

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Reaktor tangki berpengaduk merupakan reaktor yang paling sering dijumpai dalam industri kimia. Pada industri berskala besar, reaktor alir tangki berpengaduk lebih sering diaplikasikan karena kemampuan operasinya yang dapat diatur kapasitasnya. Unjuk kerja reaktor alir berpengaduk perlu dipelajari untuk mengetahui karakteristik aliran fluida, reaksi yang terjadi secara optimasi pengoperasian reaktor.

Pengoperasian reaktor alir tangki berpengaduk meliputi tiga tahap yaitu pengisian reaktor tinggi *overflow*, kondisi kontinyu, dan kontinyu *steady state*. Evaluasi variabel - variabel operasi sangat mudah dilakukan pada kondisi *steady state*.

Pemodelan matematik diperlukan untuk mempermudah analisa permasalahan yang timbul dalam pengoperasian reaktor alir tangki berpengaduk. Model matematika yang diusulkan diuji keakuratannya dengan membandingkan dengan data-data percobaan. Model matematika yang diusulkan diselesaikan dengan cara analisis jika persamaan itu mudah diselesaikan. Namun untuk reaksi yang kompleks akan diperoleh model matematika yang kompleks juga. Penyelesaian numerik sangat dianjurkan untuk memperoleh nilai k , tetapan transfer massa, dan orde reaksi yang merupakan *adjustable parameter*.

1.2 Perumusan Masalah

Reaktor Ideal Alir Kontinyu/Reaktor Alir Tangki Berpengaduk adalah tempat terjadinya reaksi kimia pembentukan atau penguraian, dimana aliran massa masuk atau keluar berulang secara terus menerus (kontinyu) (Rosadi, 2000). Pada praktikum kali ini, reaktor ideal aliran kontinyu akan dipelajari untuk mengetahui harga orde reaksi, konstanta reaksi serta pengaruh konsentrasi reaktan dan membandingkan perhitungan model matematis penyabunan etil asetat dengan NaOH pada reaktor ideal aliran kontinyu.

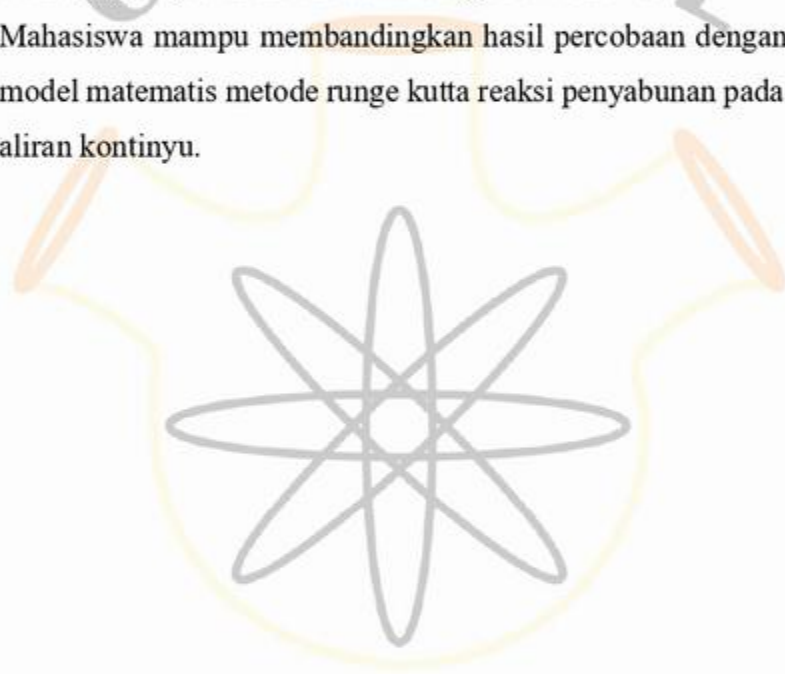
1.3 Tujuan Percobaan

1. Menentukan harga orde reaksi penyabunan etil asetat dengan NaOH.
2. Menghitung harga konstanta reaksi (k) penyabunan etil asetat dengan NaOH.

3. Mengetahui pengaruh variabel terhadap konstanta reaksi (k) penyabunan etil asetat dengan NaOH.
4. Membandingkan hasil percobaan dengan perhitungan model matematis metode runge kutta reaksi penyabunan pada reaktor ideal aliran kontinyu.

1.4 Manfaat Percobaan

1. Mahasiswa dapat menentukan harga orde reaksi penyabunan etil asetat dengan NaOH.
2. Mahasiswa dapat menghitung harga konstanta reaksi (k) penyabunan etil asetat dengan NaOH.
3. Mahasiswa mampu mengetahui pengaruh variabel terhadap konstanta reaksi (k) penyabunan etil asetat dengan NaOH.
4. Mahasiswa mampu membandingkan hasil percobaan dengan perhitungan model matematis metode runge kutta reaksi penyabunan pada reaktor ideal aliran kontinyu.



Process

Laboratory

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Reaktor *Batch*

Neraca bahan pada reaktor secara simultan



Gambar 2.1 Bagian neraca massa suatu sistem

Input = 0

Output = 0

Reaktan yang bereaksi = $(-r_A)$

Input = Output + Reaktan yang bereaksi + Akumulasi

$$0 = 0 + v(-r_A) + \frac{dN_A}{dt} \quad (2.1)$$

$$0 = V_i(-r_A) + \frac{d[N_{A0}(1-X_A)]}{dt} \quad (2.2)$$

$$0 = V_i(-r_A) - \frac{N_{A0} dX_A}{dt} \quad (2.3)$$

$$dt = \frac{N_{A0}}{V_i(-r_A)} dX_A \quad (2.4)$$

$$t = N_A \int_0^{X_A} \frac{dX_A}{V_i(-r_A)} \quad (2.5)$$

Pada volume konstan

$$\begin{aligned} C_A &= C_{A0}(1-X_A) \\ dC_A &= -C_{A0} \cdot dX_A \end{aligned} \quad (2.6)$$

