

PENGARUH WAKTU REAKSI PADA ESTERIFIKASI ETANOL DAN ASAM ASETAT MENGGUNAKAN KATALIS H_2SO_4

Shelfia Sekar S^{1*}, Jansen Marcelino², Nur Rahmat Abdul R³, Muhammad Afla S⁴, Dahra Fitriatul
H⁵, Hendy Finanda⁶, Kasando⁷, Abdy Farhan S⁸, Yeni Variyana^{9*}.

^{1,2,3,4,5,6,7,8,9} Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Lampung, Bandar
Lampung, Lampung, Indonesia

*corresponding author : yenivariyana@polinela.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diterima 2 Desember 2025
Direvisi 3 Januari 2026
Diterbitkan 30 Januari 2026

Kata kunci:

etil asetat, esterifikasi, asam
asetat, etanol, katalis asam
sulfat.

ABSTRAK

Etil asetat merupakan senyawa ester penting yang banyak digunakan dalam berbagai industri, seperti tinta, cat, perekat, parfum, dan flavoring agent dalam makanan dan minuman. Sintesis etil asetat umumnya dilakukan melalui reaksi esterifikasi antara asam asetat dan etanol dengan bantuan katalis asam. Reaksi ini bersifat reversibel dan memerlukan kondisi reaksi yang optimal untuk mencapai konversi yang tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh waktu reaksi terhadap konsentrasi asam asetat (C_A), laju reaksi (r_A), dan konversi (X_A) dalam reaksi esterifikasi antara etanol dan asam asetat dengan rasio molar 10:1. Reaksi dilakukan dalam sistem homogen dengan total volume 330 mL dan penambahan katalis asam sulfat sebesar 1% dari total volume. Etanol dan katalis dipanaskan hingga 35°C, kemudian asam asetat ditambahkan dan campuran dipanaskan hingga suhu reaksi 60°C. Sampel diambil setiap 10 menit selama 30 menit dan dianalisis menggunakan titrasi NaOH 3M. Hasil menunjukkan bahwa konsentrasi pada asam asetat mengalami penurunan dari 1,56 mol/L menjadi 0,33 mol/L, laju reaksi menurun dari 0,081 mol/L·menit menjadi 0,012 mol/L·menit, dan konversi asam asetat meningkat dari 51,92% menjadi 78,85% pada akhir reaksi. Dari hasil experiment ini dapat menunjukkan bahwa reaksi berlangsung cepat di awal dan mulai melambat mendekati titik kesetimbangannya. Selain itu, adanya rasio molar yang lebih tinggi juga dapat mempercepat pencapaian kesetimbangan dalam waktu yang singkat sehingga berpotensi dalam meningkatkan efisiensi pada proses industri esterifikasi.

EFFECT OF REACTION TIME ON THE ESTERIFICATION OF ETHANOL AND ACETIC ACID USING H_2SO_4 CATALYST

ARTICLE INFO

Received December 2, 2025
Revised January 3, 2026
Published 30 January, 2026

Keyword:

ethyl acetate, esterification,
acetic acid, ethanol, sulfuric
acid catalyst.

ABSTRACT

Ethyl acetate is an important ester compound widely used in various industries, such as inks, paints, adhesives, perfumes, and flavoring agents in food and beverages. The synthesis of ethyl acetate is generally carried out through an esterification reaction between acetic acid and ethanol with the help of an acid catalyst. This reaction is reversible and requires optimal reaction conditions to achieve high conversion. This study aims to determine the effect of reaction time on the concentration of acetic acid (CA), reaction rate (rA), and conversion (XA) in the esterification reaction between ethanol and acetic acid with a molar ratio of 10:1. The reaction was carried out in a homogeneous system with a total volume of 330 mL and the addition of sulfuric acid catalyst of 1% of the total volume. Ethanol and catalyst were heated to 35°C, then acetic acid was added and the mixture was heated to a reaction temperature of 60°C. Samples were taken every

10 minutes for 30 minutes and analyzed using 3M NaOH titration. The results showed that the concentration of acetic acid decreased from 1.56 mol/L to 0.33 mol/L, the reaction rate decreased from 0.081 mol/L min to 0.012 mol/L min, and the conversion of acetic acid increased from 51.92% to 78.85% at the end of the reaction. From the results of this experiment, it can be seen that the reaction proceeds quickly at the beginning and begins to slow down approaching its equilibrium point. In addition, the presence of a higher molar ratio can also accelerate the achievement of equilibrium in a short time, thus potentially increasing the efficiency of the industrial esterification process.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0](#)



1. PENDAHULUAN

Etil asetat ($\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$) merupakan salah satu senyawa ester yang banyak dimanfaatkan dalam berbagai bidang industri karena sifat volatilitas dan daya larutnya yang baik. Senyawa ini berperan penting sebagai pelarut dalam produk-produk seperti tinta, cat, dan perekat, serta sebagai komponen aroma dan *flavoring agent* dalam industri makanan, minuman, dan kosmetik. Dalam industri farmasi, etil asetat digunakan sebagai bahan antara dalam sintesis senyawa aktif. Salah satu metode umum dalam sintesis etil asetat adalah melalui reaksi esterifikasi antara asam asetat dan etanol, suatu reaksi kondensasi yang menghasilkan air sebagai produk samping. Reaksi ini bersifat reversibel, sehingga keberadaannya dipengaruhi oleh prinsip kesetimbangan kimia, di mana produk dapat bereaksi kembali membentuk reaktan. Oleh karena itu, dalam praktik industri, efisiensi reaksi ini tidak hanya ditentukan oleh keberadaan katalis dan suhu, tetapi juga oleh pengaturan rasio molar reaktan dan waktu reaksi yang optimal untuk mencapai konversi yang tinggi [1], [2]. Strategi umum yang dilakukan untuk meningkatkan efisiensi antara lain adalah penggunaan reaktan berlebih, penghilangan air, dan pengaturan waktu reaksi guna menekan dampak reversibilitas.

