

LAMPIRAN A

REAKTOR ESTERIFIKASI (R-01)

Tugas :Mereaksikan asam akrilat dan butanol menjadi n-butil akrilat dengan
kecepatan umpan = 3127,18075kg/jam

Jenis : Reaktor Alir Tangki Berpengaduk

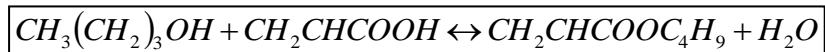
Kondisi Operasi :

Tekanan : 1 atm

Suhu : 80°C

A. Menghitung Kecepatan Volumetris Umpan

Persamaan reaksi



Diketahui :

Arus 1

Komponen	BM	Kmol/jam	massa kg/jam
C2H3COOH	72,0634	15,25216548	1099,122901
H2O	18	0,616791752	11,10225153
		15,86895723	1110,225153

Arus 2

Komponen	BM	Kmol/jam	massa kg/jam
C4H9OH	74,1224	15,2521	1130,527
H2O	18	0,31561	5,68104
		15,5677	1136,2081

Arus 3

Komponen	BM	Kmol/jam	massa kg/jam
C2H3COOH	72,0634	1,124834945	81,05943054
C4H9OH	74,1224	1,124834945	83,37546569
C2H3COOC4H9	128,1706	0,576172651	73,8483944
H2O	18	34,36080303	618,4944545
C18H30	322	0,054977438	17,70273498
C7H8O2	124,139	0,003565103	0,442568375
		37,24518811	874,9230484

Total Umpan Arus

Komponen	BM	Kmol/jam	massa kg/jam
C2H3COOH	72,0634	1,637700042	118,0182332
C4H9OH	74,1224	1,637700042	121,3902576
C2H3COOC4H9	128,1706	15,31547303	1962,993367
H2O	18	50,03250853	900,5851535
C18H30	322	0,07330325	23,60364664
C7H8O2	124,139	0,004753471	0,590091166
		68,70143836	3127,18075

1. Menghitung Konsentrasi Umpan

Reaktan pembatas pada reaksi ini adalah asam akrilat, maka asam akrilat adalah senyawa A dan butanol adalah senyawa B.

$$C_{A0} = \frac{molA}{\sum Fv} = 5,49 \text{ kmol/m}^3$$

2. Menghitung Harga Konstanta Kecepatan Reaksi

Asumsi :

- Reaksi Orde II
- Reaksi reversible
- Pengadukan sempurna sehingga konsentrasi keluar reaktor sama dengan konsentrasi di dalam reaktor,
- Kecepatan alir volumetrik (F_v)

masuk reaktor sama dengan kecepatan alir volumetrik keluar reaktor.

$$K_{eq} = \exp\left(\frac{2134}{T} - 1799\right)$$
$$K_{eq} = \exp\left(\frac{2134}{353} - 1799\right)$$

Dimana : k : Konstanta kecepatan reaksi esterifikasi,
 $\text{m}^3/\text{kmol}\cdot\text{jam}$

T : suhu reaktor

Maka : $k = 0,2286 \text{ kgmol/l}$

3. Menghitung Optimasi Reaktor

a) Reaktor 1

Komponen	BM(kmol/kg)	Kmol/jam	Kg/jam	densitas (ρ), kg/m ³	Fraksi mol	Densitas campuran(kg/m ³)
C ₂ H ₃ COOH	72,0634	16,377	1180,182	1303,174	0,238	310,650
C ₄ H ₉ OH	74,1224	16,377	1213,903	975,953	0,238	232,647
CH ₂ CHCOOC ₄ H ₉	128,1706	0,576	73,848	1267,722	0,008	10,632
H ₂ O	18	35,293	635,278	960,077	0,514	493,210
C ₁₈ H ₃₀	322	0,073	23,604	1093,021	0,001	1,166
MEHQ	124,139	0,005	0,590	1207,538	0,000	0,084
Total		68,701	3127,405	6807,486	1,000	1048,388

