

LAMPIRAN A

REAKTOR

A. Reaktor 01

Jenis	: Reaktor <i>Fixed Bed Multitube</i>
Fungsi	: Tempat berlangsungnya reaksi antara benzena dan etilen menjadi <i>ethylbenzene</i> .
Kondisi Operasi	: Suhu = 350°C Tekanan = 20 atm Reaksi = Eksotermis
Katalis	: ZSM-05
Tujuan	: <ol style="list-style-type: none"> 1. Menentukan jenis reaktor 2. Menghitung pressure drop 3. Menghitung berat katalis 4. Menghitung waktu tinggal dalam reaktor 5. Menentukan dimensi reaktor

Reaksi yang terjadi didalam reaktor:

Reaksi Utama : $C_2H_4 + C_6H_6 \rightarrow C_8H_{10}$

1. Menentukan jenis reaktor

Dipilih reaktor fixed bed multitube dengan pertimbangan sebagai berikut:

- a. Zat pereaksi berupa fasa gas dengan katalis padat
- b. Umur katalis panjang 12-15 bulan

- c. Reaksi eksotermis sehingga diperlukan luas perpindahan panas yang besar agar kontak dengan pendingin berlangsung optimal
- d. Tidak diperlukan pemisahan katalis dari gas keluaran reaktor
- e. Pengendalian suhu relatif mudah karena menggunakan tipe shell and tube

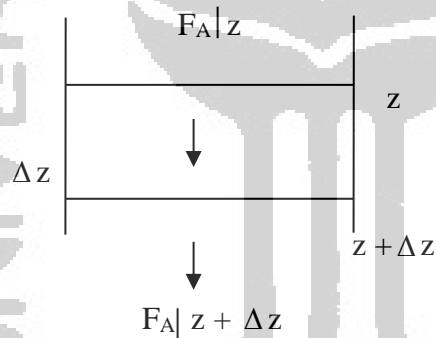
(Hill, hal 425-431)

2. Persamaan – persamaan Matematis Reaktor

a. Neraca massa reaktor

Reaksi berlangsung dalam keadaan steady state dalam reaktor setebal ΔZ dengan konversi X. Neraca massa CH_3OH pada elemen volume :

Input – Output – Yang bereaksi = 0



Input - Output - Yang Bereaksi = 0

$$F_A|_z - (F_A|_{z+\Delta Z} + (-r_a) \Delta v) = 0$$

$$\Delta v = \frac{\pi D_i^2}{4} \varepsilon \Delta Z$$

Δv = volume gas diantara katalis pada elemen volum

$$F_A|_z - F_A|_{z+\Delta Z} - (-r_a) \pi/4 D_i^2 \varepsilon \cdot \Delta Z = 0$$

$$\frac{F_A|_{z+\Delta Z} - F_A|_z}{\Delta Z} = (-r_a) \pi/4 D_i^2 \varepsilon$$

ΔZ

$$\frac{-F_A}{\Delta Z} = \frac{-r_A \pi D_i^2}{4} \varepsilon$$

Dimana $F_A = -F_{A0} (1 - X_A)$

$$\Delta F_A = -F_{A0} \cdot \Delta X_A$$

$$F_{A0} \cdot \frac{\Delta X_A}{\Delta Z} = \frac{-(r_A) \pi D_i^2}{4} \varepsilon$$

$$\frac{\Delta X_A}{\Delta Z} = \frac{-(r_A) \pi D_i^2}{4 F_{A0}} \varepsilon$$

$$\lim_{\Delta Z \rightarrow 0} \frac{\Delta X_A}{\Delta Z} = \frac{dX_A}{dz} = \frac{-(r_A) \pi D_i^2}{4 F_{A0}} \varepsilon$$

$$\frac{dX_A}{dz} = \frac{-(r_A) \pi D_i^2}{4 F_{A0}} \varepsilon$$

dimana : $\frac{dX_A}{dz}$ = perubahan konversi persatuan panjang

ε = porositas

$(-r_A)$ = kecepatan reaksi = $k C_A \cdot C_B$

Z = tebal tumpukan katalisator

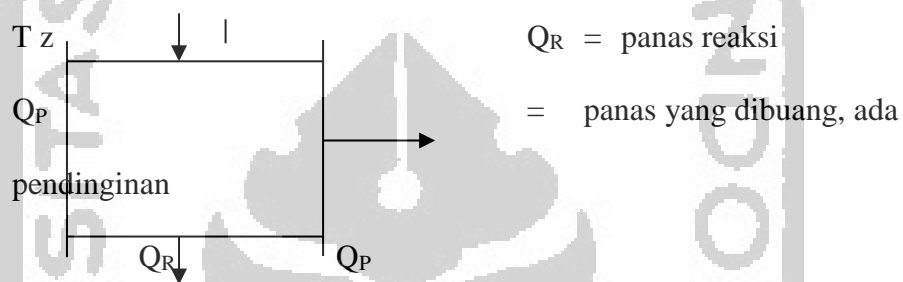
D_i = diameter dalam pipa

Tabel 1 Komposisi Dengan Perhitungan Kapasitas Reaktor 1

Input	Massa, Kg/Jam	Output	Massa, Kg/Jam
Etilene	3.922,8764	Etilene	11,5415
Etana	7,8458	Etana	7,8458
Metana	11,7686	Metana	11,7686
Benzene	76.467,4194	Benzene	67.313,1264
Toluene	76,4674	Toluene	76,4674

EB	23,9801	EB	10.325,6925
DEB	0,0000	DEB	2.425,4226
TEB	0,000	TEB	338,4930

b. Neraca panas elemen volume



$T_z + \Delta z$

Input - Output = Acc

$$\sum m.C_p (T_z - T_o) - [(\sum m.C_p) (T_{z+\Delta z} - T_o) + Q_R + Q_P]$$

$$\sum m.C_p (T_z - T_{z+\Delta z}) = Q_R + Q_P$$

$$(\sum m.C_p) (-\Delta T) = Q_R + Q_P$$

$$Q_R = \Delta H_R F_{A_0} \Delta X_A$$

$$Q_P = UA (T - T_s)$$

$$A = \pi D_o \Delta z$$

$$Q_P = U \pi D_o \Delta z (T - T_s)$$

$$(\sum m.C_p) (-\Delta T) = \Delta H_R \cdot F_{A_0} \cdot \Delta X_A + U \cdot \pi \cdot D_o \cdot \Delta Z (T - T_s)$$