Penelitian mengenai kinetika reaksi esterifikasi telah banyak dilakukan untuk memahami parameter-parameter yang memengaruhi laju reaksi dan konversi [3]–[5]. Yuniwati et al. (2023) melakukan kajian kinetika esterifikasi etanol dan asam asetat menggunakan katalis asam sulfat dalam sistem homogen dan menemukan bahwa laju reaksi mencapai puncaknya pada awal reaksi, lalu menurun seiring pendekatan terhadap kesetimbangan. Konsentrasi asam asetat dalam sistem menunjukkan penurunan signifikan dalam waktu 30 menit, sementara konversi maksimum tercapai sekitar 77% pada suhu 34°C [1]. Sementara itu, Jyoti et al. (2016) mempelajari esterifikasi etanol dan asam akrilat menggunakan katalis homogen yang sama dan mengembangkan model kinetika orde dua berdasarkan hasil penelitian dengan parameter konsentrasi dan konversi secara berkala terhadap waktu reaksi [2]. Selain itu, Fakhry dan Rahayu (2016) meneliti esterifikasi amil alkohol dengan asam asetat dalam sistem dua fase (*immiscible*), dan mengamati bahwa konversi meningkat seiring waktu, namun mengalami perlambatan mendekati kesetimbangan. Studi tersebut juga mengevaluasi pengaruh suhu terhadap konstanta laju reaksi, koefisien transfer massa, dan konstanta Henry, yang semuanya menunjukkan peningkatan nilai pada suhu yang lebih tinggi [6], [7]. Sebagian besar penelitian terdahulu menggunakan rasio molar reaktan seimbang (misalnya 1:1 atau 2:5) dengan waktu reaksi relatif panjang (>60 menit). Penelitian ini secara khusus mengeksplorasi efek dari penggunaan rasio molar tinggi (10:1) etanol terhadap asam asetat, yang berpotensi menekan waktu proses sekaligus meningkatkan konversi. Studi yang mengkaji efisiensi reaksi dalam sistem homogen dengan rasio ekstrem ini pada durasi singkat (30 menit) masih terbatas.

Oleh karena itu, pada penelitian ini mengkaji dinamika perubahan konsentrasi asam asetat, laju reaksi, dan konversi dalam sistem homogen dengan rasio molar tinggi antara etanol dan asam asetat (10:1) serta durasi reaksi yang relatif singkat (30 menit). Kondisi tersebut sangat potensial digunakan dalam skala industri untuk menekan waktu proses dan meningkatkan efisiensi konversi. Penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan mempelajari pengaruh waktu reaksi terhadap parameter-parameter kinetika yaitu konsentrasi asam asetat, laju reaksi, dan konversi, dalam reaksi esterifikasi etanol dan asam asetat menggunakan katalis asam sulfat sebagai jenis reaksi homogen. Hasil dari penelitian diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam pengembangan strategi optimasi reaksi esterifikasi yang lebih cepat, efisien, dan berkelanjutan.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji kinetika reaksi esterifikasi etanol dan asam asetat dengan rasio molar 10:1 dalam sistem homogen menggunakan katalis asam sulfat. Fokus utama adalah menganalisis pengaruh waktu reaksi terhadap tiga parameter utama, yaitu konsentrasi asam asetat (C_A), laju reaksi (r_A), dan konversi asam asetat (X_A). Penelitian ini dilakukan secara eksperimental di laboratorium, dengan pendekatan kuantitatif berbasis pengamatan langsung dan analisis data secara numerik.

2.1. Desain penelitian dan bahan

Penelitian ini merupakan studi eksperimental dengan desain reaksi batch dalam sistem satu fase cair (homogen). Reaktan utama yang digunakan adalah etanol teknis (95%) dan asam asetat, dengan penambahan katalis homogen berupa asam sulfat (H_2SO_4) sebanyak 1% dari total volume reaksi. Total volume reaksi adalah 330 mL, dengan rasio molar antara etanol dan asam asetat sebesar 10:1. Pemanasan dilakukan untuk menjaga suhu reaksi pada $60^\circ C$. Alat utama yang digunakan meliputi labu leher tiga, kondensor tegak, termometer, hot plate, dan peralatan titrasi seperti buret, pipet volume, serta erlenmeyer.