Menghitung volume :

$$\text{Volume (Fv)} = \frac{\text{Massa} = 2,983 \text{ m}^3/\text{jam}}{\rho \text{ mix}}$$

$$\text{Cao} = 5,49 \text{ Kg/m}^3$$

$$\text{Xa1} = 0,9$$

$$\text{K} = 0,2286 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Cbo} = 5,49 \text{ m}^3/\text{kgmol.jam}$$

$$\text{M} = 1$$

Untuk mencari waktu tinggal (t) pada multiple reaktor berlaku :

$$x_x = 1 - \left[\frac{1}{(1+kt)} \right]^n$$

$$1 - x_x = \left[\frac{1}{(1+kt)} \right]^n$$

$$(1 - x_x)^{1/n} = \left[\frac{1}{(1+kt)} \right]$$

$$(1+kt) = \frac{1}{(1 - x_x)^{1/n}}$$

$$kt = \frac{1}{(1 - x_x)^{1/n}} - 1$$

$$t = \frac{1}{k} \left[\frac{1}{(1 - x_x)^{1/n}} - 1 \right]$$

$$t = \frac{1}{k} \left[\frac{1}{(1 - x_n)^{1/n}} - 1 \right]$$

n : jumlah reaktor

Xn : konversi keluar reaktor ke-n

K : konstanta kecepatan

n	x_{A1}	x_{A2}	x_{A3}	x_{A4}	x_{A5}
1,000	0,900				
2,000	0,763	0,900			
3,000	0,672	0,837	0,900		
4,000	0,606	0,786	0,861	0,900	

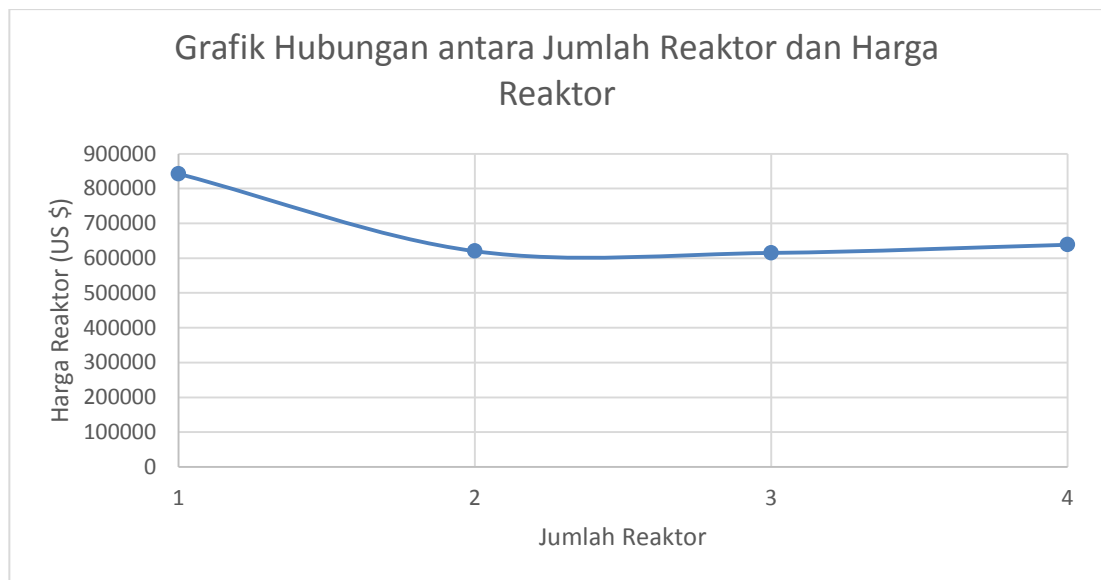
n	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
1,000	213,925				
2,000	32,446	32,446			
3,000	14,868	14,868	14,868		
4,000	9,277	9,278	9,277	9,277	

n	V	1,2 x V
1,000	213,925	256,710
2,000	32,446	38,935
3,000	14,868	17,841
4,000	9,277	11,133

Dari persamaan waktu tinggal (t) diperoleh waktu tinggal reaktor : 1,97 jam

Menghitung jumlah harga :

n	V (m ³)	V (gal)	Harga @ (US \$)	Harga alat (US \$)
1,000	256,710	67815,672	842200,000	842200,000
2,000	38,935	10285,521	310000,000	620000,000
3,000	17,841	4713,125	205000,000	615000,000
4,000	11,133	2941,022	159600,000	638400,000



Berdasarkan hasil optimasi reaktor pada reaktor 1 didapatkan optimasi reaktor dengan harga efisien yaitu menggunakan 3 reaktor dengan volume shell reaktor : 17,8441 m³

B. Perancangan Reaktor

1. Menghitung Volume dan Ukuran reaktor

Anggapan :

- Volume cairan selama reaksi tetap
- Bisa dianggap isothermal karena cairan dalam tangki mixed flow
- Reaksi sederhana orde dua



dengan $-r_a = -dCA/dt = k.CA$

Kondisi Awal :