: ΔZ

$$(\Sigma m.Cp) \left(\frac{-\Delta T}{\Delta Z} \right) = \Delta H_R \cdot F_{ao} \cdot \left(\frac{\Delta X_A}{\Delta Z} \right) + U \cdot \pi \cdot D_o \cdot \Delta Z (T - T_s)$$

$$\left(\frac{-\Delta T}{\Delta Z} \right) = \frac{\Delta H_R \cdot F_{ao} \cdot \left(\frac{\Delta X_A}{\Delta Z} \right) + U \cdot \pi \cdot D_o \cdot \Delta Z (T - T_s)}{(\Sigma m.Cp)}$$

$$(\Sigma m.Cp)$$

$$\lim_{\Delta Z \rightarrow 0}$$

$$\frac{dT}{dZ} = \frac{\Delta H_R \cdot F_{ao} \cdot \left(\frac{dX_A}{dZ} \right) + U \cdot \pi \cdot D_o \cdot \Delta Z (T - T_s)}{(\Sigma m.Cp)}$$

$$(\Sigma m.Cp)$$

Dimana:

$$\frac{dT}{dZ} = \text{Perubahan Suhu persatuan panjang katalis}$$

$$\Delta H_R = \text{Panas Reaksi}$$

$$U = \text{Overall heat transfer coefficient}$$

$$D_o = \text{Diameter luar}$$

$$T = \text{Suhu gas}$$

$$T_s = \text{Suhu penelitian}$$

$$T_s = \text{Kapasitas panas}$$

c. Neraca panas untuk pendingin

Pendingin yang dipakai adalah Dowtherm A yang stabil pada suhu 94 – 420 °C

Komposisi Dowtherm A : - 73,5 % Diphenyl Oxyde

- 26,5 % Diphenyl

Sifat-sifat fisis Dowtherm A (T dalam K) dari Hydrocarbon Processing.

$$C_p = 0.1152 + 0.0003402 T \text{ cal/gr.K}$$

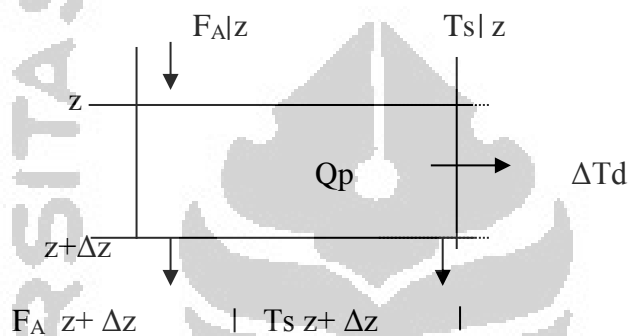
$$\rho = 1.3644 - 9.7073 \cdot 10^{-4} T \text{ g/cm}^3$$

$$\mu = 35.5898 - 6.04212 T \text{ (g/cm.J)}$$

$$k = 1.512 - 0.0010387 T \text{ cal/g.cm.K}$$

Aliran pendingin dalam reaktor searah dengan aliran gas

Neraca Panas pada elemen volum



$$m_p \cdot C_{pp} (T_s|_z - T_o) + Q_p - m_p \cdot C_{pp} (T_s|_{z+\Delta z} - T_o) = 0$$

$$m_p \cdot C_{pp} (T_s|_z - T_s|_{z+\Delta z}) = -Q_p$$

$$(T_s|_z - T_s|_{z+\Delta z}) = - \frac{U \cdot \pi \cdot D_o \cdot \Delta z \cdot (T - T_s)}{(m \cdot C_p)_p}$$

$$(T_s|_z - T_s|_{z+\Delta z}) / \Delta z = - \frac{U \cdot \pi \cdot D_o \cdot (T - T_s)}{(m \cdot C_p)_p}$$

$$-(T_s|_{z+\Delta z} - T_s|_z) / \Delta z = - \frac{U \cdot \pi \cdot D_o \cdot (T - T_s)}{(m \cdot C_p)_p}$$

$$\frac{\Delta T_s}{\Delta Z} = \frac{U \cdot \pi \cdot D_o \cdot (T - T_s)}{(m \cdot C_p)_p}$$

$$\lim \Delta Z \rightarrow 0$$

$$\frac{dT_s}{dZ} = \frac{U \cdot \pi \cdot D_o (T - T_s)}{(m \cdot C_p) p}$$

d. Penurunan tekanan

Dalam pipa = penurunan tekanan dalam pipa berisi katalisator (Fixed bed)

digunakan rumus 11.6 (chapter 11 hal 492 “ Chemical Reactor Design

For Process Plants”.

$$\frac{dP}{dZ} = \frac{G}{\rho g D_p} \cdot \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon^3} \cdot \left[\frac{150(1 - \varepsilon)\mu}{D_p} + 1,75G \right]$$

Dimana :

G = Kecepatan aliran massa gas dalam pipa, gr/cm^3

ρ = Densitas gas, gr/cm^3

D_p = Densitas partikel katalisator, cm

G = Gaya Gravitasi, cm/det^2

ε = Porosity tumpukan katalisator

μ = Viskositas gas, gr/cm jam

3. Data – data sifat fisis bahan

a. Menentukan umpan Y_i masuk**Tabel 2 Umpan Y_i Masuk Reaktor 1**

Komponen	Bmi	Massa	Mol	y_i
	(kg/kmol)	(kg/jam)	(kmol/jam)	
Etilene	28,05	3.922,8764	139,85	0,0487
Etana	30,07	7,8458	0,26	0,0001
Metana	16,04	11,7686	0,73	0,0001
Benzene	78,11	76.467,4194	978,97	0,9498
Toluene	92,13	76,4674	0,83	0,0009
EB	106,16	23,9801	0,23	0,0003
Total		80.510,3577	1120,87	1,0000

b. Menentukan volume gas reaktor

$$PV = nRT$$

$$n = 311,35 \text{ mol/dtk}$$

$$R = 82,05 \text{ atm.cm}^3/\text{mol.}^\circ\text{K}$$

$$P = 20 \text{ atm}$$

$$V = \frac{nRT}{P} = 795.968 \text{ cm}^3/\text{dtk}$$

c. Menentukan densitas umpan

$$\rho = \frac{P \cdot BM}{RTZ} = \frac{(18 \text{ atm}) \left(71,83 \frac{\text{gr}}{\text{mol}}\right)}{\left(82,05 \text{ atm} \cdot \frac{\text{cm}^3}{\text{mol} \cdot \text{K}}\right) (623\text{K})(0,9116)} = 0,03082 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3}$$

d. Menentukan viskositan umpan

$$\mu_{gas} = A + BT + CT^2$$

Tabel 3 Data Viskositas Umpan Masuk Reaktor 1

Komponen	A (mikropoise)	B (mikropoise)	C (mikropoise)
Etilene	-3,985	0,387260	-0,000112
Etana	0,514	0,334490	-0,000071
Metana	3,844	0,401120	-0,000143
Benzene	-0,151	0,257060	-0,000009
Toluene	1,787	0,235660	-0,000009
EB	-4,267	0,247350	-0,000054

