

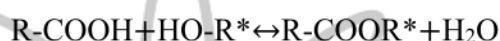
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ilmu pengetahuan dan teknologi terus mengalami perkembangan terutama dalam sektor Perindustrian. Di Indonesia, industri –industri pada berbagai sektor terus berinovasi dan mengembangkan diri, salah satunya pada sektor industri kimia, baik dalam hal bahan baku maupun bahan penunjang lainnya. Industri kimia memiliki keberagaman bahan baku dan bahan penunjang, di antaranya adalah etil asetat, senyawa ester yang merupakan salah satu jenis pelarut yang banyak digunakan di berbagai industri. Etil asetat memiliki rumus molekul $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$.

Etil asetat dihasilkan melalui reaksi esterifikasi, reaksi pembentukan ester dengan reaktan asam karboksilat dan alkohol. Produk dari reaksi esterifikasi merupakan ester dan air. Persamaan umum reaksi ini dapat ditentukan sebagai berikut:



Reaksi esterifikasi merupakan reaksi yang reversibel, eksotermis, dan berjalan sangat lambat tetapi bila menggunakan katalis asam mineral seperti asam sulfat (H_2SO_4) atau asam klorida (HCl) kesetimbangan akan tercapai dalam waktu yang cepat (Jyoti & Soni, 2023). Maka, perlu dipelajari faktor-faktor yang mempengaruhi serta melakukan berbagai percobaan guna mengetahui berbagai variabel proses yang berpengaruh terhadap proses esterifikasi.