Konsentrasi awal $C_2H_3COOH = 5,49 \text{ kmol/m}^3$

Konsentrasi awal $C_4H_9OH = 5,49 \text{ kmol/m}^3$

Perbandingan konsentrasi = 1

Konversi Reaktor (X_a) = 0,9

Kecepatanlajualirvolumetrik (F_v) = 2,994 m^3/jam

$F_v = \frac{\text{Massa, } \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}{\text{Densitas, } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$
--

Menghitung volume reaktor :

$$V = F_v \cdot t$$

$$= 17,841 \times 1,97 \text{ m}^3$$

$$= 35,1437 \text{ m}^3$$

Menghitung ukuran reaktor :

$$(D) = [Vt / (\pi / [4 (h / [d] + \pi / 12)])]^{1/3}$$

$$= 2,912 \text{ m}$$

Reaktor berbentuk silinder tegak dengan perbandingan

$$H : D = 1,48 : 1 \text{ (} Brownell \ \& \ Young, \ table \ 3.3, \ p.43 \)$$

$$\text{Tinggi (H) } = 1,48 \times 2,912 \text{ m}$$

$$= 4,222 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume cairan dalam head} &= (1/2)(\pi/12)(D)^3 \\ &= 3,23 \text{ m}^3 \\ \text{Volume cairan dibadan Reaktor} &= (V/1000) - V_{\text{head}} \\ &= 31,914 \text{ m}^3 \\ \text{Tinggi cairan dibadan Reaktor} &= (V \text{ cairan Reaktor} / 6,655) \\ &= 4,795 \text{ m} \end{aligned}$$

2. Menentukan Tebal Dinding (*Shell*) dan Head Reaktor

Tebal *shell* :

Digunakan *Stainless Steel Type SA 167 grade 3*

(*Brownell & Young*)

$$\begin{aligned} \text{Tekanan Operasi (pt)} &= 17,64 \text{ psi} \\ \text{Tekanan design (pd)} &= 21,17 \text{ psi} \\ \text{Allowable stress} &= 18750 \text{ psi} \\ \text{Efisiensi sambungan} &= 0,85 \\ \text{Faktor korosi} &= 0,125 \text{ in} \\ \text{Jari-jari Reaktor} &= 57,3195 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{shell}} &= (p \cdot ri) / (S \cdot e - 0,6 \cdot p) + C \\ &= 0,201 \text{ in} \end{aligned}$$

Dipilih *t shell* standard 1/4 in

$$T_s = t_b = 0,201 \text{ in}$$

Dipilih *t_b* standard 1/4 in

$$T_{\text{head}} = (0,885 \cdot p \cdot d) / (2 \cdot S \cdot e - 0,1 \cdot p) + c$$

$$=(0,885 \cdot 21 \cdot 57,319)/(2 \cdot 18750 \cdot 0,85 - 0,1 \cdot 21,2)+0,125$$

$$= 0,192\text{in}$$

Dipilih *t head* standard 1/4in

3. Menghitung Pengaduk dalam Reaktor

Dipilih : Pengaduk tipe marine dengan 3 *blade* jumlah *buffle* 4.

Dari *fig 477. brown*, diperoleh :

$$Dt/Di = 3$$

$$Zi/Di = 0,75-1,3$$

$$zl/Di = 2,7-3,9$$

$$W/Di = 0,1$$

$$\text{Diameter Impeler} = 0,971 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi Impeler} = 1,564\text{m}$$

$$\text{Lebar Buffle} = 0,291\text{m}$$

$$\text{Putaran} = 2,5 \text{ rps}$$

$$\text{Efisiensi motor} = 80 \%$$

Tinggi *buffle* diambil sama dengan tinggi cairan.

Bilangan Reynold dalam Reaktor :

$$Re = \frac{N \times Di^2 \times \rho}{\mu} \quad (\text{Brown, p.508})$$

$$= \frac{2,5 \times 0,97^2 \times 1,112}{0,0089}$$

$$= 294,269$$

Darifig. 477 *Brown* diperoleh $N_p = P_o$

$$N_p = P_o = 0,9$$

$$P = \frac{P_o \times \rho \times N^3 \times D_i^5}{gc}$$

$$= \frac{0,9 \times 69,371 \times 2,5^3 \times 3,184^5}{550 \times 32,17}$$

$$= 18,031 \text{ Hp}$$

Effisiensi : 80 %

$$Power = \frac{P}{eff} = \frac{18,031}{0,8}$$

$$= 13,057 \text{ Hp}$$

Digunakan motor dengan daya = 25HP

4. Neraca Panas

a. Enthalpi massa masuk

Suhu Umpan masuk Reaktor = 30°C

(umpan 1) :