(Chemical properties handbook, Mc Graw-hill Carl L. yaws)

Tabel 4 Perhitungan Viskositas Umpan Masuk Reaktor 1

Komponen	Yi	μ_{gas}	μ_{gas}	μ_{gas}	μ_{gas}
		(mikropoise)	(kg/s.m)	(kg/jam.m)	(lb/ft.jam)
Etilene	0,1248	193,7398	0,000019	0,0697	0,000017
Etana	0,0002	181,3534	0,000018	0,0653	0,000016
Metana	0,0007	0,0000	0,000020	0,0714	0,000017
Benzene	0,8734	156,5490	0,000016	0,0564	0,000014

Toluene	0,0007	145,0075	0,000015	0,0522	0,000013
EB	0,0002	128,7976	0,000013	0,0464	0,000011
Total	1,0000	1.003,7084	0,000100	0,3613	0,000087

Tabel 4 Perhitungan Viskositas UmpanMasuk Reaktor 1 (lanjutan)

Komponen	$y_i \cdot \mu_{\text{gas}}$ (kg/s.m)	$y_i \cdot \mu_{\text{gas}}$ (kg/jam.m)	$y_i \cdot \mu_{\text{gas}}$ lb/ft.jam	η gas Mikropoise
Etilene	0,000002417	0,008702	0,000002106	24,1732
Etana	0,000000004	0,000015	0,000000004	0,0422
Metana	0,000000013	0,000047	0,000000011	0,1298
Benzene	0,000013673	0,049223	0,000011912	136,7298
Toluene	0,000000011	0,000039	0,000000009	0,1074
EB	0,000000003	0,000009	0,000000002	0,0260
Total	0,000016121	0,058035	0,000014044	161,2083

$$\mu_{\text{gas}} = 0,000016 \text{ kg/m.s}$$

$$= 0,00016 \text{ g/cm.s}$$

e. Menentukan konduktivitas gas umpan

$$k_{\text{gas}} = A + BT + CT^2$$

Tabel 5 Data Konduktivitas Umpan Masuk Reaktor 1

Komponen	A	B	C
Etilene	- 0,00123	3,622E-05	1,246E-07
Etana	- 0,01936	1,255E-04	3,830E-08
Metana	- 0,00935	1,403E-04	3,318E-08
Benzene	- 0,00565	3,449E-05	6,930E-08
Toluene	- 0,00776	4,491E-05	6,451E-08
EB	- 0,00797	4,057E-05	6,729E-08

(Chemical properties handbook, Mc Graw-hill Carl L. yaws)

Tabel 6 Perhitungan Konduktivitas Umpan Reaktor 1

Komponen	Yi	k_{gas} (W/m.K)	yi.kgas (W/m.K)
Etilene	0,12477	0,06972	0,00870
Etana	0,00023	0,07370	0,00002
Metana	0,00065	0,09095	0,00006
Benzene	0,87340	0,04275	0,03734
Toluene	0,00074	0,04527	0,00003
EB	0,00020	0,04344	0,00001
Total	1,00000	0,36584	0,04616

$$\begin{aligned}
 k \text{ campuran} &= 0,0462 \text{ W/m.K} \\
 &= 0,1662 \text{ kJ/jam.m.K} \\
 &= 0,0397 \text{ kkal/jam.m.K} \\
 &= 0,0001 \text{ kal/dtk.cm.K}
 \end{aligned}$$

f. Menentukan kapasitas panas campuran gas

$$C_p = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$$

Tabel 7 Data Kapasitas Panas Umpan Reaktor 1

Komponen	A(joule/mol.K)	B(joule/mol.K)	C(joule/mol.K)	D(joule/mol.K)	E(joule/mol.K)
Etilene	32,083	-1,4831E-02	2,4774E-04	-2,3766E-07	6,8274E-11
Etana	28,146	4,3447E-02	1,8946E-04	-1,9082E-07	5,3349E-11
Metana	34,942	-3,9957E-02	1,9184E-04	-1,5303E-07	3,9321E-11
Benzene	-31,368	4,7460E-01	-3,1137E-04	8,5237E-08	-5,0524E-12
Toluene	-24,097	5,2187E-01	-2,9827E-04	6,1220E-08	1,2576E-12
EB	-20,527	5,9578E-01	-3,0849E-04	3,5621E-08	1,2409E-11

(Chemical properties handbook, Mc Graw-hill Carl L. Yaws)

Tabel 8 Perhitungan Kapasitas Panas Campuran Gas Reaktor Stage 1

Komponen	BM (kg/kmol)	Y _i	C _p joule/mol.K	C _p kjoule/kmol.K	C _p kjoule/kg.K	C _{pi} = y _i .C _p kjoule/kg.K
Etilene	28,05	0,12477	71,82869	7,82869	2,56074	0,31951
Etana	30,07	0,00023	90,66034	90,66034	3,01498	0,00070
Metana	16,04	0,00065	53,43645	53,43645	3,33145	0,00218
Benzene	78,11	0,87340	163,33278	163,33278	2,09106	1,82633

Toluene	92,13	0,00074	200,28689	200,28689	2,17396	0,00161
EB	106,16	0,00020	241,43241	241,43241	2,27423	0,00046
TOTAL		1,00000	820,97757	820,97757	15,44642	2,15079

Tabel 8 Perhitungan Kapasitas Panas Campuran Gas1 (Lanjutan)

Komponen	Fi (kg/jam)	Fi.Cpi (kj/jam.K)	Cp.yi (kj/kmol.K)
Etilene	3.922,87637	1.253,38501	8,96216
Etana	7,84575	0,00551	0,02110
Metana	11,76863	0,02566	0,03498
Benzene	7.6467,41944	139.654,84141	142,65474
Toluene	76,46742	0,12310	0,14831
EB	23,98013	0,01099	0,04866
TOTAL	80.510,35775	140.908,39168	151,86995

$$Cp \text{ campuran} = 151,86995 \text{ Kjoule/kmol.K}$$

$$= 140.908,39168 \text{ Kjoule/jam.K}$$

$$= 2,15079 \text{ Kjoule/kg.K}$$

g. Menentukan panas reaksi

Reaksi yang terjadi bersifat eksotermis, panas yang dikeluarkan adalah

sebagai berikut:

$$\Delta H_R = \Delta H_{R298} + \int_{298}^T \Delta Cp \cdot dT$$

(Chemical properties handbook, Mc Graw-hill Carl L. yaws)