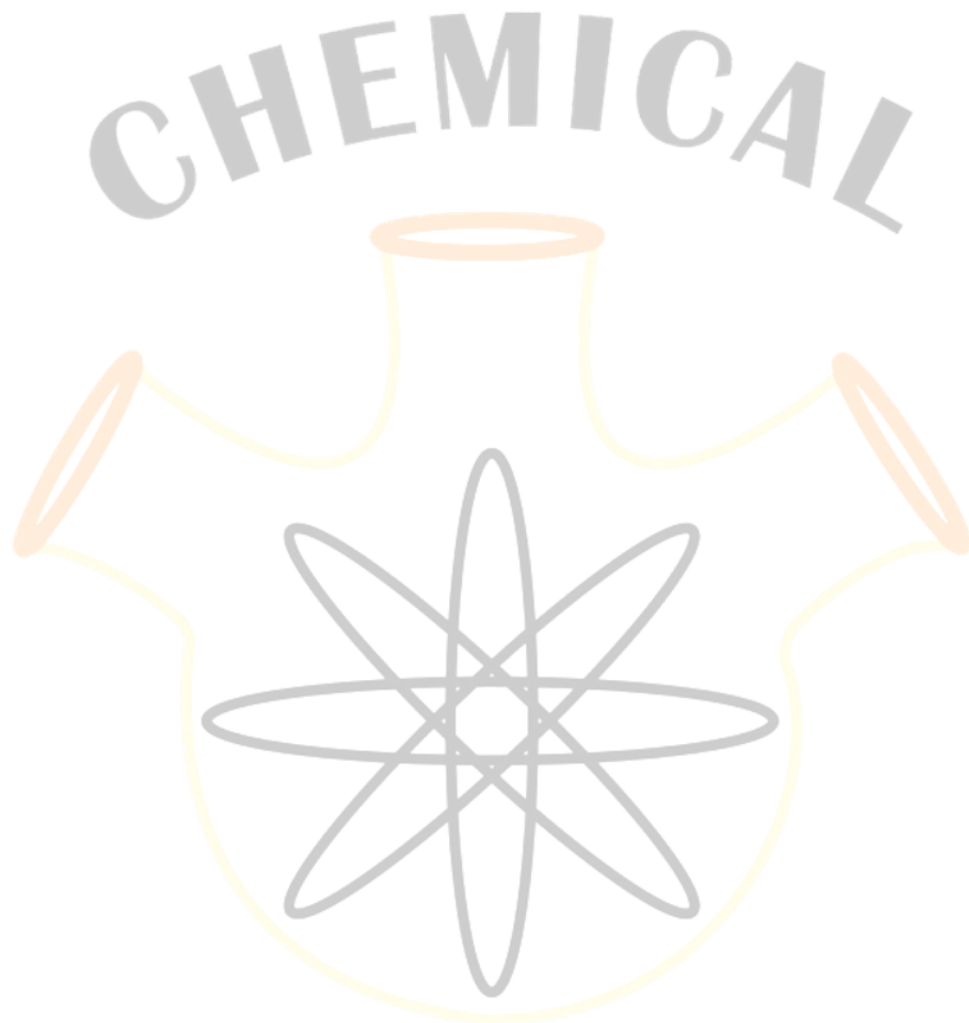
1.2 Tujuan Praktikum

1. Mempelajari pengaruh waktu reaksi terhadap konversi reaksi esterifikasi.
2. Mempelajari pengaruh variabel terhadap konversi pada proses esterifikasi.
3. Mempelajari pengaruh variabel terhadap konstanta laju reaksi (k) pada proses esterifikasi.
4. Mempelajari pengaruh variabel terhadap arah kesetimbangan (K) pada proses esterifikasi.

1.3 Manfaat Praktikum

1. Mahasiswa dapat memahami tentang bagaimana pengaruh waktu reaksi terhadap konversi pada proses esterifikasi.
2. Mahasiswa dapat mengetahui pengaruh variabel terhadap konversi ester yang terbentuk.

3. Mahasiswa dapat mengetahui cara mengamati pengaruh variabel terhadap konstanta laju reaksi (k) dan arah kesetimbangan (K).
4. Mahasiswa dapat melakukan kajian numerik berdasarkan percobaan yang dilakukan.



Process

Laboratory

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Ester

Ester merupakan salah satu senyawa hasil reaksi kondensasi antara asam karboksilat dengan alkohol. Senyawa ini banyak ditemukan dalam industri kimia. Sebagai contoh, senyawa *adipate esters* banyak dipakai sebagai *plasticizers* dan pelarut organik karena memiliki stabilitas termal tinggi dan volatilitas serta toksisitas yang rendah (Liu & Tan, 2025).

Pada reaksi esterifikasi, digunakan katalis untuk mempercepat reaksi. Jenis katalis yang dapat digunakan dalam sintesis ester dapat berupa katalis homogen dan heterogen. Berikut perbedaan dan contoh dari kedua jenis katalis tersebut menurut Leite *et al.* (2025):

1. Katalis homogen

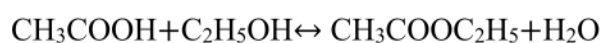
Contoh katalis homogen yang paling banyak digunakan dalam sintesis ester adalah asam klorat, sulfat, fosfat, dan p-toluena sulfonat. Keunggulan dari penggunaan katalis homogen adalah biayanya yang rendah dan memiliki konversi yang tinggi. Namun, penggunaan katalis homogen memiliki beberapa kelemahan, antara lain tidak dapat digunakan kembali, dapat meningkatkan korosi peralatan yang digunakan, dan membutuhkan lebih banyak tahap pemurnian.

2. Katalis heterogen

Beberapa contoh katalis heterogen yang dapat digunakan dalam sintesis ester adalah zeolit dan silika. Penggunaan dari katalis heterogen dalam sintesis ester memiliki beberapa keunggulan dan kelemahan. Keunggulan dari penggunaan katalis heterogen adalah mudah dipisahkan dari media reaksi dan dapat di daur ulang. Sedangkan kelemahan dari penggunaan katalis heterogen adalah aktivitas katalitik dari katalis heterogen lebih rendah dibandingkan dengan katalis homogen.