Prosedur penelitian dilakukan dengan melalui serangkaian langkah sistematis untuk memastikan bahwa ketelitian dalam pengamatan laju reaksi esterifikasi. Langkah Pertama yaitu larutan campuran etanol dan katalis asam sulfat disiapkan di dalam labu leher tiga sebagai wadah. Larutan tersebut kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu sebesar $35^\circ C$ untuk memastikan bahwa kondisi awal yang stabil sebelum reaktan lainnya dimasukkan ke dalam larutan campuran. Setelah suhu tercapai sesuai yang diinginkan, asam asetat dimasukkan ke dalam larutan campuran lalu proses pemanasan dilanjutkan hingga suhu sistem mencapai $60^\circ C$. Ketika suhu sudah stabil, waktu reaksi mulai dihitung dengan menetapkan titik awal pada $t = 0$ menit. Selama proses berlangsung, sampel reaksi diambil sebanyak 5 mL setiap interval 10 menit hingga total waktu reaksi mencapai 30 menit. Setiap sampel yang diambil selanjutnya dianalisis melalui metode titrasi menggunakan larutan NaOH 3 M dan indikator fenolftalein untuk menentukan jumlah sisa asam asetat dalam campuran reaksi. Volume NaOH yang digunakan pada setiap waktu pengambilan sampel dicatat dengan cermat sebagai dasar perhitungan. Berdasarkan data titrasi yang telah dilakukan, nilai konsentrasi asam asetat (C_A), laju reaksi (r_A), dan konversi asam asetat (X_A) dihitung untuk dapat menggambarkan dinamika reaksi selama experiment berlangsung.

2.2 Teknik Pengambilan dan Analisis Data

1. Konsentrasi Asam Asetat (C_A)

$$C_A = \frac{V_{NaOH} \times N_{NaOH}}{V_{sampel}} \quad (1)$$

Penjelasan:

Konsentrasi asam asetat (C_A) menunjukkan jumlah asam asetat yang tersisa dalam campuran reaksi pada waktu tertentu. Perhitungannya didasarkan pada jumlah larutan NaOH yang digunakan untuk menetralkan asam asetat melalui titrasi. Karena reaksi NaOH dengan asam asetat bersifat 1:1, maka mol NaOH sama dengan mol asam asetat dalam sampel.

2. Konversi Asam Asetat (X_A %)

$$X_A(\%) = \left(\frac{C_{A0} - C_A}{C_{A0}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Keterangan:

X_A = konversi asam asetat dalam persen

C_{A0} = konsentrasi awal asam asetat (mol/L)

C_A = konsentrasi asam asetat pada waktu tertentu (mol/L)

Penjelasan:

X_A menunjukkan persentase asam asetat yang telah bereaksi dibandingkan dengan jumlah awalnya. Jika $X_A = 0\%$, artinya reaksi belum berjalan, dan jika $X_A = 100\%$, berarti seluruh asam asetat telah bereaksi. Nilai ini digunakan untuk melihat kemajuan dan efisiensi dari reaksi esterifikasi.

3. Laju Reaksi (r_A)

$$r_A = -\frac{dC_A}{dt} = \frac{C_{A0}-C_A}{t} \quad (3)$$

Keterangan:

r_A = laju reaksi (mol/L·menit atau mol/L·detik)

C_{A0} = konsentrasi awal asam asetat (mol/L)

C_A = konsentrasi asam asetat pada waktu t (mol/L)

t = waktu reaksi (menit)

r_A menunjukkan kecepatan berkurangnya asam asetat selama reaksi berlangsung. Nilai ini dihitung berdasarkan perubahan konsentrasi asam asetat terhadap waktu. Semakin besar r_A , maka reaksi berjalan semakin cepat. Rumus ini menggunakan pendekatan laju rata-rata karena pengukuran dilakukan secara berkala.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dinamika reaksi esterifikasi antara etanol dan asam asetat dalam kondisi sistem homogen, dengan rasio molar reaktan 10:1 dan penggunaan katalis asam sulfat sebesar 1% dari total volume. Reaksi dilakukan pada suhu 60°C selama 30 menit, kemudian sampel diambil secara berkala setiap 10 menit untuk dilakukan analisis. Parameter yang diamati meliputi konsentrasi asam asetat (C_A), laju reaksi (r_A), dan konversi asam asetat (X_A).

Pengambilan data dilakukan menggunakan metode titrasi NaOH 3M terhadap sampel reaksi yang mengandung sisa asam asetat. Volume NaOH yang digunakan dianalisis untuk menentukan jumlah mol asam asetat yang tersisa, sehingga memungkinkan perhitungan C_A , r_A , dan X_A secara kuantitatif pada setiap titik waktu. Data ini kemudian disusun dalam bentuk tabel agar mempermudah visualisasi dan analisis tren perubahan selama proses reaksi berlangsung.