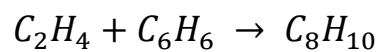
Tabel 9 Data Panas Reaksi Reaktor 1

Formula	A (kj/mol)	B (kj/mol)	C (kj/mol)	D (kj/mol)	E (kj/mol)
Etilene	32,083	-0,014831	2,4774E-04	-2,3766E-07	6,827E-11
Benzene	-31,368	0,4746	-3,114E-04	8,5237E-08	-5,052E-12
EB	-20,527	0,59578	-3,085E-04	3,5621E-08	1,587E-11
DEB	28,958	0,52201	4,433E-05	-2,7933E-07	1,003E-10
TEB	-10,544	0,9504	-5,356E-04	1,1260E-07	0,000E+00

(Chemical properties handbook, Mc Graw-hill Carl L. yaws)

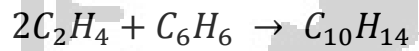
Tabel 10 Perhitungan Panas Reaksi Reaktor 1

Komponen	ΔH_f (kj/mol)	ΔH_f (kJ/kmol)	ΔH (J/mol)	ΔH (kJ/kmol)
Etilene	52,30	52.300,00	18.761,82	18.761,82
Benzene	82,93	82.930,00	41.446,41	41.446,41
EB	29,79	29.790,00	61.929,54	61.929,54
DEB	-22,26	-22.260,00	82.606,53	82.606,53
TEB	-67,99	-67.990,00	104.412,21	104.412,21
total	74,77	74.770,00	309.156,51	309.156,51

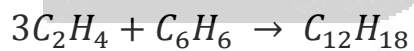


Dari data didapat:

$$\begin{aligned} \Delta_{HR} 298 &= \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan} \\ &= -105.440 \text{ Kj/kmol} \\ \Delta H_r &= 60.208,2320 \text{ Kj/kmol} \\ \Delta H_p &= 61.929,5415 \text{ Kj/kmol} \\ \Delta_{HR} &= -103.718,6908 \text{ kJ/kmol} \\ &= -24.772,79437 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \Delta_{HR} 298 &= \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan} \\ &= -209.790 \text{ Kj/kmol} \\ \Delta H_r &= 78.970,0553 \text{ Kj/kmol} \\ \Delta H_p &= 82.606,5296 \text{ Kj/kmol} \\ \Delta_{HR} &= -206.153,5257 \text{ Kj/kmol} \\ &= -49.238,94499 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \Delta_{HR} 298 &= \Delta H_f \text{ produk} - \Delta H_f \text{ reaktan} \\ &= -307.820 \text{ Kj/kmol} \\ \Delta H_r &= 97.731,8785 \text{ Kj/kmol} \\ \Delta H_p &= 104.412,2073 \text{ Kj/kmol} \\ \Delta_{HR} &= -301.139,6712 \text{ Kj/kmol} \\ &= -71.926,00591 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$

$$\Delta HR \text{ total} = -145937,7453$$

$$\Delta HR \text{ 298 total} = -623.050$$

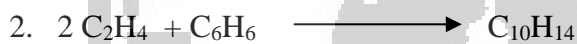
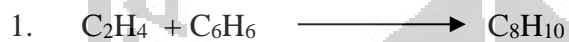
Adapun nilai konstanta

kecepatan reaksi (k) overall untuk proses ini:

$$k = 5160,7724 \exp(-3181,285 / T) \text{ m}^3 / \text{kmol.kg katalis.jam}$$

(*Problems at Unit 700 Ethylbenzene Production, 1999,p.805*)

Mekanisme reaksi :



$$\text{Konversi etilen} \quad : \quad 99,7 \%$$

$$\text{Selektivitas reaksi 1} \quad : \quad 82,8 \%$$

$$\text{Selektivitas reaksi 2} \quad : \quad 15,42 \%$$

$$\text{Selektivitas reaksi 3} \quad : \quad 1,78 \%$$

(Reff. US. Patent 5,959, 168)

$$\text{Yield} \quad : \quad 0,997 \times 0,828 \times 100 \% = 82,55 \%$$

Kecepatan reaksi

Kecepatan reaksi total ($-r_A$) adalah :

$$-r_A = (-r_A)_1 + (-r_A)_2 + (-r_A)_3$$

$$= k_1 C_A C_B + k_2 C_A C_B + k_3 C_A C_B$$

Besarnya $(-r_A)_2$ dapat ditentukan sebagai berikut :

$$\frac{-r_{A1}}{-r_{A2}} = \frac{-dC_{A1} / dt}{-dC_{A2} / dt} = \frac{dX_{A1}}{dX_{A2}} = \frac{d(0,828X_{A1})}{d(0,1542X_{A2})}$$

$$r_{A2} = 0,186 r_{A1}$$

Analog dengan penentuan $(-r_{A2})$ maka $(-r_{A3}) = 0,021 (-r_{A1})$

h. Data sifat katalis (ZSM-5)

Bentuk : Spherical

Diameter : 0,3 cm

Density : 1,8 gr/cm³

Porositas : 0,4

4. Dimensi reaktor

a. Menentukan ukuran dan jumlah tube

Diameter reaktor dipilih berdasarkan pertimbangan agar perpindahan panas berjalan dengan baik. Pengaruh rasio D_p/D_t terhadap koefisien dalam pipa yang berisi butir-butir katalisator di bandingkan dengan pipa kosong (hw/h) telah diteliti oleh Colburn's, yaitu:

D_p/D_t	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30
hw/h	5,50	7,00	7,80	7,50	7,00	6,60

..... (Smith, Chem Kinetik Eng, P.571)

dipilih $D_p/D_t = 0,15$

Dimana

hw = koefisien perpindahan panas dalam pipa berisi katalis

h = koefisien perpindahan panas dalam pipa kosong

D_p = diameter katalisator

D_t = diameter tube

Sehingga :

$$D_p/D_t = 0,15$$

$$D_p = 0,3\text{cm}$$

$$D_t = 2 \text{ cm} = 0,787 \text{ in}$$

Dari hasil perhitungan tersebut, maka diambil ukuran pipa standar agar koefisien perpindahan panasnya baik.