Suhu Umpan Masuk

Reaktor 80 C 353 K

Suhu referensi 25 C 298 K

<i>Komponen</i>	<i>BM</i>	<i>Kmol/jam</i>	$\int CP dT$	$H = massa \times \int CP dT$
C2H3COOH	72,0634	15,25216	35491,100	541316,128
H2O	18	0,616791	28986,853	17878,852

H 1 = 559194,9799

Kcal/jam

(umpan 2)

Suhu Umpan Masuk Reaktor	80 C	353 K
Suhu referensi	25 C	298 K

<i>Komponen</i>	<i>BM</i>	<i>Kmol/jam</i>	$\int CP dT$	$H = \text{massa} \times \int CP dT$
C4H9OH	74,1224	15,252	48502,299	739765,093
H2O	18	0,316	28986,853	9148,639

H 2 = 748913,732 Kcal/jam

(umpan 3)

Suhu Umpan Masuk Reaktor	80 C	353 K
Suhu referensi	25 C	298 K

Komponen	BM	Kmol/jam	$\int CP dT$	$H = \text{massa} \times \int CP dT$
C2H3COOH	72,0634	1,125	35491,100	39921,629
C4H9OH)	74,1224	1,125	48502,299	54557,081
C2H3COOC4H9	128,1706	0,576	75298,406	43384,882
H2O	18	34,361	28986,853	996011,563
C18H30 (DBSA)	322	0,055	151028,416	8303,155
C7H8O2 MEHQ	124,139	0,004	59643,415	212,635

H 3 = 1142390,946 Kcal/jam

b. Enthalpi hasil reaksi :

Suhu hasil reaksi keluar Reaktor = 80°C

Suhu reaksi keluar Reaktor 80 C 353 K

Suhu referensi 25 C 298 K

<i>Komponen</i>	<i>BM</i>	<i>Kmol/jam</i>	$\int CP dT$	$H = \text{massa} \times \int CP dT$
C2H3COOH	72,063	1,638	35491,100	58123,776
C4H9OH	74,122	1,638	48502,299	79432,217
C2H3COOC4H9	128,171	15,315	75298,406	1153230,701
H2O	18,000	50,033	28986,853	1450284,994
C18H30	322,000	0,073	151028,416	11070,874
C7H8O2	124,139	0,005	59643,415	283,513

H 4 = 2752426,075 Kcal/jam

C. Panas Reaksi :

Dari data Literatur diperoleh :

Panas Pembentukan C3H4O2 = -80,33 Kcal/gmol

Panas Pembentukan C4H9OH = -65,56 Kcal/gmol

Panas Pembentukan C2H3COOC4H9 = -57,77 Kcal/gmol

Panas Pembentukan H2O = -94,38 Kcal/gmol

Panas reaksi pada suhu 25°C:

$\Delta H_{R,298} = \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan}$

$= (\Delta H_f \text{ C}_2\text{H}_3\text{COOH} + \Delta H_f \text{ C}_4\text{H}_9\text{OH}) - (\Delta H_f \text{ H}_2\text{O} + \Delta H_f \text{ C}_2\text{H}_3\text{COOC}_4\text{H}_9)$

$$= -6,257 \text{ KCal/gmol}$$

$$\text{Panas Reaksi total} = dH_{Ro} \cdot N_{Ao} \cdot X_a$$

$$= -1173206,907 \text{ kcal/jam}$$

Jadi :

Total enthalpi Masuk (H in)=	2450499,657	Kcal/Jam
Total enthalpi Keluar (H out)=	2752426,075	Kcal/jam
Panas Reaksi (Qr)=	-1173206,907	Kcal/jam

Input – output = Accumulation

$$\text{Panas Masuk} - (\text{Panas keluar} + \text{panas reaksi} + \text{panas dibuang}) = 0$$

$$\text{Panas yang dibutuhkan (Qt)} = (\text{H out} + \text{Qr}) - \text{H in}$$

$$= 871280,489 \text{ Kcal/J}$$

Neraca Panas :

Masuk	Keluar
1. Enthalpi umpan masuk I	1. Enthalpi hasil reaksi
559194,9799 Kcal/jam	2752426,075 Kcal/jam
2. Enthalpi umpan masuk II	2. Panas reaksi
748913,7319 Kcal/jam	871280,489 Kcal/jam
2. Enthalpi umpan masuk III	3623706,564 Kcal/jam
1142390,946 Kcal/jam	
4. Beban panas Reaktor	
1173206,907 Kcal/jam	
3623706,564 Kcal/jam	

