

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Ilmu pengetahuan dan teknologi yang terus mengalami perkembangan terutama dalam sektor perindustrian di Indonesia mendorong industri-industri pada berbagai sektor untuk terus berinovasi dan mengembangkan diri, salah satunya pada sektor industri kimia. Perkembangan ini meningkatkan kebutuhan produksi dalam industri kimia, baik dalam hal bahan baku maupun bahan penunjang lainnya. Industri kimia memiliki keberagaman bahan baku dan penunjang yang digunakan, di antaranya adalah etil asetat yang merupakan salah satu jenis pelarut dengan rumus molekul  $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5$ .

Esterifikasi merupakan reaksi pembentukan ester dari asam karboksilat dan alkohol. Produk reaksi berupa ester dan air. Persamaan umum reaksi ini dapat ditentukan sebagai berikut:



Reaksi esterifikasi merupakan reaksi reversibel, eksotermis, dan berjalan sangat lambat tetapi bila menggunakan katalis asam mineral seperti asam sulfat ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) atau asam klorida ( $\text{HCl}$ ) kesetimbangan akan tercapai dalam waktu yang cepat (Susanti, 2019). Maka, perlu dipelajari faktor-faktor yang mempengaruhi serta melakukan berbagai percobaan guna mengetahui berbagai variabel proses yang berpengaruh terhadap proses esterifikasi.

