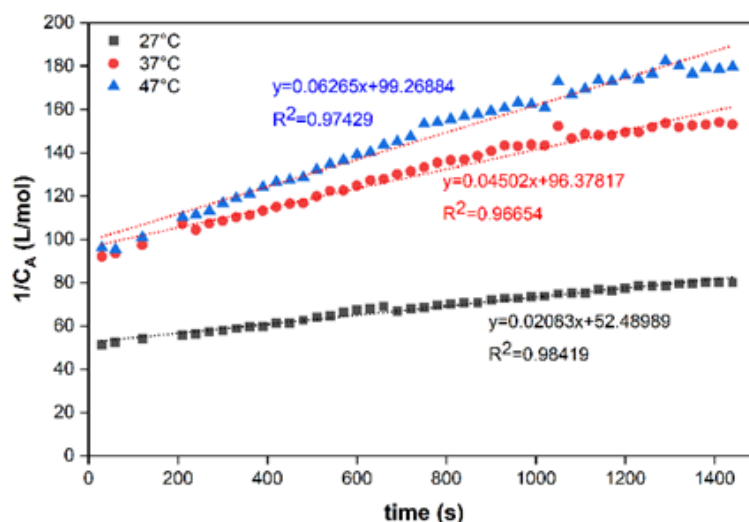
$$k = A \times e^{-\frac{E_a}{RT}} \quad (8)$$

Dimana:

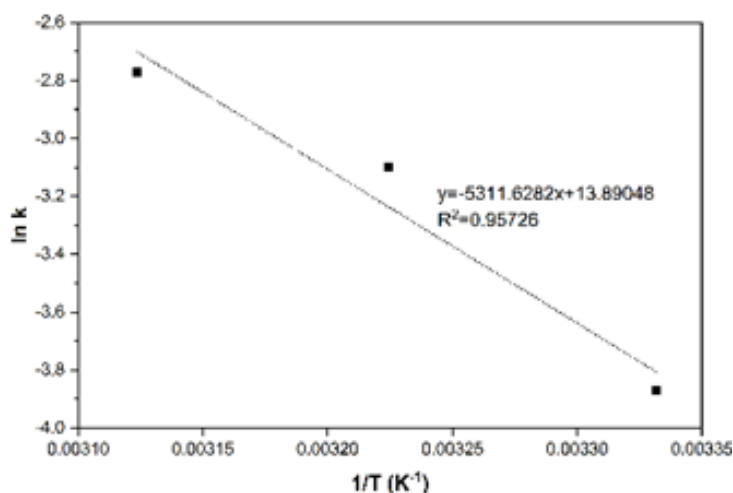
- k : konstanta kinetika
- A : faktor pre-eksponensial
- E_a : Energi aktivasi reaksi kimia (kJ/mol)
- R : konstanta gas universal (0,008314 kJ/mol)
- T : temperatur (°C)

Kinetika reaksi yang lebih cepat dapat mempercepat laju perubahan reaktan menjadi produk, sehingga konversi NaOH naik lebih tinggi pada suhu yang lebih tinggi, yakni pada suhu 37°C, dan 47°C [42].

Gambar 3 menunjukkan kurva hubungan antara $\frac{1}{C_A}$ terhadap waktu pada variasi temperatur 27°C, 37°C, dan 47°C. Dapat dilihat bahwa Gambar 3 merupakan hasil linearitas dan integrasi persamaan laju reaksi orde dua. Kurva menunjukkan garis lurus dengan nilai koefisien determinasi (R^2) mendekati 1. Nilai kemiringan garis merupakan nilai konstanta laju reaksi (k) yakni 0,02083 M⁻¹menit⁻¹ pada 27°C; 0,04502 M⁻¹menit⁻¹ pada 37°C; dan 0,06265 M⁻¹menit⁻¹ pada 47°C. Dapat diketahui pula bahwa nilai konstanta laju reaksi mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan temperatur reaksi. Hal ini dikarenakan adanya kenaikan temperatur menyebabkan peningkatan energi kinetik partikel, sehingga lebih banyak molekul yang memiliki energi cukup untuk melewati energi aktivasi (E_a) seperti pada persamaan Arrhenius [23,42]. Selain itu, pada suhu yang lebih tinggi, molekul NaOH dan Etil Asetat bergerak lebih cepat, sehingga frekuensi dan energi tumbukan meningkat sehingga laju reaksinya menjadi besar [43].