Pers. (6) masuk ke pers. (5) diperoleh :

$$t = C_{A0} \int_0^X \frac{dN_A}{-r_A} = - \int_{C_{A0}}^{C_A} \frac{dC_A}{-r_A} \quad (2.7)$$

2.2 Reaktor Ideal Aliran Kontinu/Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (CSTR)

Tahapan yang terjadi pada reaktor CSTR ini terbagi dalam 3 tahap proses, yaitu:

a. Tahap Pertama

Tahap pertama dimulai saat $t = 0$ sampai terjadi overflow

Dari hukum kekekalan massa

Akumulasi = Input – Output

$$\rho \frac{dV}{dt} = \rho \cdot F_0 - 0 \quad (2.8)$$

$$dV = F_0 \cdot dt, \text{ pada } t = 0 \rightarrow V = 0$$

Karena densitas laju alir dianggap konstan, maka volumenya hanya merupakan fungsi dari waktu.

$$V = F_0 \cdot t \quad (2.9)$$

Sedangkan dari neraca komponen:

Akumulasi = Input – Output – Laju konsumsi karena reaksi

$$\frac{d}{dt}(V \cdot C) = F_0 \cdot C_0 - 0 - V(-r_A) \quad (2.10)$$

Dalam hal ini :

V = Volume bahan dalam reaktor (L)

C = Konsentrasi molar reaktan dalam reaktor (mol/L)

F_0 = Laju alir reaktan masuk (L/mol)

C_0 = Konsentrasi molar reaktan dalam feed (mol/L)

t = Waktu reaksi (menit)

$-r_A$ = Kecepatan reaksi (mol/menit)

Reaksi yang terjadi adalah :



$-r_A = k \cdot C_A C_B$, karena $C_A = C_B$, maka

$$-r_A = k C_A^2 = k C^2 \quad (2.11)$$

Pers. (11) → Pers. (10)

$$\frac{d(V \cdot C)}{dt} = F_0 \cdot C_0 - V \cdot k \cdot C^2$$

$$V \frac{dC}{dt} + C \frac{dV}{dt} = F_0 \cdot C_0 - V \cdot k \cdot C^2 \quad (2.12)$$

Pers. (9) → Pers. (12)

$$F_0 \cdot t \cdot \frac{dC}{dt} \cdot C \cdot F_0 = F_0 \cdot C_0 - F_0 \cdot t \cdot k \cdot C^2 \quad (2.13)$$

$$\frac{dC}{dt} = \frac{C_0}{t} - \frac{C}{t} - k \cdot C^2 \quad (2.14)$$

Dengan menggunakan boundary condition pada $t=0$, $C=C_0$ dan substitusi

$U = e^{\int C \cdot dt}$ maka pers. (14) menjadi :

$$t^2 \frac{d^2 U}{dt^2} + t \frac{dU}{dt} - k \cdot U \cdot C_0 \cdot t = 0 \quad (2.15)$$

Pers. (15) diubah menjadi fungsi Bessel dengan substitusi $z = t^{0.5}$, menjadi:

$$z^2 \frac{d^2 U}{dz^2} + z \frac{dU}{dz} - 4 \cdot k \cdot U \cdot C_0 \cdot z^2 = 0 \quad (2.16)$$

Pers. (16) merupakan modifikasi pers. Bessel yang memiliki bentuk umum sebagai berikut :

$$x^2 \frac{d^2 y}{dx^2} + x(a + 2bx^r) \frac{dy}{dx} + [c + dx^{2s} - b(1 - a - r)x \cdot r + b^2 \cdot x^2 \cdot r] \cdot y = 0$$

Dari pers. (5) didapatkan :

$$a = 1$$

$$r = 0$$

$$p = \frac{1}{s} \sqrt{\frac{(1-a)^2}{2}} - c = 0$$

$$b = 0$$

$$s = 0$$

$$p = 0$$

$$c = 0$$

$$d = -4.k.C_0$$

$$\sqrt{\frac{d}{s}} = \text{imajiner}$$

Sehingga penyelesaian pers. (16) adalah :

$$U = C_1 Z_p (\sqrt{4.k.C_0.z}) + C_2 Z_p (\sqrt{4.k.C_0.z}) \quad (2.18)$$

Pada $t=0, z=0 \rightarrow Z_p = \sim$

Sehingga $C_2 = 0$

$$U = C_1 Z_p (\sqrt{4.k.C_0.z})$$

Karena $p = 0$ dan $\sqrt{\frac{d}{s}} = \text{imajiner}$

$$\text{Maka } U = C_1 I_0 (\sqrt{4.k.C_0.z})$$

$$\frac{du}{dt} = \frac{d}{dz} C_1 I_0 (\sqrt{4.k.C_0.z}) \quad (2.19)$$

Dari Sherwood halaman 178 pers (5.38) didapatkan

$$\frac{dU}{dt} = C_1 (\sqrt{4.k.C_0.z}) I_0 (\sqrt{4.k.C_0.z}) \quad (2.20)$$

Dari substitusi semula, diperoleh :

$$\frac{dU}{dt} = 2.k.C_2.C_1.I_0 (\sqrt{4.k.C_0.z}) \quad (2.21)$$

Maka pers. (14) dan (15) diperoleh :

$$C_1 (\sqrt{4.k.C_0.z}) I_0 (\sqrt{4.k.C_0.z}) = k.C.C_1.I_0 (\sqrt{4.k.C_0.z})$$

$$C = \frac{(\sqrt{4.k.C_0.z}) I_0 (\sqrt{4.k.C_0.z})}{k.C.C_1.I_0 (\sqrt{4.k.C_0.z})}$$