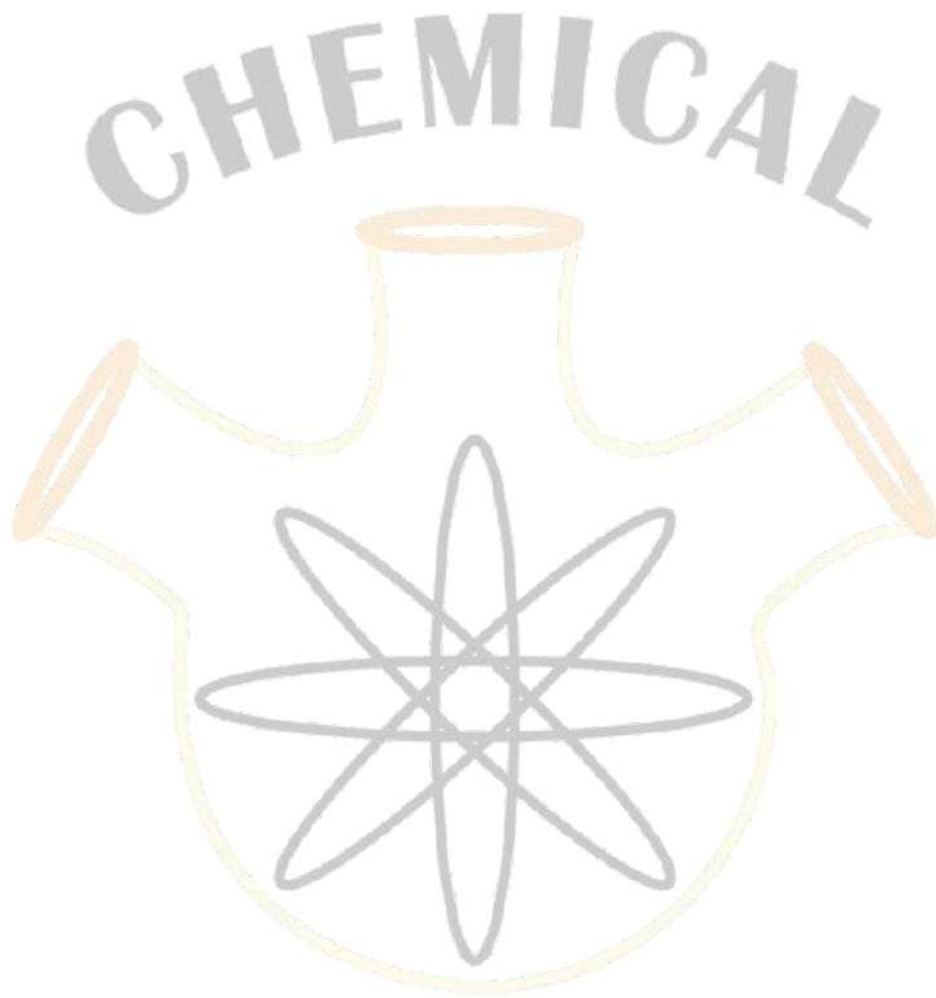
### 1.2 Tujuan Praktikum

1. Mempelajari pengaruh waktu reaksi terhadap konversi reaksi esterifikasi.
2. Mempelajari pengaruh rasio mol reaktan, jenis katalis, konsentrasi katalis, dan temperatur terhadap konversi pada proses esterifikasi.
3. Mempelajari pengaruh rasio mol reaktan, jenis katalis, konsentrasi katalis, dan temperatur terhadap konstanta laju reaksi ( $k$ ) pada proses esterifikasi.
4. Mempelajari pengaruh rasio mol reaktan, jenis katalis, konsentrasi katalis, dan temperatur 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 rasio mol reaktan, jenis katalis, konsentrasi katalis, dan temperatur terhadap konversi ester yang terbentuk.

3. Mahasiswa dapat mengetahui cara mengamati pengaruh rasio mol reaktan, jenis katalis, konsentrasi katalis, dan temperatur 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

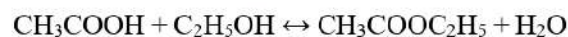
Ester merupakan salah satu senyawa hasil reaksi kondensasi antara asam karboksilat dan alkohol dengan bantuan katalis. Senyawa ini umumnya digunakan dalam industri kimia, farmasi, kosmetik, dan makanan. Katalis yang dapat digunakan dalam sintesis ester berupa katalis homogen dan heterogen (Leite *et al.*, 2023).

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 dari katalis homogen memiliki beberapa kelemahan, antara lain tidak dapat digunakan kembali, dapat meningkatkan korosi peralatan yang digunakan, dan membutuhkan lebih banyak tahap pemurnian (Leite *et al.*, 2023).

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 didaur ulang. Namun, katalis heterogen menunjukkan aktivitas katalitik yang lebih rendah dibandingkan dengan katalis homogen (Leite *et al.*, 2023).

#### 2.2 Kinetika Reaksi

Esterifikasi atau pembuatan ester merupakan reaksi antara asam karboksilat dan alkohol yang menghasilkan reaksi ester dan air. Contohnya yaitu reaksi antara asam asetat dengan etanol. Reaksi esterifikasi dapat dilihat sebagai berikut:



A                      B                      C                      D

Persamaan kecepatan reaksi kimia:

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

Keterangan :

$-r_A$  = kecepatan reaksi pembentukan ester

$[A]$  = konsentrasi asam asetat  $[\text{CH}_3\text{COOH}]$

$[B]$  = 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 [ $\text{H}_2\text{O}$ ]  
 $k_1$  = konstanta kecepatan reaksi ke kanan (arah produk)  
 $k_2$  = konstanta kecepatan reaksi ke kiri (arah reaktan)  
 $t$  = waktu reaksi

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

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

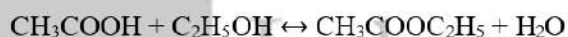
Dengan :

- $k$  = 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  $T$  dimana semakin besar faktor tumbukan ( $A$ ) maka konstanta laju reaksi ( $k$ ) akan 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 ( $\Delta G^\circ$ ). Reaksi esterifikasi antara asam asetat dan etanol terjadi menurut reaksi berikut :



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

Diketahui data  $\Delta H^\circ_f$  standar (Smith *et al.*, 2001) :

$$\Delta H^\circ_{f298} \text{ CH}_3\text{COOH} = -484500 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^\circ_{f298} \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = -277690 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^\circ_{f298} \text{ CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 = -480000 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H^\circ_{f298} \text{ H}_2\text{O} = -285830 \text{ J/mol}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \Delta H^\circ_{298} &= (\Delta H^\circ_{f298} \text{ CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \Delta H^\circ_{f298} \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta H^\circ_{f298} \text{ CH}_3\text{COOH} + \\ &\quad \Delta H^\circ_{f298} \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}) \\ &= (-480000 \text{ J/mol} - 285830 \text{ J/mol}) - (-484500 \text{ J/mol} - 277690 \text{ J/mol}) \\ &= -3640 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