Gambar 3. Kurva hubungan antara $\frac{1}{C_A}$ terhadap waktu pada berbagai temperatur reaksi



Gambar 4. Plotting $\ln k$ dan $\frac{1}{T}$ pada berbagai temperatur reaksi

Gambar 4 menunjukkan hasil *plotting* antara nilai $\ln k$ dan $\frac{1}{T}$ pada berbagai temperatur reaksi dimana nilai R^2 mendekati 1. Berdasarkan persamaan yang digunakan pada Gambar 4, didapatkan nilai energi aktivasi reaksi (E_a) saponifikasi NaOH dan Etil Asetat sebesar 44,16 kJ/mol. Nilai energi aktivasi ini sesuai dengan beberapa penelitian terdahulu, yakni 41,40 kJ/mol dan 48,00 kJ/mol. Berdasarkan hasil percobaan, reaksi saponifikasi Etil Asetat dan NaOH termasuk reaksi orde dua, dimana laju reaksi sebanding dengan kuadrat konsentrasi reaktan atau produk [23,43,48].

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil mengkaji karakteristik kinetika kimia pada reaksi saponifikasi NaOH dan Etil Asetat menggunakan *Continuous Stirred Tank Reactor* (CSTR). Reaksi saponifikasi NaOH dan Etil Asetat mengikuti kinetika reaksi orde 2. Ketetapan laju reaksi saponifikasi Etil Asetat pada variasi temperatur diperoleh nilai berturut-turut sebesar $0,02083 \text{ M}^{-1}\text{menit}^{-1}$ pada 27°C ; $0,04502 \text{ M}^{-1}\text{menit}^{-1}$ pada 37°C ; dan $0,06265 \text{ M}^{-1}\text{menit}^{-1}$ pada

47°C. Dapat disimpulkan bahwa nilai E_a (Energi Aktivasi) reaksi saponifikasi Etil Asetat dan NaOH sebesar 44,16 kJ/mol mendekati literatur dari penelitian sebelumnya. Konversi reaktan NaOH meningkat seiring waktu pada temperatur reaksi yang lebih tinggi, menunjukkan efektivitas CSTR dalam meningkatkan efisiensi homogen cair-cair.

Untuk penelitian selanjutnya, hal yang dapat disarankan untuk mengkaji kinetika reaksi pada konsentrasi awal reaktan yang berbeda, guna memahami pengaruh perbandingan molar terhadap laju reaksi dan konversi. Diperlukan penelitian lanjutan dapat dilakukan untuk mengevaluasi efisiensi energi proses serta hubungan antara kinetika reaksi dan parameter termodinamika. Penggunaan *software* simulasi seperti Aspen Plus atau MATLAB Simulink direkomendasikan untuk melakukan pemodelan dan prediksi performa reaktor dengan lebih akurat dan efisien sebelum aplikasi skala besar.