$$C = \frac{C_0 T_1 (2\sqrt{k.C_0 T})}{k.t.T_0 (2\sqrt{k.C_0 T})} \quad (2.22)$$

b. Tahap kedua

Pada tahap ini proses berjalan kontinyu, namun belum tercapai kondisi *steady state*. Dapat dinyatakan dengan :

$$C = f(t) \text{ dan } V = \text{konstan} \rightarrow dV/dt = 0$$

Dari neraca massa komponen diperoleh

$$\frac{d}{dt} (V.C) = F.C_0 - F.C - k.V.C^2 \quad (2.23)$$

$$V.\frac{dC}{dt} - C.\frac{dV}{dt} = F.C_0 - F.C - k.V.C^2 \quad (2.24)$$

Apabila $T = t - \check{T}$ waktu, menit

$$\check{T} = V/F \text{ konstanta waktu}$$

Pers. (24) menjadi

$$\frac{dC}{dt} = \frac{C_0}{\check{T}} - \frac{C}{\check{T}} - k.C^2 \quad (2.25)$$

Pada keadaan *steady state* $C=C_0$

Penyelesaian particular pers. (25) adalah $C - C_s$ dimana C_s adalah konsentrasi pada keadaan *steady*.

Substitusikan $C = C_s + 1/s$

Pers. (25) berubah menjadi persamaan differensial orde 1 yang mana dapat diselesaikan dengan metode faktor integrasi.

$$C = C_0 = \frac{1}{B \cdot \exp(AT) - \frac{K}{A}} \quad (2.26)$$

C_1 adalah konsentrasi awal tiap tahap kedua yaitu pada saat $t = \bar{T}$ yang diperoleh dengan pengukuran konsentrasi contoh.

c. Tahap Ketiga

Pada tahap ini proses berjalan dalam keadaan *steady state* dan akumulasi = 0 dari neraca komponen, diperoleh :

$$F \cdot C_0 = F \cdot C + V_r \quad (2.27)$$

$$F \cdot C_0 = F \cdot C + V \cdot k \cdot C_s^2 \quad (2.28)$$

$$C_0 = C_s + (V/F) \cdot k \cdot C_s^2 \quad (2.29)$$

$$k \cdot \bar{T} \cdot C_s^2 + C_s - C_0 = 0 \quad (2.30)$$

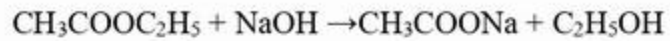
Apabila k diketahui maka C_s dapat diprediksikan. Sebaliknya apabila C_s diukur maka nilai k dapat dihitung. Pers. (30) merupakan persamaan aljabar biasa dan dapat diselesaikan dengan mudah.

2.3 Reaksi Saponifikasi

Saponifikasi secara umum didefinisikan sebagai reaksi hidrolisis ester oleh basa kuat yang menghasilkan garam asam karboksilat dan alkohol. Istilah ini paling dikenal dalam konteks pembuatan sabun, yaitu reaksi antara trigliserida (lemak) dengan NaOH atau KOH yang menghasilkan garam asam lemak (sabun) dan gliserol (Alum, 2024). Meskipun demikian, prinsip dasar saponifikasi adalah pemutusan ikatan ester oleh ion hidroksida. Mekanisme reaksi saponifikasi ester berlangsung melalui serangan nukleofilik ion hidroksida (OH^-) terhadap atom karbon karbonil pada gugus ester, membentuk intermediet tetrahedral yang kemudian terurai dengan melepaskan gugus alkoksida sebagai *leaving group*. Gugus alkoksida yang bersifat basa kuat selanjutnya mengambil proton dari asam karboksilat yang terbentuk, menghasilkan ion karboksilat (garam) dan alkohol sebagai produk akhir (Lestari *et al*, 2026).

Pada praktikum Reaktor Ideal Aliran Kontinyu (RIAK), reaksi saponifikasi yang dipelajari adalah reaksi antara etil asetat sebagai sumber gugus ester dengan

NaOH sebagai sumber ion hidroksida, menghasilkan natrium asetat dan etanol. Reaksi tersebut dituliskan sebagai berikut:



Dipilihnya etil asetat dan NaOH sebagai reaktan didasarkan pada kemudahan pengamatan laju reaksi, yaitu konsentrasi NaOH sisa yang belum bereaksi dapat ditentukan secara langsung melalui titrasi asam-basa menggunakan HCl.

Pada praktikum ini, percobaan dilakukan melalui dua tahap, yaitu percobaan pada reaktor *batch* dan reaktor kontinyu (CSTR). Data konsentrasi NaOH sisa yang diperoleh dari reaktor *batch* digunakan untuk menentukan orde reaksi dan konstanta laju reaksi (k) penyabunan etil asetat dengan NaOH, sebagaimana diuraikan pada subbab 2.7 dan 2.8. Sementara itu, data konsentrasi NaOH sisa yang diperoleh dari percobaan pada reaktor kontinyu digunakan untuk memvalidasi model matematis tersebut melalui penyelesaian numerik metode Runge-Kutta orde 4, sehingga dapat diketahui tingkat kesesuaian antara hasil percobaan dengan hasil perhitungan model. Pemahaman yang baik tentang laju reaksi ini memungkinkan dilakukannya optimasi terhadap kondisi operasi, seperti konsentrasi basa, suhu, dan waktu tinggal reaksi, guna memperoleh konversi reaktan yang lebih efisien (Pasaribu, 2022). Selain itu, data kinetika yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar dalam merancang dan mengendalikan operasi reaktor kontinyu (CSTR), sehingga proses dapat berlangsung secara stabil, aman, dan menghasilkan produk dengan kualitas yang konsisten.