Berdasarkan tinjauan termodinamika, dapat diketahui pula bahwa reaksi tersebut endotermis atau eksotermis dengan meninjau perubahan entalpi. Berdasarkan perhitungan, perubahan entalpi ( $\Delta H$ ) yang bernilai negatif menandakan bahwa reaksi esterifikasi asam asetat dengan etanol bersifat eksotermis. Nilai energi Gibbs ( $\Delta G^\circ$ ) dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut :

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

Diketahui data  $\Delta G^\circ_f$  standar (Smith *et al.*, 2001):

$$\Delta G^\circ_{f298} \text{ CH}_3\text{COOH} = -389900 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{f298} \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = -174780 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{f298} \text{ CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 = -332200 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G^\circ_{f298} \text{ H}_2\text{O} = -237129 \text{ J/mol}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \Delta G^\circ_{298} &= (\Delta G^\circ_{f298} \text{ CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \Delta G^\circ_{f298} \text{ H}_2\text{O}) - (\Delta G^\circ_{f298} \text{ CH}_3\text{COOH} + \Delta G^\circ_{f298} \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}) \\ &= (-332200 \text{ J/mol} - 237129 \text{ J/mol}) - (-389900 \text{ J/mol} - 174780 \text{ J/mol}) \\ &= -4649 \text{ J/mol} \end{aligned}$$

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 digunakan suhu operasi sebesar 54°C maka harga K pada suhu 54°C dapat dihitung sebagai berikut :

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

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

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

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:

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

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

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

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

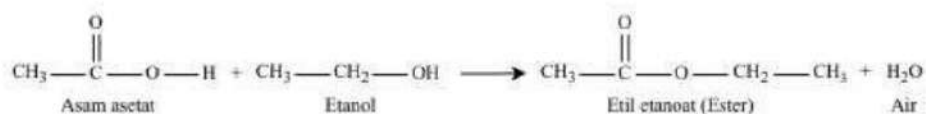
$$X_{Ae} = 0,8244$$

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 dan 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 (Almeida *et al.*, 2018).

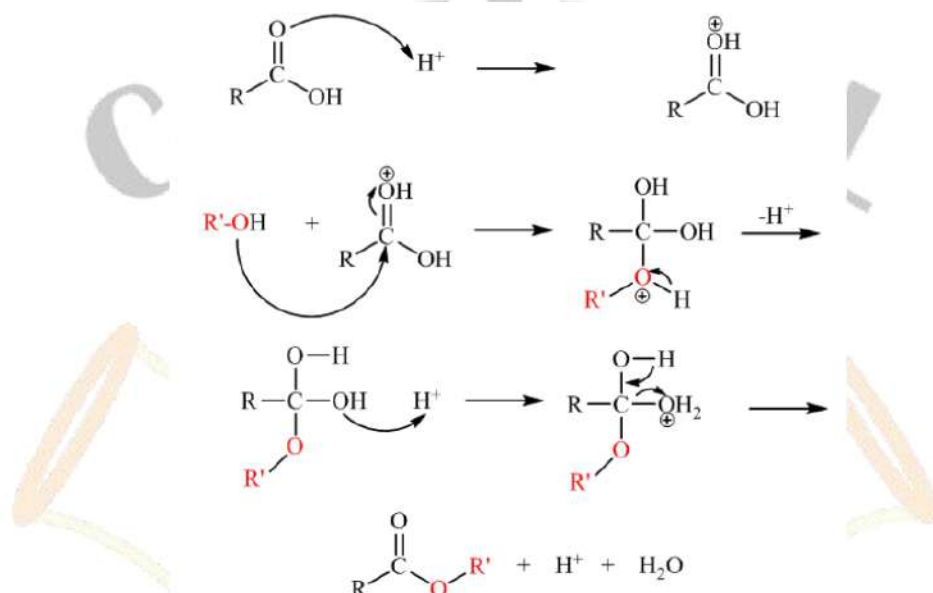
Reaksi ini berlangsung lambat pada suhu kamar sehingga diperlukan adanya pemanasan dan penggunaan katalis guna mempercepat laju reaksinya. Katalis yang digunakan dalam esterifikasi dapat berupa katalis asam atau basa. Praktikum ini menggunakan asam karboksilat berupa asam asetat yang direaksikan dengan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