REFERENSI

- [1] A. Z. M. Sofi, "Enhancing Soap Formulation from Waste Oil: An Analysis of Properties and User Satisfaction Using Taguchi Method," *BIO Web Conf.*, vol. 131, hal. 05013, 2024.
- [2] N. Ghasem dan R. Henda, *Principles of Chemical Engineering Processes: Material and Energy Balances*, 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2014.
- [3] N. Pardhi, A. Bisen, dan S. Pardhi, "Review on Formulation and Evaluation of Herbal Soap," *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences*, vol. 21, no. 2, hal. 572–581, 2025.
- [4] A. A. Meizalin dan V. Paramita, "Quality Analysis of Liquid Soap Formulation Made from Virgin Coconut Oil with Addition of White Tea Extract," *Journal of Vocational Studies on Applied Research*, vol. 3, no. 2, hal. 47–51, 2021.
- [5] S. Stubbs, S. Yousaf, dan I. Khan, "A Review on the Synthesis of Bio-Based Surfactants Using Green Chemistry Principles," *DARU Journal of Pharmaceutical Sciences*, vol. 30, no. 2, hal. 407–426, 2022.
- [6] R. C. Rowe, P. J. Sheskey, dan M. E. Quinn, *Handbook of Pharmaceutical Excipients*. London: Pharmaceutical Press, 2016.
- [7] R. Hasibuan, R. R. Parsaulian, F. Adventi, R. Manurung, dan J. Hidayati, "Effect of Impeller Types on Saponification Reaction Using Stirred Tank Reactor," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1542, no. 1, hal. 012017, 2020.
- [8] Passport, *Global Soap and Detergent Market*. Euromonitor International, 2020.
- [9] Research and Markets, "Soap Market—Forecasts from 2020 to 2025," *Knowledge Sourcing Intelligence LLP*, 2020.
- [10] P. Flowers, K. Theopold, R. Langley, dan W. R. Robinson, *Chemistry 2e*. Houston, TX: OpenStax, 2019.
- [11] N. Alum, "Saponification Process and Soap Chemistry," *INOSR Applied Sciences*, vol. 12, no. 2, hal. 51–56, 2024.
- [12] J. A. Kent, "Soap, Fatty Acids, and Synthetic Detergents," dalam *Riegel's Handbook of Industrial Chemistry*, J. A. Kent, Ed. Boston, MA: Springer, hal. 1098–1140, 2003.
- [13] A. Osei-Wusu dan E. Danso-Boateng, "Soaps and Detergents," dalam *Chemical and Process Industries: With Examples of Industries in Ghana*. Cham: Springer International Publishing, hal. 1–37, 2021.