2.4 Tinjauan Termodinamika

Secara reaksi: $\text{CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \text{NaOH} \rightarrow \text{CH}_3\text{COONa} + \text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

Untuk menentukan sifat reaksi apakah berjalan eksotermis/endotermis maka perlu membuktikan dengan menggunakan panas pembentukan standar (ΔH_f°) pada 1 atm dan 298 K dari reaktan dan produk.

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

Diketahui data sebagai berikut (Smith *et al.*, 2011)

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 = -445.500 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H \text{ NaOH} = -425.609 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H \text{ CH}_3\text{COONa} = -726.100 \text{ J/mol}$$

$$\Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = -235.100 \text{ J/mol}$$

Sehingga :

$$\Delta H \text{ reaksi} = (\Delta H \text{ CH}_3\text{COONa} + \Delta H \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}) - (\Delta H \text{ CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \Delta H \text{ NaOH})$$

$$= ((-726.100 - 235.100) - (-445.500 - 425.609)) \text{ J/mol}$$

$$= -90.091 \text{ J/mol}$$

Karena ΔH reaksi bernilai negatif maka reaksi yang berlangsung adalah reaksi eksotermis yang menghasilkan panas.



Untuk menentukan sifat reaksi apakah berjalan searah atau bolak-balik dapat diketahui dari nilai konstanta keseimbangan reaksi. Pada suhu kamar diperoleh data (Smith *et al.*, 2011):

$$\Delta G \text{ CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 = -328.000 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G \text{ NaOH} = -379.494 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G \text{ CH}_3\text{COONa} = -631.200 \text{ J/mol}$$

$$\Delta G \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH} = -168.490 \text{ J/mol}$$

Sehingga :

$$\Delta G \text{ reaksi} = (\Delta G \text{ CH}_3\text{COONa} + \Delta G \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}) - (\Delta G \text{ CH}_3\text{COOC}_2\text{H}_5 + \Delta G \text{ NaOH})$$

$$= (-631.200 - 168.490) - (-328.000 - 379.494) \text{ J/mol}$$

$$= -92.196 \text{ J/mol}$$

$$\frac{d}{dT} \left(\frac{\Delta G}{RT} \right) = \frac{\Delta H}{RT^2}$$

$$\Delta G = RT \ln K$$

$$K \text{ pada standar } 298 \text{ K} = e^{(\Delta G/RT)}$$

$$K = e^{\frac{-92.126}{0,314 \cdot 298}} = 1,45 \times 10^{16}$$

Dari data diatas dapat diperoleh nilai konstanta keseimbangan reaksi pada temperatur 298 K adalah $1,45 \times 10^{16}$. Pada temperatur operasi, harga K dihitung dari persamaan :

$$\ln \left(\frac{K}{K'} \right) = \frac{-\Delta H^0}{R} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_1} \right)$$

$$T = 27^\circ\text{C} \text{ (suhu ruang)} = 300 \text{ K}$$

$$\ln \left(\frac{1,45 \times 10^{16}}{K'} \right) = \frac{-(-90.091)}{8,314} \left(\frac{1}{300} - \frac{1}{298} \right)$$

$$K' = 1,13 \times 10^{16}$$

Karena harga konstanta keseimbangan tidak mendekati angka 1, maka reaksi berlangsung searah (*irreversible*).

2.5 Tinjauan Kinetika

Ditinjau dari kinetika reaksi, kecepatan reaksi saponifikasi etil asetat dengan NaOH akan makin besar dengan kenaikan suhu, adanya pengadukan dan perbedaan konsentrasi. Hal ini dapat dijelaskan oleh persamaan Arrhenius yaitu:

$$k = k_0 \cdot e^{-\left(\frac{E_A}{RT}\right)}$$

Dengan :

k = konstanta laju reaksi

k_0 = Faktor pre eksponensial atau frekuensi

T = Suhu

E_A = Energi aktivasi

R = Tetapan gas ideal

= 1,98 cal/gm-mol.K

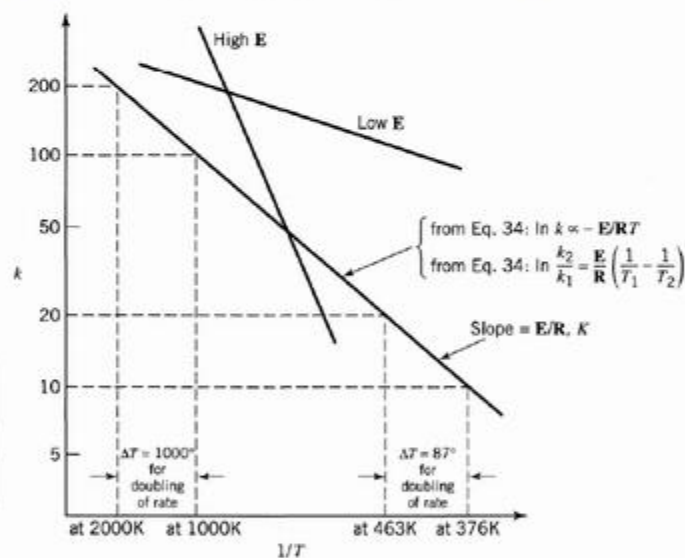
= 1,98 Btu/lb-mol.⁰R

= 82,06 cm³. Atm/gm-mol.K

Berdasarkan persamaan Arrhenius dapat dilihat bahwa konstanta laju reaksi dipengaruhi oleh nilai faktor frekuensi atau faktor eksponensial, suhu, dan energi aktivasi (Levenspiel, 1999).

a. Suhu

Suhu merupakan faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi saponifikasi etil asetat dengan NaOH. Efek suhu terhadap reaksi kecepatan reaksi saponifikasi dapat dilihat pada gambar berikut.