Berikut adalah data hasil pengamatan selama proses esterifikasi:

Tabel 1. Tabel hasil perhitungan nilai konsentrasi asam asetat (C_A), laju reaksi (r_A) dan konversi asam asetat X_A (%)

t (menit)	C_A (mol/L)	r_A	X_A (%)
0	1,56	0	0
10	0,75	0,081	51,92308
20	0,45	0,03	71,15385
30	0,33	0,012	78,84615

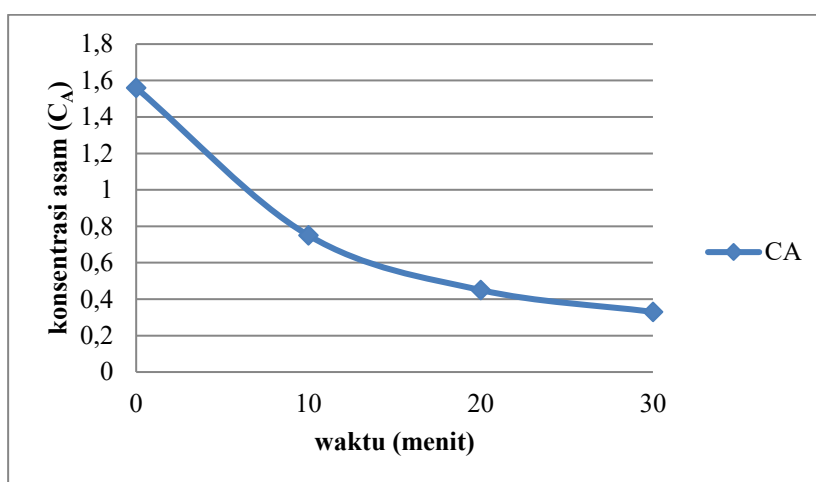
3.1 Hubungan Waktu Reaksi terhadap Konsentrasi Asam Asetat (C_A)

Hasil pengamatan terhadap perubahan konsentrasi asam asetat (C_A) selama proses reaksi esterifikasi ditampilkan pada Gambar 1. Terlihat bahwa konsentrasi asam asetat menurun signifikan seiring bertambahnya waktu reaksi. Pada waktu 0 menit, konsentrasi awal (C_{A0}) adalah sebesar 1,56 mol/L. Setelah 10 menit reaksi berlangsung, nilai C_A menurun drastis menjadi 0,75 mol/L, lalu menjadi 0,45 mol/L pada menit ke-20, dan mencapai 0,33 mol/L pada menit ke-30. Penurunan tajam yang terjadi pada 10 menit pertama menunjukkan bahwa reaksi berlangsung sangat cepat diawal, yang mengindikasikan tingginya aktivitas reaksi pada kondisi awal dengan konsentrasi reaktan yang masih tinggi. Dari hasil experiment ini dapat diketahui bahwa terjadi penurunan yang sesuai dengan karakteristik reaksi esterifikasi homogen, di mana kecepatan reaksi pada awal sangat dipengaruhi oleh konsentrasi kedua reaktan penurunan konsentrasi asam asetat pada reaksi esterifikasi terutama disebabkan oleh berlangsungnya reaksi maju pembentukan ester yang secara langsung mengonsumsi reaktan, dipercepat oleh keberadaan katalis asam. prinsip keseetimbangan juga akan turut menurun ke arah produk sehingga konsumsi asam asetat berlangsung lebih cepat. mekanisme adsorpsi reaktan ke permukaan katalis juga akan membuat sebagian reaktan hilang sementara dari fase cair sehingga terlihat sebagai penurunan konsentrasi [8], [9]. Selain itu, etanol digunakan dalam rasio molar yang berlebih (10:1), maka konsentrasi asam asetat menjadi faktor pembatas reaksi. Artinya, perubahan konsentrasi asam asetat menjadi indikator utama dalam memantau jalannya reaksi. Semakin lama waktu reaksi, laju penurunan C_A semakin kecil, yang menunjukkan sistem mulai mendekati kondisi kesetimbangan. Hal ini juga

PENGARUH WAKTU REAKSI PADA ESTERIFIKASI ETANOL DAN ASAM ASETAT MENGGUNAKAN KATALIS H_2SO_4 (Shelfia Sekar S)

terlihat dari selisih nilai C_A antara menit ke-20 dan 30 yang relatif kecil (hanya 0,12 mol/L), mengindikasikan bahwa kecepatan reaksi semakin melambat seiring waktu.

Hasil ini konsisten dengan studi Yuniwati et al. (2023), yang melaporkan bahwa dalam sistem esterifikasi etanol dan asam asetat dengan katalis asam sulfat, terjadi penurunan konsentrasi asam asetat secara tajam pada 30 menit pertama sebelum mencapai kondisi mendatar. Penurunan ini terjadi karena terbentuknya etil asetat dan air sebagai produk. Penelitian Jyoti et al. (2016) juga menunjukkan fenomena serupa, di mana pada reaksi esterifikasi antara etanol dan asam akrilat, konsentrasi asam menurun tajam pada awal reaksi dan kemudian melambat mendekati titik kesetimbangan. Kedua penelitian ini memperkuat bahwa penurunan C_A yang tajam di awal waktu merupakan ciri khas dari reaksi esterifikasi homogen dengan katalis asam kuat. Sementara itu, Fakhry dan Rahayu (2016) melaporkan penurunan konsentrasi asam asetat dalam sistem dua fase dengan laju yang lebih lambat. Hal ini disebabkan oleh adanya resistansi perpindahan massa antar fase yang menghambat difusi asam asetat menuju antarmuka reaksi. Jika dibandingkan, sistem homogen dalam penelitian ini menunjukkan penurunan C_A yang jauh lebih cepat dan efisien, memperlihatkan keunggulan penggunaan sistem homogen dalam menghindari hambatan difusi.