2.2 Kinetika Reaksi

Esterifikasi atau reaksi pembentukan ester merupakan reaksi antara asam karboksilat dan alkohol yang menghasilkan senyawa ester dan air. Contohnya reaksi antara asam asetat dengan etanol. Reaksi esterifikasi antara lain sebagai berikut:



A

B

C

D

Persamaan kecepatan reaksi kimia:

$$-r_A = \frac{dCA}{dt} = k_1[A][B] - k_2[C][D]$$

Keterangan:

- $-r_A$ = kecepatan reaksi pembentukan ester
- $[A]$ = konsentrasi asam asetat [CH_3COOH]
- $[B]$ = konsentrasi etanol [$\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$]
- $[C]$ = konsentrasi etil asetat [$\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$]
- $[D]$ = konsentrasi air [H_2O]
- k_1 = konstanta kecepatan reaksi ke kanan (arah produk)
- k_2 = konstanta kecepatan reaksi ke kiri (arah reaktan)
- t = waktu reaksi

Apabila ditinjau dari kinetika reaksi, laju pembentukan ester akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu, adanya pengadukan, dan penggunaan katalis. Hal ini dapat dijelaskan oleh persamaan Arrhenius sebagai berikut:

$$k = Ae^{-E_A/RT}$$

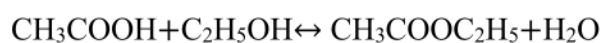
Dengan:

- k = konstanta laju reaksi (L/mol.waktu)
- A = faktor frekuensi tumbukan
- E_A = energi aktivasi (J/mol)
- R = konstanta gas universal (8,314 J/mol.K)
- T = temperatur atau suhu (K)

Berdasarkan persamaan Arrhenius, dapat dilihat bahwa konstanta laju reaksi dipengaruhi oleh nilai A , E_A , dan T di mana semakin besar factor tumbukan (A) maka konstanta laju reaksi (k) semakin besar pula. Nilai energi aktivasi (E_A) dipengaruhi oleh penggunaan katalis di mana dengan adanya katalis akan menurunkan energi aktivasi (E_A) sehingga nilai konstanta laju reaksi (k) semakin besar. Selain itu, semakin tinggi suhu (T) maka nilai konstanta laju reaksi (k) akan semakin besar pula.

2.3 Tinjauan Termodinamika

Berdasarkan tinjauan termodinamika, dapat diketahui bahwa reaksi tersebut searah atau bolak-balik dengan meninjau melalui perubahan energi Gibbs (ΔG°). Reaksi esterifikasi antara asam asetat dan etanol terjadi menurut reaksi berikut:



$$\Delta H^\circ_{298} = \Delta H^\circ_{\text{produk}} - \Delta H^\circ_{\text{reaktan}}$$

Diketahui data $\Delta H^\circ_{f \text{ standar}}$ (Smith *et al.*, 2001):

$$\Delta H^\circ_{f 298} \text{CH}_3\text{COOH} = -484500 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^\circ_{f 298} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = -277690 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^\circ_{f 298} \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 = -480000 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^\circ_{f 298} \text{H}_2\text{O} = -285830 \text{ J/mol}$$

Maka:

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{298} &= (\Delta H^\circ_{f 298} \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \Delta H^\circ_{f 298} \text{H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_{f 298} \text{CH}_3\text{COOH} + \\ &\quad \Delta H^\circ_{f 298} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \\ &= (-480000 \text{ J/mol} - 285830 \text{ J/mol}) - (-484500 \text{ J/mol} - 277690 \text{ J/mol}) \\ &= -3640 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Berdasarkan tinjauan termodinamika, dapat diketahui pula bahwa reaksi tersebut endotermis atau eksotermis dengan meninjau perubahan entalpi. Berdasarkan perhitungan, perubahan enthalpi (ΔH) yang bernilai negatif menandakan bahwa reaksi esterifikasi asam asetat dengan etanol bersifat eksotermis. Nilai energi Gibbs (ΔG°) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta G^\circ_{298} = \Delta G^\circ_{f \text{ produk}} - \Delta G^\circ_{f \text{ reaktan}}$$