Dari table 11 Kern dipilih pipa dengan spesifikasi sebagai berikut :

$$\text{Nominal pipe size} = 1 \text{ in}$$

$$\text{Outside diameter} = 1,32 \text{ in} = 3,3528 \text{ cm}$$

$$\text{Schedule number} = 40$$

$$\text{Inside diameter} = 1,049 \text{ in} = 2,6645 \text{ cm}$$

$$\text{Flow area per pipe} = 0,864 \text{ in}^2$$

$$\text{Surface per in ft} = 0,344 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

Aliran dalam pipa turbule dipilih $N_{Re} = 4.200$

$$N_{Re} = \frac{G_g D_t}{\mu_g}$$

$$G_t = \frac{\mu_g N_{Re}}{D_t}$$

Dalam hubungan ini:

$$\mu_g = 0,000161 \text{ g/cm.det}$$

$$D_t = 2 \text{ cm}$$

$$G_t = \frac{Re \cdot \mu}{D_t}$$

$$G_t = \frac{(0,000161)(4200)}{2} = 0,3358 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}} = 12.187,3435 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{jam}}$$

A_t = luas penampang total

$$A_t = \frac{G}{Gt}$$

$$A_t = \frac{22.363,9883}{0,3385} = 66.060,6194 \text{ cm}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang pipa (A}_o) &= \left(\frac{\pi}{4}\right) ID^2 = \left(\frac{3,14}{4}\right) 2,6645^2 \\ &= 5,5730 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

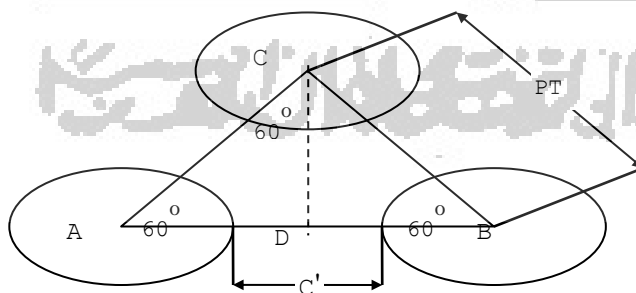
Jumlah pipa dalam reaktor

$$N_{t \max} = \frac{A_t}{A_o}$$

$$= \frac{66.060,6194}{5,5730} = 11.854 \text{ buah}$$

b. Menghitung diameter dalam reaktor

Direncanakan tube disusun dengan pola triangular pitch.



$$P_t = 1,25 \times O D_t$$

$$= 1,25 \times 1,32 = 1,65 \text{ in}$$

$$C' = P_T - OD$$

$$= 1,65 - 1,32 = 0,3300 \text{ in}$$

untuk menghitung diameter shell, dicari luas penampang shell total (A total)

luas shell = Luas segitiga

$$A_{total} = 2 \cdot N_t \cdot \text{Luas segitiga ABC}$$

$$\frac{\pi}{4} \times ID_s^2 = 2 \cdot N_t \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot P_T^2 \cdot \sin 60 \right)$$

$$\frac{\pi}{4} \times ID_s^2 = 2 \cdot N_t \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot P_T^2 \cdot 0,866 \right)$$

Jadi :

$$ID_s = \sqrt{\frac{4 \cdot N_t \cdot P_T^2 \cdot 0,866}{\pi}}$$

$$ID_s = 120,55 \text{ cm}$$

Jadi diameter dalam reaktor = 120,55 cm = 47,46 in

c. Menghitung tebal dinding reaktor

Tebal dinding reaktor (shell) dihitung dengan persamaan :

$$t_s = \frac{P \cdot r}{f \cdot E - 0,6 \cdot P} + C \quad (\text{Brownell, pers.13-1, p.254})$$

Dimana :

t_s = tebal shell, in

E = efisiensi pengelasan

f = maksimum allowable stress bahan yang digunakan

(Brownell,tabel 13-1, p.251)

r = jari-jari dalam shell, in

C = faktor korosi, in

P = tekanan design, Psi

Bahan yang digunakan Carbon Steel SA 302 Grade B

E = 0,8 (double welded butt joint, tabel 13.2, P.254)

f = 16.800 psi

C = 0,125

R = ID/2 = (47,46/2) in

P = 294 psi

Jadi P = (120/100)*P = 352,8 psi

$$\begin{aligned} \text{maka } t_s &= \frac{352,8 \cdot (47,4612 / 2)}{16800 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 352,8} + 0,125 \\ &= 0,7579 \text{ in} \end{aligned}$$

dipilih tebal dinding reaktor standar 1 in

$$\text{Diameter luar reaktor} = \text{ID} + 2 \cdot t_s$$

$$= 47,4612 + (2 \cdot 1)$$

$$= 49,4612 \text{ in}$$

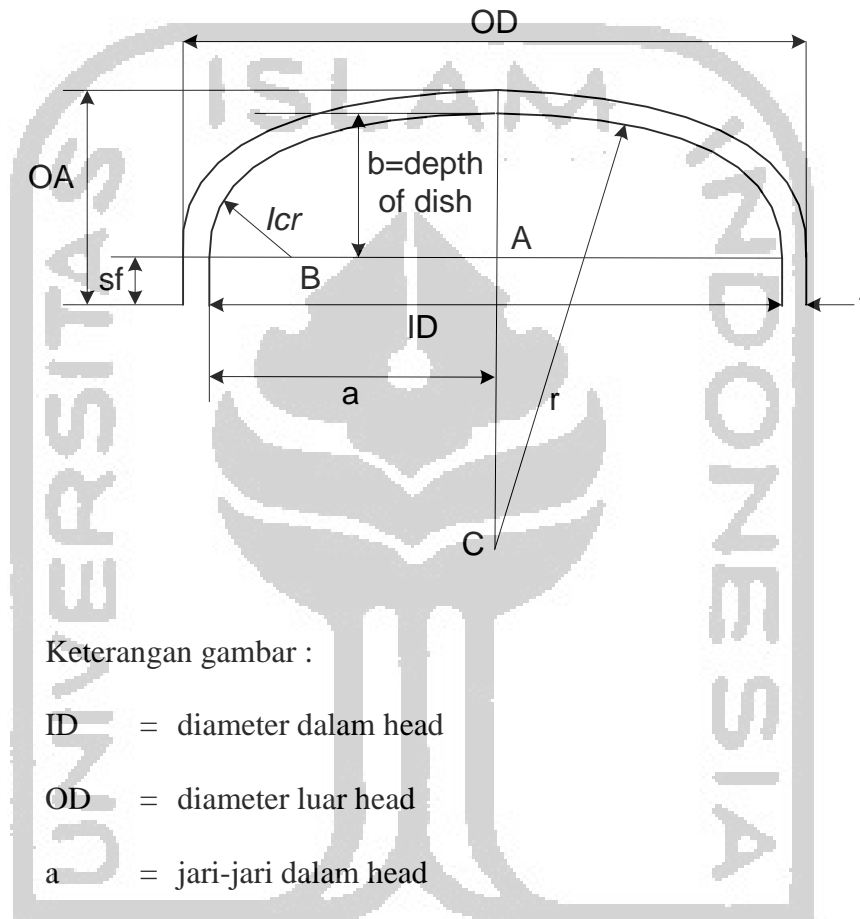
Sehingga dipilih diameter luar reaktor 54 in.