Gambar 2.1 Reaksi esterifikasi



Mekanisme reaksi esterifikasi merupakan reaksi substitusi antara asil nukleofil dengan katalisator asam (biasanya HCl atau H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). 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 di mana terjadi penghilangan gugus H<sup>+</sup> pada ikatan ester yang baru. Deprotonasi dilakukan untuk membentuk ikatan C-O yang stabil.
4. Tahap keempat, salah satu gugus hidroksil harus terprotonasi karena kedua gugus hidroksilnya identik.
5. Tahap kelima, melibatkan pemutusan ikatan C-O dan lepasnya air. Hal tersebut dapat terjadi apabila gugus hidroksil diprotonasi sehingga didapatkan kemampuan sebagai gugus bebas/lepas yang 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.* (2020), 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

Rasio mol asam dan alkohol berdampak langsung pada tingkat konversi esterifikasi (Kastratovic dan Bigovic, 2018). Hal ini disebabkan oleh sifat reaksi yang reversibel sehingga salah satu reaktan harus dibuat berlebih supaya reaksi cenderung bergerak ke arah produk guna menghasilkan ester yang lebih banyak.

### 3. Pengadukan

Pengadukan dalam proses reaksi memberikan dampak positif terhadap peningkatan kecepatan reaksi di mana dengan dilakukannya pengadukan, maka kecenderungan kontak antar reaktan akan semakin tinggi sehingga kecepatan reaksi meningkat (Nuryoto *et al.*, 2020). Kecepatan pengadukan optimum untuk berbagai bahan baku perlu disesuaikan berdasarkan sifat fisiknya yang berbeda (Panchal *et al.*, 2020).