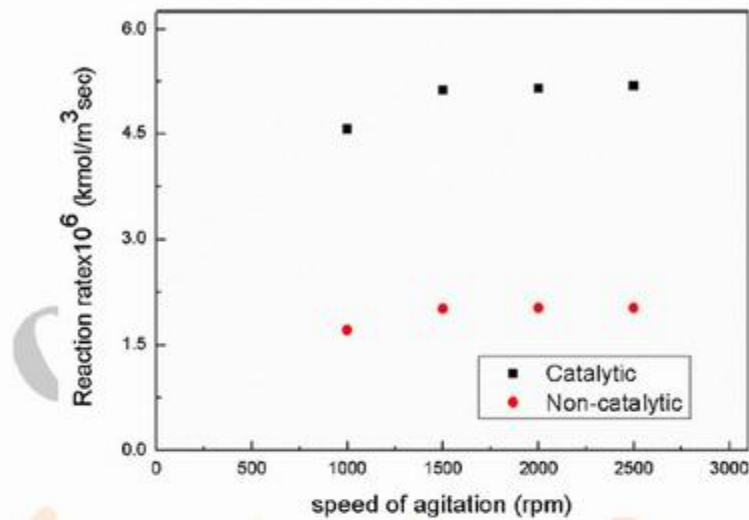
Gambar 2.2 Grafik suhu terhadap kecepatan reaksi

(Levenspiel, 1999)

Grafik menunjukkan hubungan antara laju reaksi (k) dan kebalikan suhu mutlak ($1/T$) berdasarkan persamaan Arrhenius, di mana laju reaksi meningkat secara eksponensial seiring peningkatan suhu. Dua garis dengan kemiringan berbeda menggambarkan sistem dengan energi aktivasi (E) yang tinggi dan rendah, menunjukkan bahwa reaksi dengan energi aktivasi lebih tinggi lebih sensitif terhadap perubahan suhu.

b. Pengadukan

Kecepatan pengadukan merupakan faktor yang mempengaruhi kecepatan reaksi saponifikasi etil asetat dengan NaOH. Efek kecepatan pengadukan terhadap reaksi kecepatan reaksi saponifikasi dapat dilihat pada grafik berikut.



Gambar 2.3 Grafik kecepatan pengadukan terhadap kecepatan reaksi

(Singh *et al.*, 2016)

Grafik menggambarkan pengaruh kecepatan pengadukan terhadap laju reaksi pada sistem katalitik dan non-katalitik. Terlihat bahwa laju reaksi meningkat dengan peningkatan kecepatan pengadukan hingga titik tertentu, kemudian cenderung stabil. Pada sistem katalitik, laju reaksi jauh lebih tinggi dibandingkan sistem non-katalitik, menunjukkan efektivitas katalis dalam mempercepat reaksi. Selain itu, peningkatan kecepatan pengadukan memiliki pengaruh yang lebih signifikan pada sistem katalitik, terutama pada kecepatan rendah, yang menunjukkan bahwa resistansi difusi eksternal berperan penting.

2.6 Sifat Fisis dan Kimia Reagen

1. NaOH

Sifat Fisis:

- Berat molekul = 40 g/mol
- Titik didih = 134°C
- Titik lebur = 318,4°C
- Berat jenis = 2,130 g/mol
- Kelarutan dalam 100 bagian air dingin 10°C = 42
- Kelarutan dalam 100 bagian air panas 100°C = 32

Sifat Kimia:

- Dengan $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ membentuk endapan $\text{Pb}(\text{OH})_2$ yang larut dalam reagen *excess*, merupakan basa kuat, dan mudah larut dalam air.

2. Etil Asetat

Sifat Fisis:

- Berat jenis = 1,356 g/mol
- Titik didih = 85°C
- Berat molekul = 88 g/mol
- Titik lebur = -111°C

Sifat Kimia:

- Merupakan senyawa ester yang terbentuk melalui reaksi esterifikasi antara etanol dan asam asetat, sehingga dapat mengalami reaksi hidrolisis, baik dalam suasana asam maupun basa.
- Merupakan pelarut semi-polar, volatil, tidak bersifat toksik, serta tidak bersifat higroskopis.

3. HCl

Sifat Fisis:

- Massa atom = 36,45 g/mol
- Massa jenis = 3,21 g/ml
- Titik leleh = -101°C
- Energi ionisasi = 1250 kJ/mol
- Kalor jenis = 0,115 kal/g $^\circ\text{C}$

Sifat Kimia:

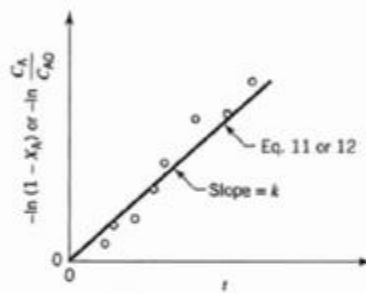
- HCl akan berasap tebal (berkabut asam) di udara lembab.
- Berwujud gas tidak berwarna dengan bau tajam dan menyengat.
- Dapat larut dalam alkali hidroksida, kloroform, dan eter.
- Bersifat asam kuat monoprotik yang terionisasi sempurna dalam air.
- Berafinitas besar sekali terhadap unsur-unsur lainnya sehingga dapat beracun bagi pernapasan.
- Bersifat korosif, dapat melarutkan berbagai logam membentuk garam klorida dan gas hidrogen.