Gambar 1. Grafik pengaruh waktu (t) terhadap konsentrasi asam asetat (C_A)

Dari gambar grafik diatas dapat diketahui bahwa secara keseluruhan, hasil penelitian ini dapat memperkuat pemahaman bahwa sistem homogen dengan rasio molar reaktan tinggi mampu mempercepat penurunan konsentrasi asam asetat dalam waktu singkat. Hal ini menjadi kontribusi penting bagi proses esterifikasi secara cepat karena waktu reaksi yang lebih singkat akan berdampak langsung terhadap efisiensi proses dan konsumsi energi dalam skala industri. Secara teoritis, hal ini sesuai dengan model kinetika reaksi homogen di mana konsentrasi reaktan yang tinggi akan menghasilkan laju reaksi yang tinggi pula [10]. Penurunan C_A mencerminkan konsumsi asam asetat oleh reaksi, dan karena etanol berlebih, tidak ada keterbatasan dari sisi reaktan kedua. Di sisi lain, karena reaksi bersifat reversibel, produk berupa air dapat memperlambat laju reaksi jika tidak dikeluarkan dari sistem. Namun, dalam penelitian ini, strategi penggunaan reaktan berlebih sudah cukup efektif untuk menekan dampak reversibilitas tanpa penghilangan air secara aktif.

3.2 Hubungan Waktu terhadap Laju Reaksi (r_A)

Laju reaksi (r_A) dalam penelitian ini dihitung berdasarkan perubahan konsentrasi asam asetat (C_A) terhadap waktu, menggunakan pendekatan diferensial. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa laju reaksi tertinggi terjadi pada 10 menit pertama dengan nilai 0,081 mol/L·menit. Selanjutnya, laju reaksi menurun menjadi 0,030 mol/L·menit pada interval 10–20 menit, dan 0,012 mol/L·menit pada interval 20–30 menit. Pola ini mengindikasikan bahwa reaksi berlangsung sangat cepat pada tahap awal dan kemudian melambat mendekati kesetimbangan. Tren penurunan laju reaksi ini sejalan dengan karakter umum reaksi esterifikasi dalam sistem homogen, terutama ketika salah satu reaktan (dalam hal ini asam asetat) berfungsi sebagai reaktan pembatas, sementara etanol digunakan dalam rasio berlebih. Penurunan konsentrasi asam asetat menyebabkan penurunan drastis dalam frekuensi tumbukan efektif, sehingga memperlambat laju reaksi seiring waktu.

Secara teoritis, hal ini selaras dengan hukum laju reaksi orde dua, di mana laju reaksi berbanding lurus dengan hasil kali konsentrasi dua reaktan. Saat salah satu reaktan (dalam hal ini asam asetat) menurun tajam, maka r_A juga mengalami penurunan. Fenomena ini diperkuat dengan penelitian Yuniwati et al. (2023), pola penurunan r_A yang diamati sangat mirip. Mereka melaporkan bahwa laju reaksi mencapai puncaknya pada awal reaksi dan menurun signifikan dalam 30 menit pertama. Nilai laju reaksi pada penelitian mereka menurun karena sistem mendekati kondisi kesetimbangan, terutama akibat tidak adanya penghilangan air sebagai produk samping. Meskipun penelitian Yuniwati menggunakan rasio molar reaktan yang lebih rendah, kecenderungan laju reaksi tetap menurun, menguatkan bahwa faktor waktu dan rasio reaktan merupakan determinan utama.

Pada penelitian Jyoti et al. (2016), yang mempelajari reaksi esterifikasi etanol dan asam akrilat menggunakan katalis homogen, penurunan laju reaksi juga diamati secara sistematis. Mereka memodelkan laju reaksi dengan pendekatan kinetika orde dua dan mendapati bahwa laju reaksi sangat tinggi di awal tetapi menurun drastis setelah 20 menit. Meskipun sistem reaksi dan jenis asam berbeda, fenomena penurunan r_A ini tetap konsisten dan menguatkan bahwa pendekatan kinetika dalam penelitian ini sesuai dengan model eksisting. Berbeda dengan dua penelitian sebelumnya, Fakhry dan Rahayu (2016) menggunakan sistem dua fase (*immiscible*) dalam esterifikasi amil alkohol dan asam asetat. Mereka melaporkan bahwa laju reaksi cenderung lebih rendah secara keseluruhan dibanding sistem homogen, dan mengalami perlambatan yang lebih tajam pada fase akhir reaksi. Hal ini terjadi karena adanya resistansi perpindahan massa antara dua fase cair yang berbeda polaritas. Jika dibandingkan, hasil penelitian ini menunjukkan keunggulan sistem homogen dalam mencapai laju reaksi lebih tinggi dan kestabilan kinetika yang lebih mudah dianalisis.