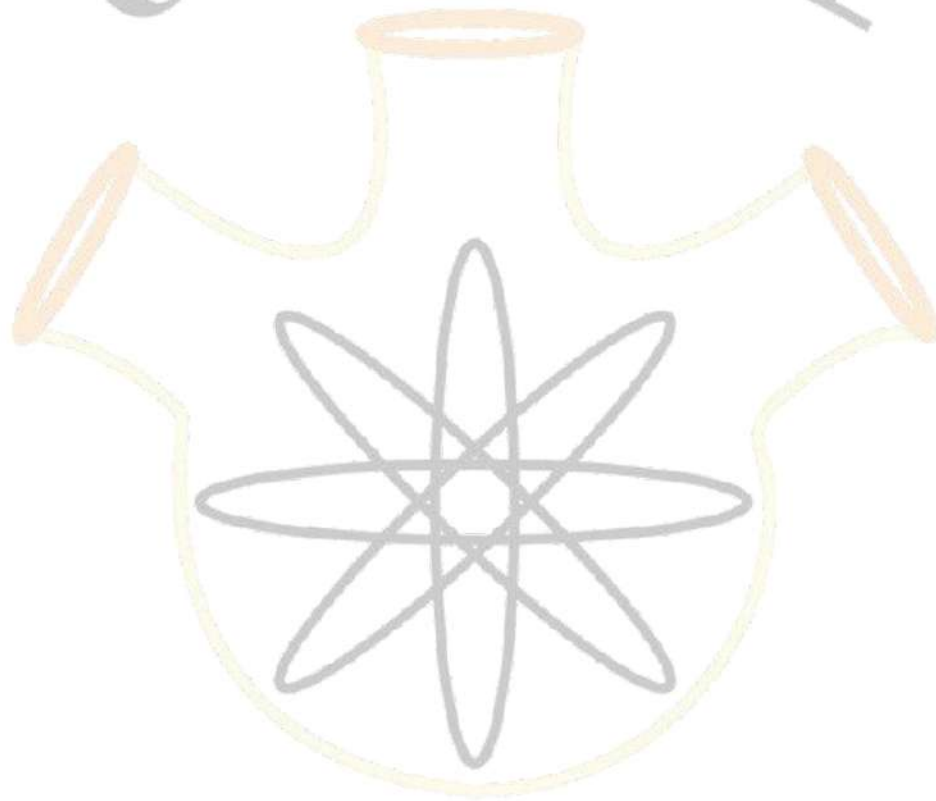
### 4. Suhu

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. Namun, dikarenakan reaksi esterifikasi bersifat eksotermis maka dengan kenaikan suhu ini tidak selamanya akan meningkatkan konversi. Terdapat titik optimum dimana kenaikan suhu justru menurunkan kesetimbangan, sehingga tidak meningkatkan nilai konversi (Fakhry & Rahayu, 2016). 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

Menurut Nuryoto *et al.* (2020), jika proses esterifikasi dilakukan tanpa katalis maka reaksi tidak akan efektif dan efisien sehingga dengan adanya katalisator dapat mempercepat laju reaksi serta memaksimalkan hasil konversi asam asetat. Peningkatan jumlah katalis mengakibatkan peningkatan hasil konversi selama waktu reaksi. Penggunaan katalis mempercepat reaksi dengan cara menurunkan energi aktivasinya (Jusniar *et al.*, 2020).



Process

Laboratory

## BAB III

### METODE PRAKTIKUM

#### 3.1 Rancangan Pecobaan

##### 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

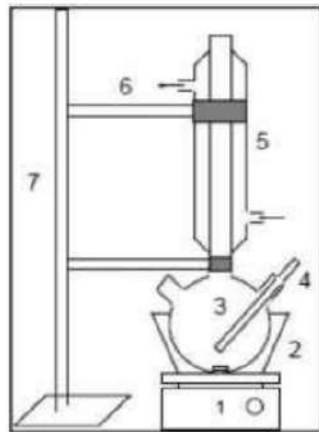
##### 3.2.2 Alat

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

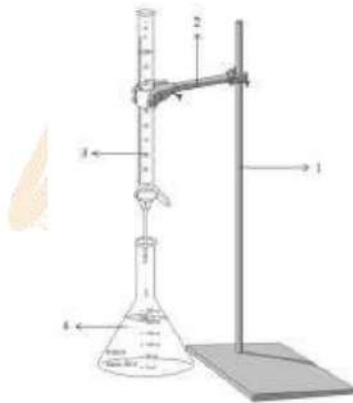
### 3.3 Gambar Rangkaian Alat



Keterangan :

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

Gambar 3.2 Rangkaian alat hidrolisa



Keterangan :

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

Gambar 3.3 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  $t_0$ . Sampel kemudian ditambahkan 3 tetes indikator PP dan dititrasi menggunakan NaOH ... N. Perlu diingat, total volume pada percobaan  $t_0$  hanya 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 sampai suhu ... °C pada *beaker glass*.
5. Setelah suhu kedua reaktan sama campurkan kedua reaktan tersebut kedalam 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 analisa untuk variabel kedua.