2.7 Menentukan Orde Reaksi

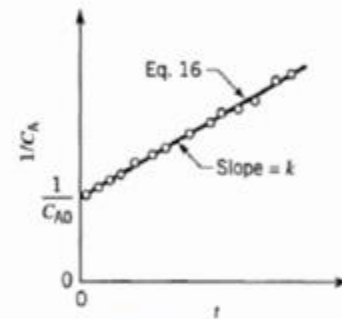
Secara Trial orde reaksi pada reaktor *batch* :

1. Diberikan data waktu (t) dan C_A , C_{A0} adalah C_A pada $t=0$
2. Membuat data $-\ln (C_A/C_{A0})$

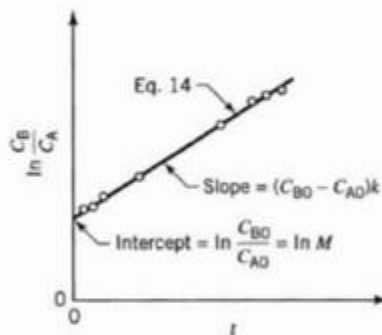
3. Menebak 'orde reaksi pertama' dengan membuat grafik $-\ln(C_A/C_{A0})$ vs t , hasil grafik harus lurus.
 - a. Jika hasil grafik tidak lurus maka menebak 'orde reaksi kedua' dari grafik antara $1/C_A$ vs t , hasil graik harus lurus (apabila $C_{A0} = C_{B0}$)
 - b. Jika hasil grafik tidak lurus maka menebak 'orde reaksi kedua' dari grafik antara $\ln C_B/C_A$ vs t , hasil grafik harus lurus (apabila $C_{A0} \neq C_{B0}$).
4. Membentuk persamaan $y = a + bx$, dimana $a = \text{intercept}$ dan $b = \text{slope}$ dari grafik $\log t$ vs $\ln C_{A0}$.



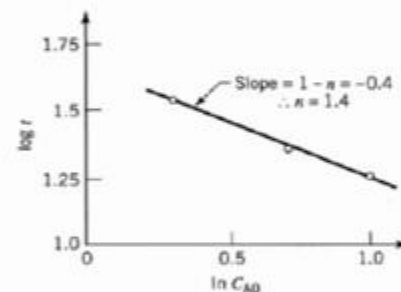
Gambar 2.4 Grafik *trial* orde 1



Gambar 2.5 Grafik *trial* orde 2
($C_{A0} = C_{B0}$)



Gambar 2.6 Grafik *trial* orde 2
($C_{A0} \neq C_{B0}$)



Gambar 2.7 Grafik *trial* orde n

Process Laboratory

2.8 Menghitung Harga Konstanta Reaksi Penyabunan (k) Etil Asetat dengan NaOH



Orde reaksi 1

$$-r_a = -\frac{dC_a}{dt} = k \cdot C_a$$

$$\int_{C_{a0}}^{C_a} -\frac{dC_a}{C_a} = \int_0^t k \cdot dt$$

$$-\ln[C_a]_{C_{a0}}^{C_a} = k \cdot t$$

$$-(\ln C_a - \ln C_{a0}) = k \cdot t$$

$$-\ln \frac{C_a}{C_{a0}} = k \cdot t$$

$$y = mx$$

Orde reaksi 2

Persamaan kecepatan reaksi jika $C_a = C_b$:

$$-r_a = -\frac{dC_a}{dt} = k \cdot C_a \cdot C_b$$

$$-\frac{dC_a}{dt} = k \cdot C_a^2$$

$$-\frac{dC_a}{dt} = k \cdot dt$$

$$\int_{C_{a0}}^{C_a} -\frac{dC_a}{C_a^2} = \int_0^t k \cdot dt$$

$$\left[\frac{1}{C_a} \right]_{C_{a0}}^{C_a} = k \cdot t$$

$$\frac{1}{C_a} - \frac{1}{C_{a0}} = k \cdot t$$

$$\frac{1}{C_a} = k \cdot t + \frac{1}{C_{a0}}$$

$$y = mx + c$$

Persamaan kecepatan reaksi jika $C_a \neq C_b$:

$$-r_a = -\frac{dC_a}{dt} = k \cdot C_a \cdot C_b$$

$$-r_a = -C_{a0} \frac{dX_a}{dt} = k(C_{a0} - C_{a0} \cdot X_a)(C_{b0} - C_{b0} \cdot X_a)$$

$$\frac{dX_a}{(1-X_a)(M-X_a)} = C_{a0} \cdot k \cdot t, \text{ dimana } M = \frac{C_{b0}}{C_{a0}}$$

$$\frac{1}{C_{a0}(M-1)} \int_0^{X_a} \frac{dX_a}{1-X_a} - \int_0^{X_a} \frac{dX_a}{M-X_a} = k \cdot t$$

$$\ln \frac{M-X_a}{M(1-X_a)} = C_{a0} \cdot (M-1)k \cdot t \text{ atau } \ln \frac{M-X_a}{M(1-X_a)} = (C_{a0} - C_{b0})k \cdot t$$

$$\ln \frac{M-X_a}{M(1-X_a)} = \ln \frac{C_b - C_{a0}X_a}{C_{b0}(1-X_a)}$$

$$\ln \frac{M-X_a}{M(1-X_a)} = \ln \frac{C_b C_{a0}}{C_{b0}(1-X_a)C_{a0}}$$

$$\ln \frac{M-X_a}{M(1-X_a)} = \ln \frac{C_b C_{a0}}{C_{b0} C_{a0}} = \ln \frac{C_b}{M \cdot C_a}$$