- [14] N. Prieto Vidal, A. A. L. dkk., "The Effects of Cold Saponification on the Unsaponified Fatty Acid Composition and Sensory Perception of Commercial Natural Herbal Soaps," *Molecules*, vol. 23, no. 9, hal. 2356, 2018.
- [15] N. Hall, "Implications of Soap Structure for Formulation and User Properties," dalam *Soap Manufacturing Technology*, Elsevier, 2016.
- [16] M. Friedman dan R. Wolf, "Chemistry of Soaps and Detergents: Various Types of Commercial Products and Their Ingredients," *Clinical Dermatology*, vol. 14, no. 1, hal. 7–13, 1996.
- [17] L. Spitz dan A. Sevilla, "Soap, Soap/Synthetic, and Synthetic Laundry Bars," dalam *Soap Manufacturing Technology*, 2nd ed. Elsevier, hal. 203–219, 2016.
- [18] T. Moeller, J. C. Bailar, J. Kleinberg, C. O. Guss, M. E. Castellion, dan C. Metz, "Chemical Kinetics," *Chemistry*, hal. 420–443, 1980.
- [19] T. Salmi, K. Eränen, P. Tolvanen, J. P. Mikkola, dan V. Russo, "Determination of Kinetics and Equilibria of Heterogeneously Catalyzed Gas-Phase Reactions in Gradientless Autoclave Reactors by Using the Total Pressure Method: Methanol Synthesis," *Chemical Engineering Science*, vol. 215, hal. 115393, 2020.
- [20] C. T. Campbell dan Z. Mao, "Analysis and Prediction of Reaction Kinetics Using the Degree of Rate Control," *Journal of Catalysis*, vol. 404, hal. 647–660, 2021.
- [21] G. B. Marin, V. V. Galvita, dan G. S. Yablonsky, "Kinetics of Chemical Processes: From Molecular to Industrial Scale," *Journal of Catalysis*, vol. 404, hal. 745–759, 2021.
- [22] S. B. Far, S. A. Abdollahi, A. Alizadeh, A. Bostani, H. Zekri, P. Pasha, dan H. Nabi, "Optimizing the Amount of Concentration and Temperature of Substances Undergoing Chemical Reaction Using Response Surface Methodology," *International Journal of Thermofluids*, vol. 17, hal. 100270, 2023.
- [23] O. Levenspiel, *Chemical Reaction Engineering*, 3rd ed. New York: John Wiley & Sons, 1999.
- [24] H. S. Fogler, *Elements of Chemical Reaction Engineering*. Pearson Education, 2016.
- [25] P. W. Atkins dan J. de Paula, *Physical Chemistry*, 9th ed. Oxford: Oxford University Press, 2010.
- [26] N. K. Nasar, A. O. Alznati, dan A. Arzoga, "The Effect of Reactants' Initial Temperatures on the Rate Constant and Conversion of Saponification Reaction Taking Place in a Non-Isothermal and Non-Adiabatic Batch Reactor," *Scientific Journal of Applied Sciences of Sabratha University*, vol. 3, no. 2, hal. 25–33, 2020.
- [27] T. Sokač Cvetnić, dkk., "A Systematic Review of Enzymatic Kinetics in Microreactors," *Catalysts*, vol. 13, no. 4, hal. 708, 2023.
- [28] F. Nestler, V. P. Müller, M. Ouda, M. J. Hadrich, A. Schaadt, S. Bajohr, dan T. Kolb, "A Novel Approach for Kinetic Measurements in Exothermic Fixed Bed Reactors: Advancements in Non-Isothermal Bed Conditions Demonstrated for Methanol Synthesis," *Reaction Chemistry & Engineering*, vol. 6, no. 6, hal. 1092–1107, 2021.
- [29] N. H. Mohamad Azehar dan S. A. Ali, "Sensitivity Analysis of Reaction Kinetics in Saponification of Ethyl Acetate and Sodium Hydroxide in Continuous Stirred Tank Reactor (CSTR)," *Malaysian Journal of Chemical Engineering and Technology*, vol. 8, no. 2, hal. 52–65, 2025.