Process

Laboratory

## DAFTAR PUSTAKA

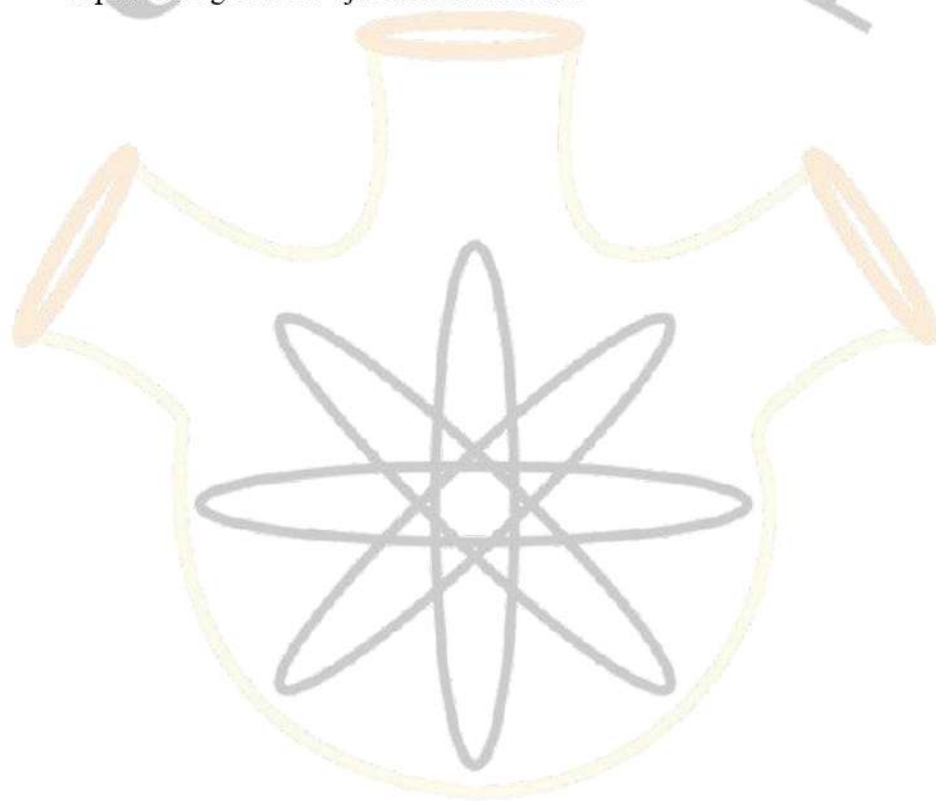
- Almeida, E. L., Andrade, C. M. G., & dos Santos, O. A. (2018). Production of biodiesel via catalytic processes: A brief review. *International Journal of Chemical Reactor Engineering*, 16(5). <https://doi.org/10.1515/ijcre-2017-0130>
- Fakhry, M. N., & Rahayu, S. S. (2016). Pengaruh Suhu pada Esterifikasi Amil Alkohol dengan Asam Asetat Menggunakan Asam Sulfat sebagai Katalisator. *Jurnal Rekayasa Proses*, 10(2), 64-69. <https://doi.org/10.22146/jrekpros.33339>
- Jusniar, J., Effendy, E., Budiasih, E., & Sutrisno, S. (2020). Misconceptions in Rate of Reaction and Their Impact on Misconceptions in Chemical Equilibrium. *European Journal of Educational Research*, 10(4), 1405-1423. <https://doi.org/10.12973/eu-jer.9.4.1405>
- Jyoti, G., & Soni, R. (2023). Kinetics study of esterification reaction of acrylic acid with n-butanol. *Materials Today: Proceedings*, 72, 2720-2722. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.09.232>
- Kastratović, V., & Bigović, M. (2018). Esterification of stearic acid with lower monohydroxylic alcohols. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*, 24(3), 283-291. <https://doi.org/10.2298/CICEQ170327040K>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.cjche.2022.03.009>
- Lestari, L. P., Meriatna., Suryati., Jalaluddin., Sylvia, N. (2022). Pengaruh Suhu dan Waktu Reaksi Transesterifikasi Minyak Jarak Kepyar (*Castor Oil*) terhadap Metil Ester dengan Menggunakan Katalis Abu Tandan Kosong Kelapa Sawit. *Chemical Engineering Journal Storage*. 1(2), 64-80. <https://doi.org/10.29103/jtku.v1i12.9464>
- Mirzayanti, Y. W., Zakariya, M. F., & Saputra, D. A. (2023). Effectivity Cao/Hydrotalcite Catalyst to Biofuel Microalgae *Nannochloropsis* Sp Conversion. *Konversi*, 12(1). <http://dx.doi.org/10.20527/k.v1i2i1.14209>
- Nuryoto, Amaliah A.R., Puspitasari A., & Ramadhan A. D. (2020). Study of Esterification Reaction between Ethanol and Acetic Acid Using Homogeneous and Heterogeneous Catalyst. *World Chemical Engineering Journal*, 4(2), 51–55. <http://dx.doi.org/10.48181/wcej.v4i2.8952>
- Panchal, B., Chang, T., Kang, Y., Qin, S., Zhao, Q., Wang, J., Bian, K., & Sun, Y. (2020). Synthesis of polymer based catalyst: Optimization and kinetics modeling of the transesterification of *Pistacia chinensis* oil with diethyl