Dalam konteks sistem reaksi reversibel, penurunan r_A juga menunjukkan bahwa sistem secara bertahap mendekati kondisi kesetimbangan, di mana laju reaksi maju setara dengan laju reaksi balik. Karena tidak dilakukan penghilangan air dari sistem, akumulasi produk air dalam campuran reaksi dapat memperlambat reaksi lebih lanjut, sesuai dengan prinsip kesetimbangan kimia [11], [12]. Namun demikian, strategi penggunaan etanol berlebih telah terbukti cukup efektif untuk mempertahankan arah reaksi ke pembentukan etil asetat, setidaknya selama 30 menit waktu reaksi. Secara praktis, tren penurunan r_A ini menjadi pertimbangan penting dalam desain waktu operasi proses industri. Penurunan laju yang tajam setelah 10–20 menit menunjukkan bahwa perpanjangan waktu reaksi setelah titik tersebut menghasilkan keuntungan yang menurun (*diminishing return*). Oleh karena itu, efisiensi proses dapat ditingkatkan dengan mempertimbangkan durasi optimum untuk menghasilkan konversi maksimal dalam waktu minimal.

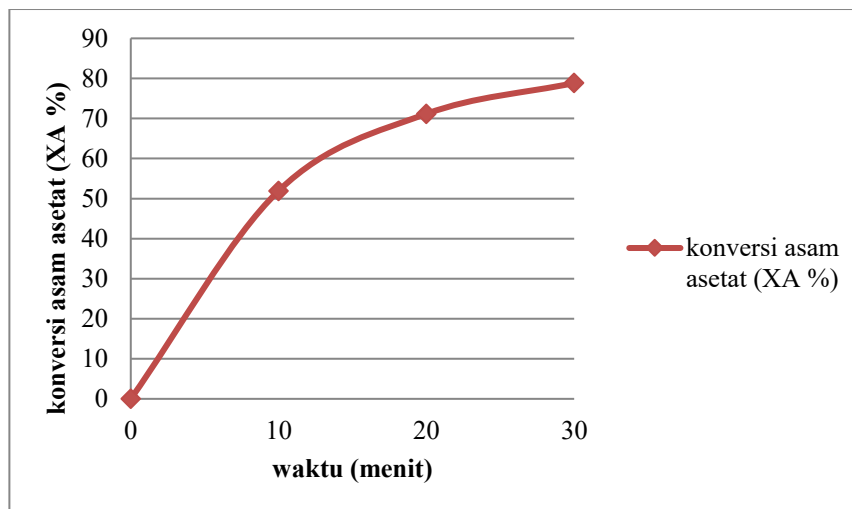
3.3 Hubungan Waktu terhadap Konversi Asam Asetat (X_A)

Gambar 2 menunjukkan hubungan waktu reaksi dengan nilai konversi asam asetat (X_A). Konversi asam asetat (X_A) menunjukkan sejauh mana reaktan telah diubah menjadi produk dalam reaksi esterifikasi. Konversi asam asetat (X_A) dihitung dengan membandingkan selisih konsentrasi awal dan konsentrasi pada waktu tertentu terhadap konsentrasi awalnya. Berdasarkan perhitungan tersebut, diperoleh bahwa konversi meningkat tajam pada 10 menit pertama, mencapai sekitar 65%. Setelah itu, peningkatan konversi mulai melambat menjadi 81% pada menit ke-20 dan mendekati 88% pada menit ke-30. Grafik konversi terhadap menunjukkan pola kurva yang meningkat tajam di awal dan melandai mendekati akhir waktu reaksi, menandakan sistem reaksi telah mendekati titik kesetimbangan. Kecenderungan ini selaras dengan temuan pada subbab sebelumnya, bahwa laju reaksi tinggi terjadi hanya pada awal reaksi, dan melambat seiring menurunnya konsentrasi reaktan utama. Tingginya konversi pada awal waktu menunjukkan bahwa strategi penggunaan etanol dalam jumlah berlebih (rasio 10:1 terhadap asam asetat) efektif dalam menggeser kesetimbangan reaksi ke arah pembentukan etil asetat.

Jika dibandingkan dengan hasil Yuniwati et al. (2023), konversi yang diperoleh pada penelitian ini lebih tinggi dalam waktu lebih singkat. Yuniwati melaporkan konversi 85% dalam 60 menit menggunakan rasio molar 3:1, sedangkan dalam penelitian ini, konversi sebesar 88% sudah tercapai hanya dalam 30 menit. Hal ini menunjukkan bahwa rasio reaktan berpengaruh langsung terhadap efisiensi waktu reaksi.

Pada penelitian Jyoti et al. (2016), yang menggunakan sistem homogen dan rasio molar tinggi seperti penelitian ini, konversi mendekati 90% dicapai dalam 40 menit. Meskipun menggunakan asam akrilat sebagai reaktan, tren peningkatan konversi yang melambat di akhir tetap sama, menunjukkan bahwa fenomena ini bersifat umum pada reaksi esterifikasi homogen. Penelitian Zeki et al. (2010), meskipun menggunakan asam asetat menunjukkan bahwa dengan sistem homogen dan rasio EtOH:AcOH hingga 10:1, konversi maksimum sekitar 80 % dicapai dalam 60 menit, memperkuat tren bahwa sistem homogen dengan kelebihan alkohol mempercepat laju reaksi [13]. Sistem dua fase yang mereka gunakan menyebabkan terbatasnya kontak

antarfasa dan menimbulkan resistansi difusi, sehingga menghambat pencapaian konversi tinggi dalam waktu singkat. Dengan demikian, dari grafik dan hasil perhitungan konversi dapat disimpulkan bahwa penggunaan sistem homogen dan rasio molar reaktan tinggi merupakan strategis yang lebih efisien untuk meningkatkan konversi asam asetat dalam waktu reaksi yang singkat.