Diketahui data $\Delta G^\circ_{f \text{ standar}}$ (Smith *et al.*, 2001):

$$\Delta G^\circ_{f 298} \text{CH}_3\text{COOH} = -389900 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{f 298} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH} = -174780 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{f 298} \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 = -332200 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{f 298} \text{H}_2\text{O} = -237129 \text{ J/mol}$$

Maka:

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{298} &= (\Delta G^\circ_{f 298} \text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \Delta G^\circ_{f 298} \text{H}_2\text{O}) - (\Delta G^\circ_{f 298} \text{CH}_3\text{COOH} + \\ &\quad \Delta G^\circ_{f 298} \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}) \\ &= (-332200 \text{ J/mol} - 237129 \text{ J/mol}) - (-389900 \text{ J/mol} - 174780 \text{ J/mol}) \\ &= -4649 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan Van't Hoff:

$$\Delta G^\circ_{298} = -R \cdot T \cdot \ln K$$

$$\ln K = \frac{-\Delta G^\circ_{298}}{R \cdot T}$$

$$\ln K = \frac{-(-4649) \text{ J/mol}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol}} \cdot \text{K} \cdot (298 \text{ K})}$$

$$K = 6,5240$$

Jika dalam praktikum ini digunakan suhu operasi sebesar 54°C, maka harga K pada suhu 54°C dapat dihitung:

$$\ln \frac{K}{K_{298}} = -\frac{\Delta H^\circ_{298}}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{298}} \right)$$

$$\ln \frac{K_{313}}{6,5240} = - \frac{-3640 \text{ J/mol}}{8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol.K}}} \left(\frac{1}{31} - \frac{1}{298} \right)$$

$$K_{327} = 5,7270$$

Berdasarkan perhitungan energi Gibbs, diperoleh nilai K pada suhu operasi 54°C sebesar 5,7270. Dengan demikian, disimpulkan bahwa reaksi esterifikasi asam asetat dengan etanol merupakan reaksi reversibel.

Pada saat kesetimbangan dengan suhu operasi 54°C dan nilai K sebesar 5,7270 dapat dihitung nilai konversi teoritis sebagai berikut:

$$K = \frac{C_C C_D}{C_A C_B}$$

$$K = \frac{(C_{A0} X_A)(C_{A0} X_A)}{C_{A0}(1-X_A)(C_{B0} - (C_{A0} X_A))}$$

$$K = \frac{(X_{Ae})^2}{(1-X_{Ae})(1,5-X_{Ae})}$$

$$5,7270 = \frac{(X_{Ae})^2}{(1-X_{Ae})(1,5-X_{Ae})}$$

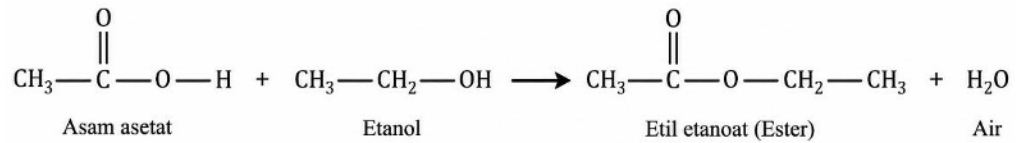
$$X_{Ae} = 0,8244$$

Oleh karena itu, pada saat kesetimbangan dengan suhu operasi 54°C secara teoritis didapatkan nilai konversi sebesar 82,44% (perhitungan di atas hanya contoh, praktikan wajib menyesuaikan suhu reaksi dan perbandingan mol reaktan sesuai variabel suhu yang didapatkan dalam praktikum)