carbonate using acidic ionic liquids. *Fuel*, 276, 118121.  
<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.118121>

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., Ness, H. C. V., & Abbott, M. M. (2001). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*. (6th ed.). Mc Graw Hill.

Susanti, M. M. (2019). Sintesis Senyawa Etil Laurat Menggunakan Variasi Volume Katalis Asam Sulfat Pekat. *Jurnal Labora Medika*, 3(1), 1-9.  
<https://doi.org/10.26714/jlabmed.3.1.2019.1-9>



Process

Laboratory



# CHEMICAL

IDENTIFIKASI BAHAYA (IB)										
A	Mekanik		D	Lingkungan		E	Bahan kimia		G	Bahaya lainnya
A1	Penanganan manual		D1	Kebisingan		E1	Racun	√	G1	Gas terkompresi
A2	Bagian yang bergerak		D2	Getaran		E2	Iritan	√	G2	Radiasi pengion
A3	Bagian yang berputar		D3	Penerangan		E3	Korosif	√	G3	Radiasi UV
A4	Pemotongan		D4	Kelembaban		E4	Karsinogenik	√	G4	Kelelahan
B	Biologi		D5	Temperatur	√	E5	Mudah terbakar	√	G5	Ruang sempit
B1	Bakteri		D6	Bahaya perjalanan		E6	Mudah meledak		G6	Penuh sesak
B2	Virus		D7	Permukaan yang licin	√	E7	Cryogenics		G7	Termometer
B3	Jamur		D8	Limbah padat		F	Peralatan			
C	Listrik		D9	Kualitas udara	√	F1	Bejana tekan			
C1	Voltase tinggi		D10	Pekerjaan soliter		F2	Peralatan panas	√		
C2	Listrik statis		D11	Percikan/tetes/banjir	√	F3	Laser			
C3	Kabel	√	D12	Tumpahan serbuk	√	F4	Pembuluh kaca			

Process

Laboratory

DETAIL RESIKO								
IB	Resiko (setelah tindakan pengendalian)				Identifikasi resiko	Tindakan pengendalian untuk meminimalisir resiko	Tindakan pertolongan pertama	
	Tinggi	Sedang	Rendah	Minimal				
1. PREPARASI / TAHAP AWAL								
		√			<ul style="list-style-type: none"><li>- Reagen tumpah ketika sedang mengukur densitas menggunakan piknometer</li><li>- Reagen tumpah ketika sedang menimbang</li><li>- Reagen tumpah ketika sedang memasukkan titran ke dalam buret</li></ul>	Menggunakan alat pelindung diri lengkap seperti jas lab, sarung tangan lateks, serta menggunakan sepatu	<ul style="list-style-type: none"><li>- Menghentikan sumber tumpahan</li><li>- Menjauh dari tumpahan reagen</li><li>- Membersihkan tumpahan dengan absorben yang tepat dan menggunakan alat pelindung diri lengkap</li><li>- Bilas dengan air mengalir jika reagen mengenai kulit</li></ul>	
			√		Piknometer, gelas ukur, dan pipet jatuh saat pengambilan sampel	<ul style="list-style-type: none"><li>- Menggunakan alat pelindung diri lengkap seperti jas lab, sarung tangan lateks, serta menggunakan sepatu</li><li>- Berhati-hati ketika bergerak atau</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Menjauh dari tempat terjatuhnya alat</li><li>- Membersihkan pecahan alat dengan sapu</li><li>- Ketika membersihkan pecahan alat perlu menggunakan alat pelindung diri yang lengkap</li></ul>	