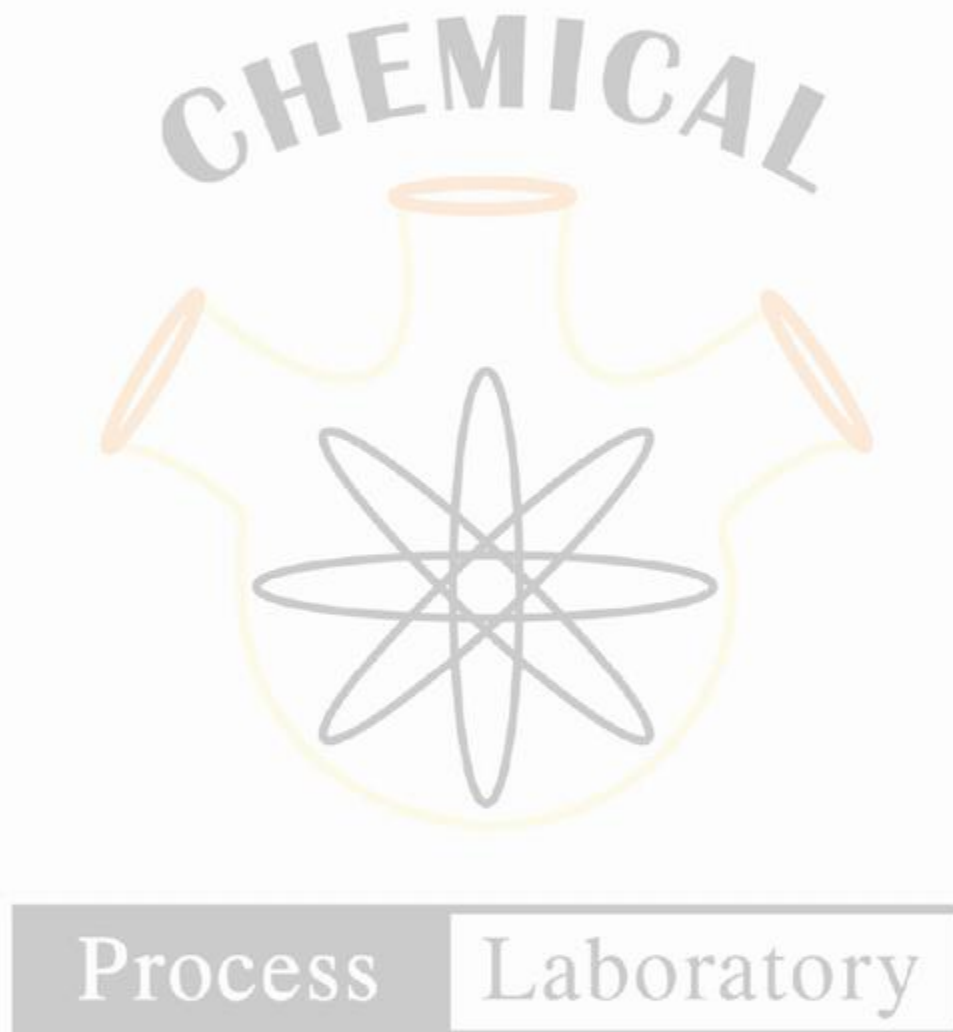
$$\ln \frac{C_b}{M \cdot C_a} = (C_{b0} - C_{a0})k \cdot t$$

$$\ln \frac{C_b}{C_a} = (C_{bo} - C_{ao})k \cdot t + \ln M$$

$$y = mx + c$$

Harga k didapat dari metode *least square*. Dimana harga k merupakan nilai dari m.

(Levenspiel, 1999)



BAB III

METODE PRAKTIKUM

3.1 Bahan dan Alat yang Digunakan

3.1.1 Bahan

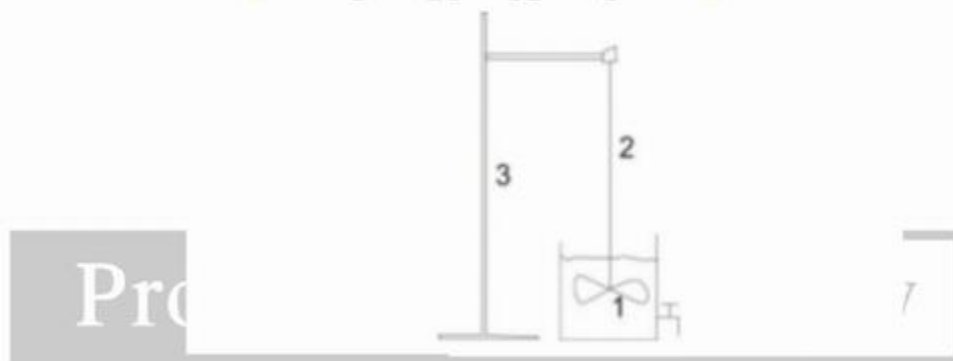
1. NaOH
2. Etil asetat
3. HCl
4. Indikator MO
5. *Aquadest*

3.1.2 Alat yang Digunakan

1. Pipet
2. Reaktor *batch*
3. Gelas ukur
4. Buret
5. Statif dan klem
6. Erlenmeyer
7. Rangkaian alat reaktor aliran kontinyu

3.2 Gambar Rangkaian Percobaan

a. Proses *batch*

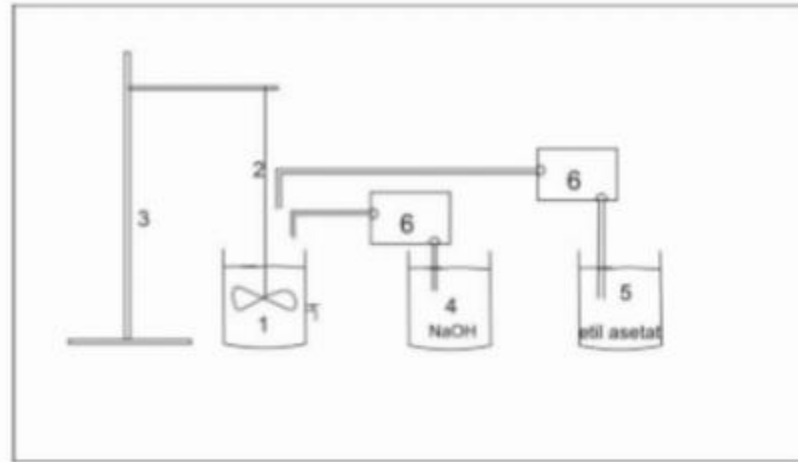


Gambar 3.1 Gambar alat utama proses *batch*

Keterangan:

1. Reaktor *batch*
2. *Stirrer*
3. Statif

b. Proses kontinyu



Gambar 3.2 Gambar alat utama proses kontinyu

Keterangan:

1. Reaktor kontinyu
2. *Stirrer*
3. Statif
4. Tangki reaktor

3.4 Respon Uji Hasil

Konsentrasi NaOH sisa yang dapat diamati dengan konsentrasi titran HCl sampai TAT (Titik Akhir Titrasi).