- [30] D. Rajavathsavai, A. Khapre, dan B. Munshi, "Study of Mixing Behavior of CSTR Using CFD," *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, vol. 31, no. 1, hal. 119–129, 2014.
- [31] L. Suo, J. Ren, Z. Zhao, dan C. Zhai, "Study on the Nonlinear Dynamics of the Continuous Stirred Tank Reactors," *Processes*, vol. 8, no. 11, hal. 1436, 2020.
- [32] W. Zhou, J. Yi, L. Yao, dan G. Chen, "Event-Triggered Optimal Control for the Continuous Stirred Tank Reactor System," *IEEE Transactions on Artificial Intelligence*, vol. 3, no. 2, hal. 228–237, 2022.
- [33] Y. Zhu, J. Hou, F. Meng, M. Xu, dkk., "Comparative Enrichment of Complete Ammonium Oxidation Bacteria in Floccular Sludge Reactors: Sequencing Batch Reactor vs. Continuous Stirred Tank Reactor," *Water Research X*, vol. 27, hal. 100305, 2025..
- [34] M. M. Alam, M. Danish, dan M. K. Al Mesfer, "Optimization of Performance Model of Ethyl Acetate Saponification Using Multiple Regression Analysis," *Russian Journal of Applied Chemistry*, vol. 91, no. 11, hal. 1895–1904, 2018.
- [35] M. Danish, M. K. Al Mesfer, dan M. M. Rashid, "Effect of Operating Conditions on CSTR Performance: An Experimental Study," *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 5, no. 2, hal. 74–78, 2015.
- [36] R. He, Y. Zou, Y. Dong, Y. Muhammad, S. Subhan, dan Z. Tong, "Kinetic Study and Process Simulation of Esterification of Acetic Acid and Ethanol Catalyzed by [HSO₃-bmim][HSO₄]," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 137, hal. 235–245, 2018.
- [37] N. Cherkasov, S. J. Adams, E. G. A. Bainbridge, dan J. A. M. Thornton, "Continuous Stirred Tank Reactors in Fine Chemical Synthesis for Efficient Mixing, Solids-Handling, and Rapid Scale-Up," *Reaction Chemistry & Engineering*, vol. 8, no. 2, hal. 266–277, 2023.
- [38] W. Horsthemke dan L. Hannon, "Turbulent Mixing and Nonequilibrium Chemical Instabilities: The Effect of Reactant Streams in a CSTR," hal. 178–181, 1984.
- [39] A. Jaree dan C. Nuammaneerat, "A Kinetics Study in CSTR Using Simultaneous Temperature Scanning and Composition Modulation: The Alkaline Hydrolysis of Ethyl Acetate," *Canadian Journal of Chemical Engineering*, vol. 88, no. 6, hal. 1027–1033, 2010.
- [40] M. Danish dan M. K. Al Mesfer, "A Comparative Study of Saponification Reaction in a PFR and CSTR," *Research Journal of Chemical Sciences*, vol. 5, no. 11, hal. 13–17, 2015.
- [41] N. Bursali, S. Ertunç, dan B. Akay, "Process Improvement Approach to the Saponification Reaction by Using Statistical Experimental Design," *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, vol. 45, no. 11, hal. 980–989, 2006.
- [42] E. Borovinskaya, V. Khaydarov, N. Strehle, A. Musaev, dan W. Reschetilowski, "Experimental Studies of Ethyl Acetate Saponification Using Different Reactor Systems: The Effect of Volume Flow Rate on Reactor Performance and Pressure Drop," *Applied Sciences*, vol. 9, no. 3, hal. 532, 2019.
- [43] M. Ghobashy, M. Gadallah, T. T. El-Idreesy, M. A. Sadek, dan H. A. Elazab, "Kinetic Study of Hydrolysis of Ethyl Acetate Using Caustic Soda," *International Journal of Engineering & Technology*, vol. 7, no. 4, hal. 1995, 2018.
- [44] W. Zhang, Q. Zheng, X. Yu, Y. Shen, dan K. Li, "Numerical Calculation and 3-D Imaging of the Arrhenius Temperature Integral," *Separations*, vol. 10, no. 9, hal. 480, 2023.

- [45] A. Biagini, N. Refrigeri, C. Caglioti, P. Sabbatini, S. Ticconi, G. Ceccarelli, R. G. Iannitti, F. Palazzetti, dan B. Fioretti, "Accelerated Stability Testing in Food Supplements Underestimates Shelf Life Prediction of Resveratrol with Super-Arrhenius Behavior," *Symmetry*, vol. 16, no. 4, hal. 493, 2024.
- [46] J. Kohout, "Modified Arrhenius Equation in Materials Science, Chemistry and Biology," *Molecules*, vol. 26, no. 23, hal. 7162, 2021.
- [47] B. Song, Q. Wang, J. Ali, Z. Wang, L. Wang, J. Wang, J. Li, E. M. Glebov, dan X. Zhuang, "Biochar-Supported Fe₃C Nanoparticles with Enhanced Interfacial Contact as High-Performance Binder-Free Anode Material for Microbial Fuel Cells," *Chemical Engineering Journal*, vol. 474, hal. 145678, 2023.
- [48] M. A. Schneider dan F. Stoessel, "Determination of the Kinetic Parameters of Fast Exothermal Reactions Using a Novel Microreactor-Based Calorimeter," *Chemical Engineering Journal*, vol. 115, no. 1–2, hal. 73–83, 2005.