5. Menghitung head reaktor

a. Menghitung tebal head reaktor

Bentuk head : Elipstical Dished Head

Bahan yang digunakan: Carbon Steel SA 302 Grade B



Keterangan gambar :

ID = diameter dalam head

OD = diameter luar head

a = jari-jari dalam head

t = tebal head

r = jari-jari luar dish

icr = jari-jari dalam sudut icr

b = tinggi head

sf = straight flange

OA = tinggi total head

Tebal head dihitung berdasarkan persamaan :

$$t_h = \frac{P.IDs}{2.f.E - 0,2.P} + C \quad (\text{Brownell, 1979})$$

P = tekanan design, psi = 352,8 psi

IDs = diameter dalam reactor, in = 47,4612 in

F = maksimum allowable stress, psi = 16800 psi

E = efisiensi pengelasan = 0,8

C = faktor korosi, in = 0,125

$$\begin{aligned} \text{maka } t_h &= \frac{352,8.47,4612}{2.16800.0,8 - 0,2.352,8} + 0,125 \\ &= 0,7496 \text{ in} \end{aligned}$$

dipilih tebal head reaktor standar 1 in

b. Menghitung tinggi head reaktor

ODs = 54 in

ts = 1 in

didapat : irc = 3,25 in

r = 48 in

a = IDs/2 = 23,7306 in

AB = a - irc = 20,4806 in

BC = r - irc = 44,75 in

AC = $(BC^2 - AB^2)^{1/2}$ = 39,7883 in

b = r - AC = 8,2117 in

Dari tabel 5.6 Brownell p.88 dengan th 1 in didapat sf = 1 1/2 - 4 in

perancangan digunakan sf = 4 in

Tinggi head reaktor dapat dihitung dengan persamaan :

$$\begin{aligned} hH &= th + b + sf \\ &= (1 + 8,2117 + 4) \text{ in} \\ &= 13,2117 \text{ in} \\ &= 0,3356 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Menghitung tinggi reaktor

$$\begin{aligned} \text{Tinggi reaktor total} &= \text{panjang tube} + \text{tinggi head top} \\ HR &= 158,2677 \text{ in} + (2 \cdot 13,2177) \text{ in} \\ &= 184,6911 \text{ in} \\ &= 4,6912 \text{ m} \end{aligned}$$

Tabel 11 Perhitungan Hasil Simulasi Panjang Reaktor Menggunakan Metode Range Kutta Reaktor 1

Z	T	Ts	ra1	ra2	ra3	x1	x2	x3	xtotal
0,00	623,15	367,00	0,118	0,022	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000
0,10	625,46	381,50	0,117	0,022	0,002	0,032	0,012	0,002	0,046
0,20	627,74	395,06	0,116	0,022	0,002	0,064	0,024	0,004	0,092
0,30	629,98	407,75	0,114	0,021	0,002	0,095	0,035	0,006	0,137
0,40	632,20	419,69	0,113	0,021	0,002	0,126	0,047	0,008	0,181
0,50	634,37	430,93	0,111	0,021	0,002	0,157	0,058	0,010	0,225
0,60	636,50	441,54	0,109	0,020	0,002	0,187	0,070	0,012	0,268
0,70	638,59	451,58	0,107	0,020	0,002	0,216	0,080	0,014	0,311
0,80	640,63	461,09	0,105	0,019	0,002	0,245	0,091	0,016	0,352
0,90	642,62	470,12	0,102	0,019	0,002	0,273	0,102	0,018	0,392
1,00	644,55	478,70	0,099	0,019	0,002	0,301	0,112	0,019	0,432
1,10	646,43	486,86	0,097	0,018	0,002	0,327	0,122	0,021	0,470
1,20	648,24	494,65	0,094	0,017	0,002	0,353	0,132	0,023	0,508
1,30	650,00	502,07	0,090	0,017	0,002	0,378	0,141	0,024	0,544
1,40	651,69	509,16	0,087	0,016	0,002	0,403	0,150	0,026	0,579
1,50	653,31	515,93	0,084	0,016	0,002	0,426	0,159	0,027	0,612
1,60	654,86	522,41	0,080	0,015	0,002	0,448	0,167	0,029	0,644

1,70	656,34	528,61	0,076	0,014	0,002	0,470	0,175	0,030	0,675
1,80	657,75	534,55	0,073	0,014	0,002	0,490	0,183	0,032	0,704
1,90	659,09	540,24	0,069	0,013	0,001	0,509	0,190	0,033	0,732
2,00	660,35	545,70	0,065	0,012	0,001	0,528	0,197	0,034	0,758
2,10	661,54	550,93	0,061	0,011	0,001	0,545	0,203	0,035	0,783
2,20	662,65	555,94	0,057	0,011	0,001	0,561	0,209	0,036	0,806
2,30	663,69	560,75	0,053	0,010	0,001	0,576	0,215	0,037	0,828
2,40	664,66	565,37	0,050	0,009	0,001	0,590	0,220	0,038	0,848
2,50	665,55	569,80	0,046	0,009	0,001	0,603	0,225	0,039	0,867
2,60	666,37	574,05	0,042	0,008	0,001	0,615	0,229	0,040	0,884
2,70	667,12	578,13	0,038	0,007	0,001	0,626	0,233	0,040	0,900
2,80	667,81	582,04	0,035	0,006	0,001	0,636	0,237	0,041	0,914
2,90	668,43	585,80	0,031	0,006	0,001	0,645	0,240	0,042	0,927
3,00	668,98	589,40	0,028	0,005	0,001	0,653	0,243	0,042	0,939
3,10	669,47	592,86	0,025	0,005	0,001	0,661	0,246	0,043	0,949
3,20	669,91	596,18	0,022	0,004	0,000	0,667	0,248	0,043	0,959
3,30	670,29	599,36	0,019	0,004	0,000	0,673	0,251	0,043	0,967
3,40	670,62	602,40	0,016	0,003	0,000	0,677	0,252	0,044	0,973
3,50	670,90	605,32	0,014	0,003	0,000	0,682	0,254	0,044	0,979
3,60	671,13	608,12	0,011	0,002	0,000	0,685	0,255	0,044	0,984
3,70	671,33	610,80	0,009	0,002	0,000	0,688	0,256	0,044	0,988
3,80	671,49	613,37	0,007	0,001	0,000	0,690	0,257	0,045	0,992
3,90	671,61	615,83	0,006	0,001	0,000	0,692	0,258	0,045	0,994
4,00	671,70	618,18	0,004	0,001	0,000	0,693	0,258	0,045	0,996
4,01	671,71	618,41	0,004	0,001	0,000	0,694	0,258	0,045	0,997
4,02	671,72	618,64	0,004	0,001	0,000	0,694	0,258	0,045	0,997
4,03	671,73	618,87	0,004	0,001	0,000	0,694	0,258	0,045	0,997
4,04	671,74	619,09	0,004	0,001	0,000	0,694	0,258	0,045	0,997