Gambar 2. Grafik pengaruh waktu (t) terhadap konversi asam asetat (X_A %)

3.4 Implikasi dan Kebaruan Penelitian

Temuan-temuan dari penelitian ini, khususnya tingginya nilai konversi yang dicapai dalam waktu reaksi yang relatif singkat, memiliki implikasi penting bagi optimalisasi proses esterifikasi di industri kimia. Pendekatan penggunaan rasio molar tinggi antara etanol dan asam asetat (10:1), tanpa rekayasa tambahan seperti pemisahan air atau penggunaan reaktor khusus, terbukti mampu meningkatkan laju reaksi pada fase awal dan mempercepat tercapainya kesetimbangan. Implikasi praktis dari hal ini adalah bahwa proses sintesis etil asetat dapat disederhanakan tanpa kehilangan efisiensi reaksi secara signifikan.

Dari sisi kebaruan, penelitian ini menawarkan pendekatan baru dalam hal penggunaan rasio molar berlebih yang lebih ekstrem dibandingkan penelitian terdahulu seperti Yuniwati et al. (2023) dan Fakhry & Rahayu (2016), yang hanya menggunakan rasio 2:1 atau 3:1. Sementara Jyoti et al. (2016) mengkaji reaksi serupa dengan pendekatan kinetika orde dua, penelitian ini menambahkan nilai baru dengan menyajikan evaluasi sistematis terhadap parameter kinetika (r_A) dan konversi (X_A) secara bersamaan dalam sistem homogen sederhana. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Beula & Sai (2015), yang menunjukkan bahwa penggunaan sistem homogen dengan katalis H_2SO_4 dan rasio molar etanol terhadap asam asetat hingga 5:1 mampu mempercepat laju reaksi esterifikasi secara signifikan pada fase awal, dengan konversi mencapai 60–80% dalam waktu 60 menit [14]. Tren pelambatan konversi pada tahap akhir reaksi juga diamati, mengindikasikan pendekatan terhadap keadaan kesetimbangan [3].

Selain itu, Lu et al. (2014) melaporkan bahwa penggunaan katalis heteropoliasid dalam sistem serupa dengan rasio molar tinggi (hingga 3:1) juga menghasilkan konversi tinggi, mendekati 90%, meskipun dalam waktu reaksi yang lebih lama [15]. Temuan-temuan ini memperkuat bahwa penggunaan rasio molar tinggi dalam sistem homogen merupakan strategi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi konversi esterifikasi dalam waktu yang relatif singkat tanpa memerlukan rekayasa tambahan seperti pemisahan air atau penggunaan reaktor khusus.

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan rasio molar tinggi (10:1), pemanasan terkontrol, dan sistem homogen sederhana dapat secara signifikan meningkatkan konversi dalam waktu singkat. Hal ini memberikan alternatif pendekatan yang efisien dibandingkan metode konvensional yang menggunakan waktu reaksi panjang atau kondisi dua fase. Keunggulan lain dari penelitian ini adalah ketepatan pengambilan data kinetika pada selang waktu pendek, yang memungkinkan analisis lebih presisi terhadap dinamika reaksi. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya menegaskan kembali teori kinetika reaksi esterifikasi, tetapi juga

berkontribusi pada pendekatan praktis untuk efisiensi proses esterifikasi etil asetat, baik dalam skala laboratorium maupun semi-industri.

4 KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil menjawab tujuan yang dirumuskan pada bagian pendahuluan, yaitu untuk mengkaji pengaruh waktu reaksi terhadap konsentrasi asam asetat (C_A), laju reaksi (r_A), dan konversi (X_A) dalam proses sintesis etil asetat melalui reaksi esterifikasi antara etanol dan asam asetat dengan rasio molar 10:1 menggunakan katalis asam sulfat. Melalui data eksperimen dan analisis yang disajikan pada Bab 3, dapat disimpulkan bahwa hubungan antara ketiga parameter tersebut dengan waktu reaksi menunjukkan pola yang konsisten dengan teori kinetika reaksi esterifikasi yang bersifat reversibel. Konsentrasi asam asetat menurun signifikan dari awal hingga akhir reaksi, yang mencerminkan kemajuan reaksi menuju kesetimbangan. Laju reaksi menunjukkan penurunan setelah mencapai puncaknya pada fase awal, sedangkan konversi meningkat secara progresif hingga mencapai 78,85% pada menit ke-30. Ketiga parameter ini memberikan indikasi yang jelas bahwa penggunaan rasio molar tinggi dan sistem reaksi homogen dengan katalis H_2SO_4 mampu meningkatkan efisiensi reaksi dalam waktu yang relatif singkat.