2.4 Mekanisme Reaksi

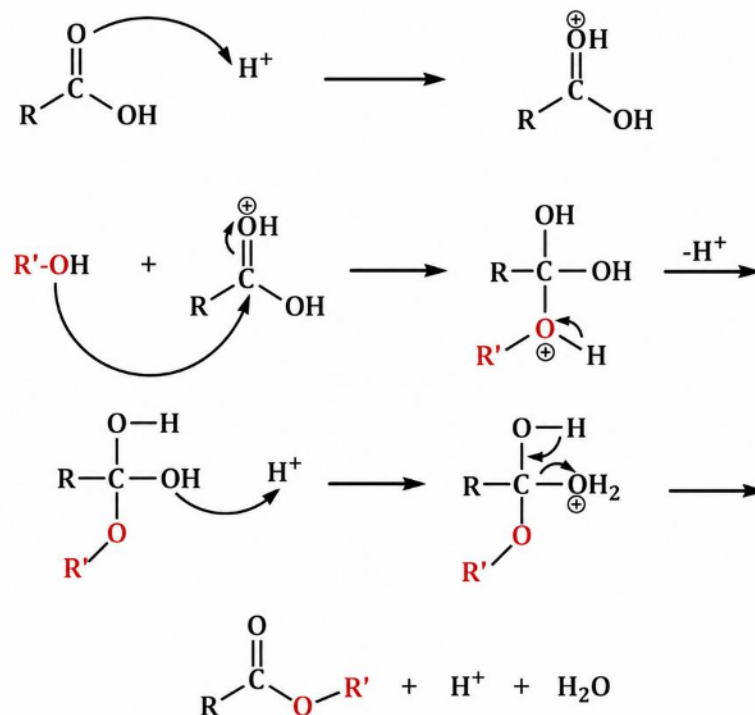
Reaksi esterifikasi merupakan reaksi reversibel yang berarti reaksi ini dapat berlangsung ke arah pembentukan ester atau mengalami pemecahan ester kembali menjadi asam dan alkohol (Jyoti & Soni, 2023). Reaksi esterifikasi ditandai dengan pembentukan ester dari reaksi asam karboksilat dan alkohol (metanol atau etanol). Reaksi esterifikasi umumnya digunakan untuk mengolah bahan baku produksi biodiesel untuk mengurangi konsentrasi asam lemak bebas (Supeno *et al.*, 2023).

Reaksi ini berlangsung lambat pada suhu kamar sehingga diperlukan adanya pemanasan dan penggunaan katalis guna mempercepat laju reaksinya. Katalis yang digunakan dalam esterifikasi dapat berupa katalis asam atau basa. Praktikum ini menggunakan asam karboksilat berupa asam asetat yang direaksikan dengan sebuah alkohol berupa etanol menggunakan katalis asam. Pada pembuatan etil asetat, reaksi esterifikasi yang terjadi dalam praktikum ini dan mekanisme katalis asam pada hidrolisis ester adalah sebagai berikut:



Gambar 2.1 Reaksi Esterifikasi

Mekanisme reaksi esterifikasi merupakan reaksi substitusi antara asil nukleofil dengan katalisator asam (biasanya HCl atau H₂SO₄). Gugus karbonil dari asam karboksilat tidak cukup kuat sebagai elektrofil untuk diserang oleh alkohol. Katalisator asam akan memprotonasi gugus karbonil dan mengaktifkannya ke arah penyerangan nukleofil. Pelepasan proton akan menghasilkan hidrat dari ester, kemudian terjadi transfer proton.



Gambar 2.2 Mekanisme reaksi esterifikasi

Mekanisme esterifikasi dengan katalis asam meliputi:

1. Pada tahap pertama, gugus karbonil akan terprotonasi oleh asam. Transfer proton dari katalis asam menuju ke atom oksigen karbonil sehingga terjadi peningkatan elektrofisilitas pada atom karbon karbonil.
2. Tahap kedua, melibatkan adisi nukleofil yakni gugus OH pada alkohol menyerang karbon karbonil yang telah terprotonasi. Sehingga ikatan C-O yang baru (ikatan ester) terbentuk.
3. Tahap ketiga adalah tahap kesetimbangan dimana terjadi penghilangan gugus H⁺ pada ikatan ester yang baru. Deprotonasi dilakukan untuk membentuk ikatan C-O yang stabil.
4. Pada tahap ke empat, salah satu gugus hidroksil harus terprotonasi karena kedua gugus hidroksilnya identik.