Dari tabel diatas diketahui :

Konversi (x) = 0,9971

Suhu gas masuk (Tin) = 623 K

Suhu gas keluar (Tout) = 671,74 K

Panjang tube reaktor (z) = 4,04 m

Tekanan masuk (Pin) = 20 atm

Tekanan keluar (P_{out}) = 20 atm

Suhu pendingin masuk ($T_{p\ in}$) = 373 K

Suhu pendingin keluar ($T_{p\ out}$) = 616,09 K



B. Reaktor 02

Jenis : Reaktor *Fixed Bed Single Bed*

Fungsi : Tempat berlangsungnya reaksi antara benzena dan DEB menjadi *ethylbenzene*.

Kondisi Operasi : Suhu = 400°C

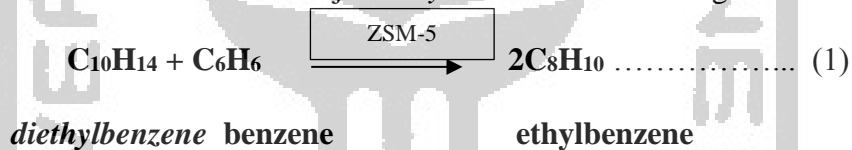
Tekanan = 6 atm

Reaksi = Eksotermis

Katalis : ZSM-05

REAKSI KIMIA

Reaksi kimia yang terjadi pada reaktor transkilasi yaitu reaksi antara *diethylbenzene* dan *benzene* menjadi *ethylbenzene* adalah sebagai berikut :



Konversi pembentukan etilbenzen dapat mencapai 100%. Persamaan kecepatan reaksi didapatkan dari data jurnal sebagai berikut :

$$r = k P_{BB}^{\alpha} P_{H_2}^{\beta} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan :

k = konstanta laju reaksi $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{jam} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{atm}} \right)$

P_{BB} = Tekanan parsial n-butil butirat (atm)

P_{H_2} = Tekanan parsial hidrogen (atm)

α = 0,67

β = 0,25

Berdasarkan jurnal didapatkan juga data konstanta laju reaksi dengan

persamaan Arrhenius sebagai berikut:

$$k = A e^{\frac{-E_a}{RT}} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

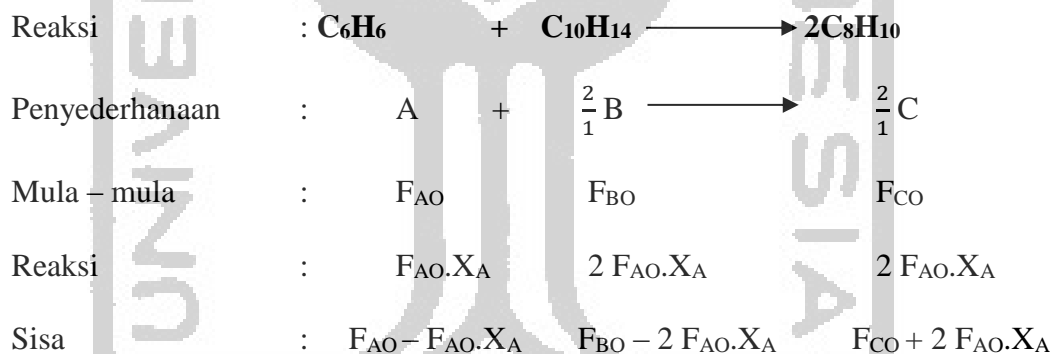
A = Faktor Tumbukan $\left(\frac{\text{kmol}}{\text{jam} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{atm}}\right)$

E_a = Energi aktivasi $\left(\frac{\text{kJ}}{\text{kmol}}\right)$

T = Suhu (K)

Stoikiometri

Untuk menentukan tekanan parsial gas di sepanjang reaktor maka perlu dihitung terlebih dahulu stoikiometri reaksinya :



Mol total : $F_T = F_A + F_B + F_C + F_I \dots\dots\dots (4)$

$y_{C_8H_{16}O_2} = \frac{F_{AO} - F_{AO} \cdot X_A}{F_T} \dots\dots\dots (5)$ $y_{H_2} = \frac{F_{BO} - 2 F_{AO} \cdot X_A}{F_T} \dots\dots\dots (6)$

$P_{C_8H_{16}O_2} = \frac{F_{AO} - F_{AO} \cdot X_A}{F_T} \times P \dots\dots\dots (7)$ $P_{H_2} = \frac{F_{BO} - 2 F_{AO} \cdot X_A}{F_T} \times P \dots\dots\dots$

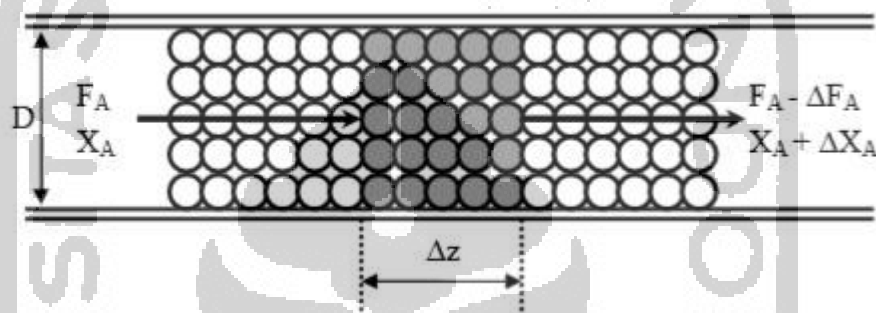
(8)

NERACA MASSA

Perhitungan neraca massa dipakai untuk mencari konversi di sepanjang reaktor. Adapun asumsi – asumsi yang diambil :

1. Aliran *plug flow*, dimana tidak terjadi gradien konsentrasi kearah radial
2. Dispersi aksial diabaikan
3. *Steady state*

Pemodelan neraca massa dilakukan pada pipa berisi tumpukan katalisator pada elemen volum sebesar $A \cdot \Delta z$.