3.5 Prosedur Percobaan

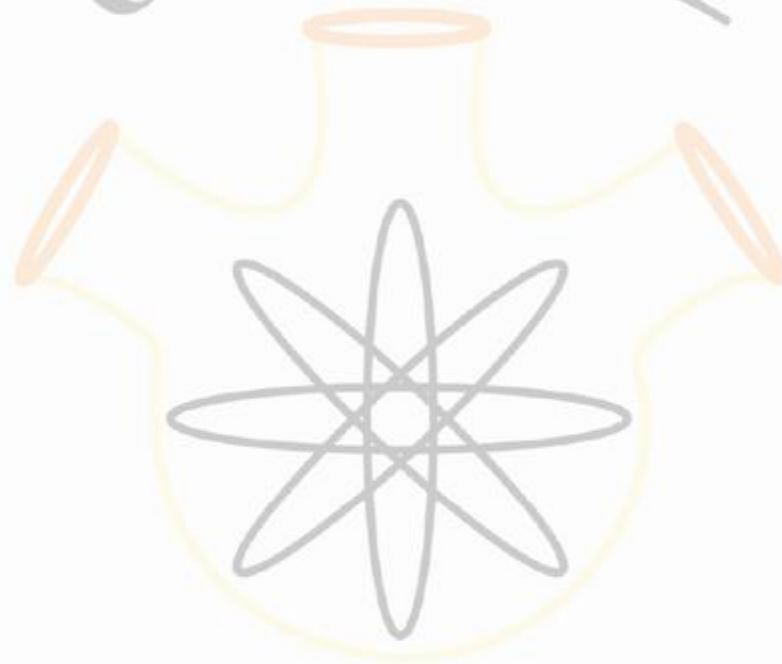
a. Percobaan *Batch*

1. Siapkan reagen yang dibutuhkan: etil asetat ... N, HCl ... N, dan NaOH ... N.
2. Memasukkan etil asetat ... N dan NaOH ... N dengan volume masing masing 1 liter.
3. Ambil sampel 5 ml tiap ... menit, kemudian tambahkan indikator MO 3 tetes ke dalam sampel dan titrasi dengan HCl ... N sampai warna merah orange. Titrasi dihentikan sampai volume titran yang digunakan 3 kali konstan.
4. Dengan perhitungan dapat diperoleh nilai C_A (konsentrasi NaOH sisa).
5. Lakukan langkah 1 sampai 4 dengan variabel yang berbeda.

b. Percobaan Kontinyu

1. Siapkan reagen yang dibutuhkan: etil asetat ... N, HCl ... N, dan NaOH ... N.

2. Memasukkan etil asetat dan NaOH ke dalam tangki umpan masing-masing.
3. Atur *valve* masing-masing reaktan ke dalam CSTR yang kosong dan menjaga konstan laju alirnya agar tetap sama.
4. Mengambil sampel 5 ml tiap ... menit, kemudian tambahkan indikator MO 3 tetes ke dalam sampel dan titrasi dengan HCl ... N sampai warna merah orange. Titrasi dihentikan sampai volume titran yang digunakan 3 kali konstan.
5. Dengan perhitungan dapat diperoleh nilai C_A (konsentrasi NaOH sisa).
6. Melakukan langkah 1 sampai 5 dengan dengan pengadukan sedang dan pengadukan cepat.



Process

Laboratory

DAFTAR PUSTAKA

- Alum, B. N. (2024). Saponification process and soap chemistry. *INOSR Applied Sciences*, 12(2), 51-56.
- Lestari, D. I., Sari, D. A., Putri, Z. P., & Maranggi, I. U. (2026). Kinetics of irreversible saponification reactions in terms of changes in reactant concentration: kinetika reaksi saponifikasi irreversible ditinjau dari perubahan konsentrasi reaktan. *Jurnal Kimia dan Rekayasa*, 6(2), 44-51.
- Levenspiel. O., 1999. *Chemical reaction Engineering 3rd ed*, Mc. Graw Hill Book Kogakusha Ltd, Tokyo.
- Pasaribu, M. H. (2022). Studi kinetika kimia pada reaksi saponifikasi etil asetat dengan metode titrasi dan konduktometri: chemical kinetic study on saponification reaction of ethyl acetate using titration and conductometric methods. *Jurnal Jejaring Matematika dan Sains*, 4(2), 58-64.
- Singh, G., Nakade, P. G., Mishra, P., Jha, P., Sen, S., & Mondal, U. (2016). Kinetic investigation on liquid-liquid-solid phase transfer catalyzed synthesis of dibenzyl disulfide with H₂S-laden monoethanolamine. *Journal of Molecular Catalysis A: Chemical*, 78 - 86.
- Smith, J. M. ,VanNess, H. C., Abbott, M. M. 2011. *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics*, 6th ed., McGraw-HillCo., Singapore

Process

Laboratory

IDENTIFIKASI BAHAYA DAN ANALISA RESIKO
MATERI: REAKTOR IDEAL ALIRAN KONTINYU

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				

					Pembuangan sisa NaOH , HCl , dan EtilAsetat	-Pastikan setiap bahan kimia tersebutdibuang secara terpisah -Selalu memakai perlengkapan lablengkap, seperti jas lab, gloves, sepatu, dan masker medis	-Cuci tangan jika terkena larutan terkait -Jika terluka atau perih segera memintapertolongan lebih lanjut
--	--	--	--	--	---	---	---



Process

Laboratory