Process Laboratory

# CHEMICAL

DETAIL RESIKO						
IB	Resiko (setelah tindakan pengendalian)				Identifikasi resiko	Tindakan pengendalian untuk meminimalisir resiko
	Tinggi	Sedang	Rendah	Minimal		
						memindahkan alat agar tidak tersenggol
		√			Ujung pipet pecah ketika pengambilan reagen atau sampel	Berhati-hati ketika mengambil reagen agar ujung pipet tidak terkena bibir botol reagen
		√			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Terkena tetesan atau tumpahan asam saat mengambil dari ruang asam</li> <li>- Terkena tetesan asam dari pipet yang pecah ujungnya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan alat pelindung diri lengkap seperti jas lab, sarung tangan lateks, serta menggunakan sepatu</li> <li>- Adanya pengawasan ketika</li> </ul>

Process

Laboratory



DETAIL RESIKO							
IB	Resiko (setelah tindakan pengendalian)				Identifikasi resiko	Tindakan pengendalian untuk meminimalisir resiko	Tindakan pertolongan pertama
	Tinggi	Sedang	Rendah	Minimal			
						mengambil reagen dari ruang asam	
			√		Pemasangan alat - Alat terjatuh karena tidak terpasang dengan kuat - Termometer pecah karena pemaksaan dalam pemasangan	- Memastikan klem kuat menahan alat - Pemasangan alat tidak boleh miring - Memasang alat sesuai dengan ukuran yang tersedia	- Menjauh dari tempat terjatuhnya alat - Membersihkan pecahan alat dengan sapu - Ketika membersihkan pecahan alat perlu menggunakan alat pelindung diri yang lengkap
2. PERCOBAAN UTAMA							
				√	Tersetrum listrik ketika menghubungkan kompor listrik ke sumber listrik	- Pastikan kabel dan colokan sumber listrik tidak basah - Memakai alat pelindung diri yang lengkap	- Matikan sumber arus listrik - Dorong tubuh korban dengan benda isolator - Cari pertolongan medis jika terdapat luka bakar

Process

Laboratory

DETAIL RESIKO							
IB	Resiko (setelah tindakan pengendalian)				Identifikasi resiko	Tindakan pengendalian untuk meminimalisir resiko	Tindakan pertolongan pertama
	Tinggi	Sedang	Rendah	Minimal			
			√		Suhu labu leher tiga dan suhu alkohol terlalu panas sehingga terjadi penguapan berlebih	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mengontrol aliran air dalam pendingin balik</li> <li>- Mengatur suhu kompor listrik agar tidak terlalu tinggi namun tetap sesuai dengan variabel</li> </ul>	Mengatur suhu pada rangkaian alat dengan perlindungan isolator
3. ANALISA / TAHAP AKHIR							
		√			<ul style="list-style-type: none"> <li>- Terkena tetesan larutan ketika mengambil sampel</li> <li>- Terkena tetesan larutan ketika menambahkan indikator</li> <li>- Terkena tetesan titran ketika melakukan titrasi</li> </ul>	Menggunakan alat pelindung diri lengkap seperti jas lab, sarung tangan lateks, serta menggunakan sepatu	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bilas dengan air mengalir jika reagen mengenai kulit</li> <li>- Melepaskan pakaian yang terkena reagen</li> </ul>
			√		Saat mencuci alat yang sudah digunakan, alat terjatuh dan pecah	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Berhati-hati ketika mencuci agar alat tidak terlepas dari</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menjauh dari tempat terjatuhnya alat</li> </ul>

Process

Laboratory

# CHEMICAL

DETAIL RESIKO					
IB	Resiko (setelah tindakan pengendalian)				Identifikasi resiko
	Tinggi	Sedang	Rendah	Minimal	
					karena menggunakan sabun cuci yang bisa membuat licin
					tangan - Berhati-hati ketika mencuci agar alat tidak terkena wastafel
					- Membersihkan pecahan alat dengan sapu - Ketika membersihkan pecahan alat perlu menggunakan alat pelindung diri yang lengkap

Process

Laboratory