5. Tahap ke lima, melibatkan pemutusan ikatan C-O dan lepasnya air. Agar peristiwa ini dapat terjadi, gugus hidroksil harus diprotonasi agar kemampuannya sebagai gugus bebas/lepas lebih baik.
6. Tahap terakhir, ester yang berproton melepaskan protonnya.

2.5 Variabel yang Berpengaruh

Reaksi esterifikasi dipengaruhi oleh beberapa variabel. Variabel-variabel yang dimaksud antara lain:

1. Waktu reaksi

Menurut Lestari *et al.* (2022), semakin lama waktu reaksi, maka konversi yang akan dihasilkan semakin meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh adanya kontak antar zat (saling bertumbukan) semakin besar. Akan tetapi, ketika kondisi proses mencapai kesetimbangan maka waktu reaksi yang terus bertambah dapat menyebabkan reaksi berbalik kembali ke arah reaktan sehingga lama waktu reaksi tidak akan berpengaruh pada hasil yang diperoleh (Mirzayanti *et al.*, 2023).

2. Perbandingan zat pereaksi

Secara stoikiometri, reaksi esterifikasi membutuhkan satu mol alkohol untuk setiap satu mol asam karboksilat. Namun reaksi esterifikasi merupakan reaksi reversibel sehingga salah satu reaktan dibuat berlebih supaya reaksi berjalan ke arah produk, yaitu pembentukan ester, sesuai dengan prinsip Le Chatelier. Akan tetapi, penggunaan reaktan yang terlalu berlebih tidak selalu memberikan peningkatan konversi yang signifikan karena setelah sistem mendekati keadaan setimbang, pembentukan air sebagai produk samping dapat mendorong reaksi balik, sehingga konversi cenderung menurun atau relatif konstan (Supeno *et al.*, 2023).

3. Pengadukan

Pengadukan menjadi salah satu variabel yang memengaruhi laju reaksi esterifikasi karena dapat meningkatkan kontak antara molekul asam karboksilat dan etanol sehingga tumbukan efektif lebih sering terjadi.

Pengadukan juga membantu menghasilkan campuran yang homogen dan mengurangi hambatan perpindahan massa, sehingga reaksi berlangsung lebih cepat dan konversi ester dapat meningkat. Setelah campuran telah homogen, hambatan perpindahan massa menjadi sangat kecil sehingga penambahan kecepatan pengadukan tidak meningkatkan laju reaksi atau konversi secara signifikan karena laju reaksi kemudian lebih dipengaruhi oleh kinetika reaksi daripada proses pencampuran (Supeno *et al.*, 2023).

4. Suhu

Nilai konversi akan semakin meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Hal tersebut sesuai dengan persamaan Arrhenius dimana apabila suhu naik maka harga konstanta laju reaksi akan semakin besar sehingga reaksi berjalan lebih cepat. Kenaikan konversi seiring dengan kenaikan suhu akan berhenti pada suhu tertentu. Dinamakan suhu atau titik optimum, dimana kenaikan suhu justru akan menurunkan kesetimbangan, sehingga tidak meningkatkan nilai konversi (Jyoti & Soni, 2023). Selain itu, suhu reaksi yang terlalu tinggi juga dihindari karena adanya kemungkinan terjadi penguapan etanol yang meningkat dan berlebihan sehingga menggeser kesetimbangan reaksi ke arah substrat (Piotrowski & Kubica, 2021).

5. Katalis

Katalis memiliki peran krusial dalam mempercepat laju reaksi esterifikasi. Pada reaksi yang dibantu katalis asam, katalis bekerja dengan cara mengaktifkan gugus karbonil pada asam karboksilat agar lebih mudah diserang oleh alkohol. Proses aktivasi ini menyebabkan turunnya energi aktivasi, sehingga ester bisa terbentuk jauh lebih cepat. Katalis akan terbentuk kembali di akhir reaksi sehingga siap dipakai untuk siklus berikutnya (Mannu & Mele, 2024).