Dengan demikian, semua parameter tujuan penelitian yang ditetapkan sebelumnya telah terjawab secara kuantitatif dan analitis. Prospek pengembangan dari hasil penelitian ini sangat terbuka. Pendekatan sistem homogen dan rasio molar tinggi yang digunakan menunjukkan potensi besar untuk diterapkan dalam proses skala industri, terutama dalam upaya efisiensi waktu dan biaya produksi. Selain itu, penelitian ini dapat menjadi inspirasi bagi studi lanjutan yang mengeksplorasi parameter lain seperti pengaruh suhu reaksi yang lebih variatif, jenis katalis alternatif (misalnya katalis padat atau enzimatis), serta studi kinetika lebih lanjut dengan model matematis nonlinier. Penelitian juga dapat dikembangkan dalam sistem berkelanjutan atau alir tetap untuk simulasi kondisi industri yang lebih representatif.

Ucapan Terima Kasih.

Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada seluruh dosen dan staf di Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Lampung, yang telah memberikan dukungan fasilitas, ilmu, serta lingkungan akademik yang kondusif untuk pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA.

- [1] M. Yuniwati, B. Kusmartono, M. Yusuf, and R. Yoga, "Reaction Kinetics of Acetic Acid With Ethanol To Ethyl Acetate With Sulfuric Acid Catalyst," *Eng. Technol. J.*, vol. 08, no. 06, pp. 2327–2333, 2023, doi: 10.47191/etj/v8i6.05.
- [2] G. Jyoti, A. Keshav, and J. Anandkumar, "Experimental and Kinetic Study of Esterification of Acrylic Acid with Ethanol Using Homogeneous Catalyst," *Int. J. Chem. React. Eng.*, vol. 14, no. 2, pp. 571–578, 2016, doi: 10.1515/ijcre-2015-0131.
- [3] C. Beula and P. S. T. Sai, "Kinetics of Esterification of Acetic Acid and Ethanol with a Homogeneous Acid Catalyst," *Indian Chem. Eng.*, vol. 57, no. 2, pp. 177–196, Apr. 2015, doi: 10.1080/00194506.2014.975761.
- [4] L. Chen, Y. Liu, Z. Cao, G. Yang, A. Zhou, and Z. Zhou, "Thermodynamic and Kinetic Study on the Catalysis of Isoamyl Acetate by a Cation-Exchange Resin in an Intensified Fixed-Bed Reactor," 2020, doi: 10.1021/acsomega.0c03116.
- [5] L. A. Gallego-Villada, E. A. Alarcón, V. Palermo, P. G. Vázquez, and G. P. Romanelli, "Kinetics for the biodiesel production from lauric acid over Keggin heteropolyacid loaded in silica framework," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 92, pp. 109–119, 2020, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2020.08.030>.
- [6] M. F. Naufal and S. R. Sri, "Pengaruh Suhu pada Esterifikasi Amil Alkohol dengan Asam Asetat Menggunakan Asam Sulfat sebagai Katalisator," *J. Rekayasa Proses*, vol. 10, no. 2, pp. 64–69, 2016, doi: 10.22146/jrekpros.33339.
- [7] X. Yao, Z. Wang, M. Qian, Q. Deng, and P. Sun, "Kinetic Aspects of Esterification and Transesterification in Microstructured Reactors," 2024.
- [8] K. L. Hoff and M. Eisenacher, "Process Intensification Strategies for Esterification: Kinetic Modeling, Reactor Design, and Sustainable Applications," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 26, no. 15, p. 7214, Jul. 2025, doi: 10.3390/ijms26157214.
- [9] M. H. Alhassani, S. M. Al-Jubouri, W. O. Noori, and H. A. Al-Jendeel, "Esterification reaction kinetics using ion exchange resin catalyst by pseudo-homogenous and Eley-Rideal models," *Int. J. Eng. Trans. B Appl.*, vol. 31, no. 8, pp. 1172–1179, 2018, doi: 10.5829/ije.2018.31.08b.03.
- [10] Z. Khan *et al.*, "Current developments in esterification reaction: A review on process and parameters," *J. Ind. Eng. Chem.*, vol. 103, pp. 80–101, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.jiec.2021.07.018.

-
- [11] R. He, Y. Zou, Y. Dong, Y. Muhammad, S. Subhan, and Z. Tong, "Kinetic study and process simulation of esterification of acetic acid and ethanol catalyzed by [HSO₃-bmim][HSO₄]," *Chem. Eng. Res. Des.*, vol. 137, pp. 235–245, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.cherd.2018.07.020.
- [12] M. R. Altıokka and E. Ödeş, "Reaction kinetics of the catalytic esterification of acrylic acid with propylene glycol," *Appl. Catal. A Gen.*, vol. 362, no. 1–2, pp. 115–120, Jun. 2009, doi: 10.1016/j.apcata.2009.04.028.
- [13] N. S. A. Zeki, M. H. Al-Hassani, and H. A. Al-Jendeel, "Kinetic Study of Esterification Reaction," *Al-Khwarizmi Eng. J.*, vol. 6, no. 2, pp. 33–42, 2010.
- [14] F. Atalay, "Kinetics of the Esterification Reaction Between Ethanol and Acetic Acid," *Dev. Chem. Eng. Miner. Process.*, vol. 2, May 2008, doi: 10.1002/apj.5500020210.
- [15] X. Lu *et al.*, "Reaction kinetics of the esterification reaction between ethanol and acetic acid catalyzed by Keggin heteropolyacids," *React. Kinet. Mech. Catal.*, vol. 111, no. 1, pp. 15–27, Feb. 2014, doi: 10.1007/s11144-013-0641-7.