5. Menghitung perpindahan panas

Dipilih pemanas *coil* dengan media pemanas *steam* dengan

Suhu 30⁰C Tekanan 14,7 psi

Kebutuhan *Steam* Pemanas $W_a = Q/Hfg$

Dengan : Q : Jumlah Panas yang dibutuhkan = 871280,489 kcal/j

Hfg : Panas *Latent Steam* = 517,643 kcal/kgC

= 871280,489/(517,643)

= 1683,1687 kg/j

Pemilihan diameter pipa *coil*

- Kecepatan massa pemanas = 1683,1687kg/j

- Densitas pemanas = 1,481 kg/m³

QV= kecepatan massa pemanas / densitas pemanas

= 1136,5082 m³/j

= 0,3157 m³/s

Dari tabel hal 159 *Coulson & Richardson*, 1987

diperoleh kecepatan linier pemanas dalam pipa = 250 m/dt

Luas Penampang :

A= QV/kecepatan linier

= 0,00126 m²

Diameter pipa *coil* :

$D_i = (A/\pi)^{0,5}$

$$= 0,0401 \text{ m}$$

$$= 1,579 \text{ in}$$

Dipilih diameter pipa *coil* 2 inches, 40 NPS

Dari tabel 11. *Kern* :

OD =	2,38 in
ID =	2,067 in
At =	3,35 in ²
At' =	0,542

a. Menghitung koefisien transfer panas

$$h_c = (0,87 \cdot k) / D \left[(L \cdot D_b \cdot Vt) / \mu L \right]^{2/3} \left[(C_p \cdot \text{visc}) / k \right]^{1/3} \left[\text{visc} / \text{visc}_w \right]^{0,14}$$

dengan :

Koeff. Transfer panas cairan,

$h_c =$	Btu/sqft j F
$D_i =$	Diameter RATB = 0,1316 ft
$k =$	Konduktivitas panas = 0,397 Btu/j sqft (F/ft)
$\text{den} =$	densitas larutan = 69,37073 lb/cuft
$C_p =$	panas jenis = 0,64 Btu/lb F
$\text{visc} =$	Viskosita cairan = 2,1538 lb/j ft
$\text{visc}_w =$	Viskositas air = 1,5 lb/j ft

Maka diperoleh $h_c = 6213,1355 \text{ Btu/jsqft F}$

b. Pemanas dalam *coil*

$$Re = (D \cdot wa \cdot 2,2) / (viscw \cdot at)$$

$$= 7553,0196$$

$$\text{Condensation of steam} = 1500$$

$$D \text{ coil} = (\text{Diameter reaktor} + \text{Diameter impeller})$$

$$= 1,941 \text{ m}$$

$$= 6,4109 \text{ ft}$$

c. *Overroll heat transfer* U_d

$$U_c = (h_{i0} \times h_o) / (h_{i0} + h_o)$$

$$= 1208,2898 \text{ Btu/jsqft F}$$

$$U_d = U_c / (U_c \times R_d + 1)$$

$$\text{Maka diperoleh } U_d = 429,6241 \text{ Btu/jsqft F}$$

d. Menghitung luas transfer panas

Luas perpindahan panas yang diperlukan:

$$Dt = T_{\text{coil}} - T_{\text{reaktor}} = 80 - 30 = 50 \text{ } ^\circ\text{C} = 122 \text{ } ^\circ\text{F}$$

maka luas perpindahan panas :

$$A_0 = Q / (U_d \times \text{LMTD})$$

$$= 65,9642 \text{ sqft}$$

$$\text{Diameter lilitan} = 6,410 \text{ ft}$$

Luas perpindahan panas per *coil* :

$$A' = A_t' \times n \times D_c$$

$$= 10,9105$$

Jumlah lilitan :

$$N_t = A_0 / A_t'$$

$$= 6,0459$$

Diambil jumlah lilitan (n_t) = 7 lilitan

Panjang Total *Coil* :

$$L = \pi (A_t') = 65,964 / 0,542$$

$$= 121,7053 \text{ ft}$$

Tinggi lilitan *coil* minimum yaitu jika disusun tanpa jarak

$$H_{\min} = N_t \times OD = 7 \times 2,38/12$$

$$= 1,4 \text{ in}$$

$$= 0,1156 \text{ ft}$$

Diambil jarak antar *coil* = 1,5 ft

Tinggi *coil* total :

$$H = H_{\min} + (N_t - 1) \cdot Pt/12 = 0,1156 + (7-1) \cdot 1,5/12$$

$$= 0,8656 \text{ ft}$$

$$= 0,2638 \text{ m}$$

Jadi Tinggi cairan lebih tinggi dari tinggi *Coil*