Process

Laboratory

BAB III

METODE PRAKTIKUM

3.1 Rancangan Percobaan

3.1.1 Rancangan Praktikum

3.1.2 Penetapan Variabel

A. Variabel tetap

1. Jenis asam karboksilat :
2. Volume total :
3. Volume sampel titrasi :
4. Waktu pengambilan sampel :

B. Variabel berubah

3.2 Bahan dan Alat yang Digunakan

3.2.1 Bahan

1. Asam asetat
2. Alkohol
3. Katalis
4. NaOH
5. Indikator PP
6. *Aquadest*

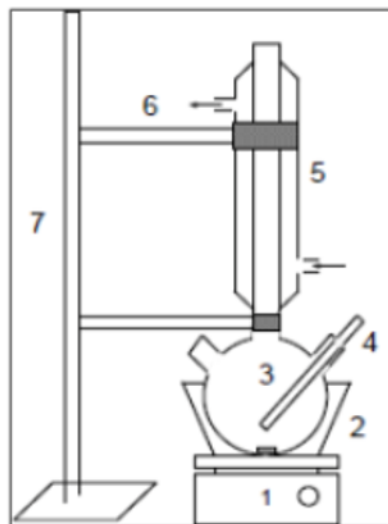
3.2.2 Alat

1. Timbangan
2. Labu leher tiga
3. Pendingin balik
4. Kompor listrik
5. Termometer
6. Buret 50 mL
7. Pipet ukur
8. Pipet tetes
9. Statif
10. Klem
11. Erlenmeyer
12. *Beaker glass*
13. Labu takar
14. Aspirator

Process

Laboratory

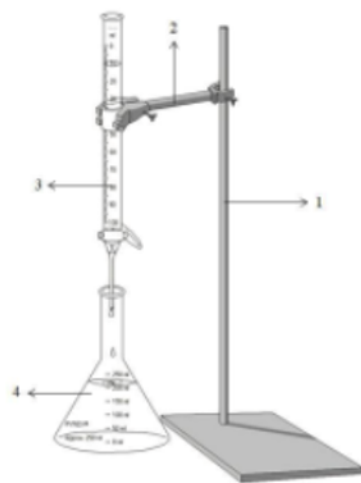
3.3 Gambar Rangkaian Alat



Keterangan

1. *Magnetic stirrer + Heater*
2. *Waterbath*
3. Labu leher tiga
4. Termometer
5. Pendingin balik
6. Klem
7. Statif

Gambar 3.1 Rangkaian alat hidrolisa



Keterangan

1. Statif
2. Klem
3. Buret
4. Erlenmeyer

Gambar 3.2 Rangkaian alat titrasi

3.4 Cara Kerja

3.4.1 Tahap Preparasi

1. Melakukan kalibrasi piknometer dengan menimbang piknometer kosong dan catat massanya, kemudian diisi dengan aquadest, timbang dan catat massanya.
2. Mengukur densitas asam asetat, katalis, dan alkohol menggunakan piknometer. Piknometer diisi dengan reagen yang ingin dihitung densitasnya kemudian ditimbang dan catat massanya.

3. Menghitung densitas dengan persamaan berikut:

$$\rho = \frac{(\text{massa pikno} + \text{reagen}) - (\text{massa pikno kosong})}{\text{volume piknometer}}$$

4. Menimbang NaOH sebesar ... gram, larutkan ke dalam 250 mL aquadest. Setelah larut, masukkan ke dalam buret untuk digunakan sebagai titran.

3.4.2 Percobaan Utama

1. Merangkai alat seperti pada gambar.
2. Mencampurkan asam asetat ... mL, katalis ... mL, dan alkohol ... mL pada *beaker glass*. Sampel diambil 5 mL sebagai t_0 . Kemudian ditambahkan 3 tetes indikator PP dan dititrasi menggunakan NaOH ... N. Perlu diingat, total volume pada percobaan t_0 hanya $\frac{1}{10}$ dari volume total pada percobaan t_1 , t_2 , t_3 , dan t_4 .
3. Mencampurkan asam asetat ... mL dan katalis ... mL lalu panaskan sampai suhu ...°C pada labu leher tiga.
4. Pada tempat yang berbeda, panaskan alkohol ... mL sampai suhu ...°C pada *beaker glass*.
5. Setelah suhu kedua reaktan sama campurkan kedua reaktan tersebut ke dalam labu leher tiga.
6. Amati suhu campuran. Setelah tercapai suhu sesuai variabel, sampel diambil 5 mL mulai dari t_1 dengan waktu pengambilan setiap ... menit hingga waktu mencapai ... menit.

3.4.3 Tahap Analisa

1. Metode analisis mengambil 5 mL sampel lalu ditambahkan 3 tetes indikator PP, kemudian sampel dititrasi dengan NaOH ... N.
2. Amati perubahan warna yang terjadi yaitu dari tidak berwarna menjadi warna merah muda hampir hilang. Catat kebutuhan titran. Menghentikan pengambilan sampel setelah mencapai waktu ... menit.
3. Ulangi langkah-langkah di atas mulai dari tahap preparasi sampai tahap analisis untuk variabel kedua.

Process

Laboratory

DAFTAR PUSTAKA

- da Silva, R. P., Matheus, L. B., Barbosa, M. S., Soares, C. M., Luiz, J. H., & Mendes, A. A. (2026). Development of a biocatalytic process for producing lauryl esters (cosmetic emollients) via esterification in organic solvent-free systems. *Chemical Engineering and Processing-Process Intensification*, 110759.
- Jyoti, G., & Soni, R. (2023). Kinetics study of esterification reaction of acrylic acid with n-butanol. *Materials Today: Proceedings*, 72, 2720-2722.
- Leite, M. J. L., Marques, I. R., Proner, M. C., Araújo, P. H., Ambrosi, A., & Di Luccio, M. (2023). Catalytically active membranes for esterification: A review. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 53, 142-154.
- Lestari, L. P., Meriatna, M., & Suryati, S. (2022). Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak Kepyar (Castor Oil) terhadap Metil Ester dengan Menggunakan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Jurnal Teknologi Kimia Unimal*, 11(2), 241-257.
- Liu, H., & Tan, H. (2025). The research progress on the esterification reaction of dicarboxylic acids. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 149, 16-43.
- Mannu, A., & Mele, A. (2024). Fischer-Speier Esterification and Beyond: Recent Mechanistic Advances. *Catalysts* (2073-4344), 14(12).
- Mirzayanti, Y. W., Zakariya, M. F., & Saputra, D. A. (2023). Effectivity CaO/Hydrotalcite catalyst to biofuel microalgae *Nannochloropsis* sp. conversion. *Konversi*, 12(1).
- Ortega-Requena, S., Montiel, C., Máximo, F., Gómez, M., Murcia, M. D., & Bastida, J. (2024). Esters in the food and cosmetic industries: an overview of the reactors used in their biocatalytic synthesis. *Materials*, 17(1), 268.
- Piotrowski, W., & Kubica, R. (2021). Integration of the Process for Production of Ethyl Acetate by an Enhanced Extraction Process. *Processes*, 9(8), 1425. <https://doi.org/10.3390/pr9081425>
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., & Swihart, M. T. (1949). *Introduction to chemical engineering thermodynamics*. Singapore: McGraw-Hill.
- Supeno, M., Sihotang, J. P., Panjaitan, Y. V., Damanik, D. S., Tarigan, J. B., & Sitepu, E. K. (2023). Room temperature esterification of high-free fatty acid feedstock into biodiesel. *RSC advances*, 13(47), 33107-33113.
- Vikhareva, I. N., Aminova, G. K., & Mazitova, A. K. (2022). Development of a highly efficient environmentally friendly plasticizer. *Polymers*, 14(9), 18