Ne

$A \cdot \Delta z$:

(rate of input) - (rate of output + rate of reaction) = (rate of accumulation)

$$F_A|_z - F_A|_{z+\Delta z} - (-r_A) \cdot V = 0$$

$$F_A|_z - F_A|_{z+\Delta z} - (-r_A) \cdot \frac{\pi}{4} D^2 \Delta z = 0$$

$$x - \frac{1}{\Delta z}$$

$$\frac{F_A|_z - F_A|_{z+\Delta z}}{\Delta z} = -\frac{\pi}{4} D^2 (r_A)$$

$$\lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{F_A|_{z+\Delta z} - F_A|_z}{\Delta z} = -\frac{\pi}{4} D^2 r_A$$

$$\frac{dF_A}{dz} = -\frac{\pi}{4} D^2 r_A \quad \dots \dots \dots (9)$$

Dimana :

$$F_A = F_{A0} (1-X)$$

$$dF_A = -F_{A0} \cdot dx$$

$$\frac{-F_{A0} dx}{dz} = -\frac{\pi}{4} D^2 r_A$$

$$\frac{dx}{dz} = \frac{\pi D^2 r_A}{4 F_{AO}} \dots\dots\dots (10)$$

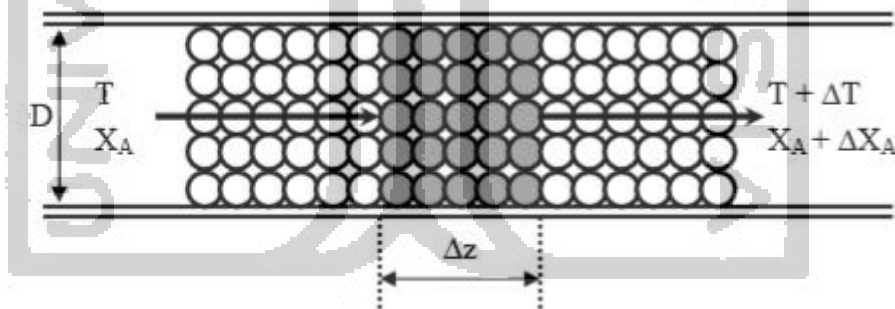
$$\frac{dx}{dz} = \frac{\pi D^2 k P_{BB}^\alpha P_{H_2}^\beta}{4 F_{AO}} \dots\dots\dots (11)$$

NERACA PANAS

Perhitungan neraca panas dipakai untuk mencari temperature di sepanjang reaktor. Adapun asumsi – asumsi yang diambil :

1. Aliran *plug flow*, dimana tidak terjadi gradien konsentrasi ke arah radial
2. Dispersi aksial diabaikan
3. *Steady state*
4. Panas hilang cukup kecil sehingga dapat diabaikan (diisolasi)
5. Kapasitas panas (C_p) dan viskositas gas (μ) hanya fungsi suhu (T)

Pemodelan neraca panas pada tumpukan katalisator pada elemen volum $A \cdot \Delta z$



Net

$(\text{heat of input}) - (\text{heat of output}) - (\text{heat of reaction}) = (\text{heat of accumulation})$

$$\frac{\sum (F_i H_{Fi})|_z - \sum (F_i H_{Fi})|_{z+\Delta z} - 0}{\Delta z} = 0 \quad x - \frac{1}{\Delta z}$$

$$\lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{\sum (F_i H_{Fi})|_{z+\Delta z} - \sum (F_i H_{Fi})|_z}{\Delta z} = 0$$

$$\sum \left(F_i \frac{dH_{Fi}}{\Delta z} \right) - \sum \left(H_{Fi} \frac{dF_i}{dz} \right) = 0$$

Dimana : $\frac{dH_{Fi}}{dz} = C p_i \frac{dT}{dz}$

$$\sum \left(F_i C p_i \frac{dT}{dz} \right) - \sum \left(H_{Fi} \frac{dF_i}{dz} \right) = 0$$

$$\frac{dT}{dz} = \frac{\sum (H_{Fi} \frac{dF_i}{dz})}{\sum (F_i C p_i)} \dots \dots \dots (12)$$

Dimana : $\sum \left(H_{Fi} \frac{dF_i}{dz} \right) = (-\Delta H_R) F_{AO} \frac{dx}{dz}$

$$\frac{dT}{dz} = \frac{(-\Delta H_R) F_{AO} \frac{dx}{dz}}{\sum (F_i C p_i)} \dots \dots \dots (13)$$

PRESSURE DROP

Pressure drop pada reactor dicari menggunakan persamaan Ergun (Fogler, p.154).

$$\frac{dP}{dz} = - \frac{G}{\rho_g g_c D_p} \frac{1-\epsilon}{\epsilon^3} \left[\frac{150(1-\epsilon)\mu}{D_p} + 1,75 G \right] \dots \dots \dots (14)$$

Dengan :

P = tekanan (lbf/ft²)

ϵ = porositas

g_c = 4,17 x 10⁸ lbf.ft / jam².lbf

d_p = diameter partikel katalis (ft)

μ = viskositas campuran gas (lbf / ft.jam)

z = panjang reactor pipa (ft)

G = kecepatan massa superfisial gas (lbf / ft².jam)

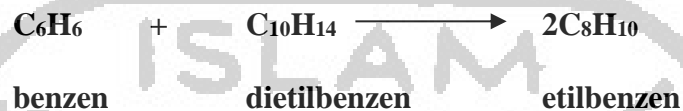
Tetapi karena dalam perhitungan sebelumnya dipakai satuan SI, maka persamaan Ergun tersebut perlu diubah dahulu ke dalam satuan SI.

Dengan keadaan batas :

$Z = 0$; $X = 0$; $T = T_{in}$; $P = P_{in}$

PANAS REAKSI

Reaksi pembentukan n-butanol dari n-butil butirat dan hidrogen :



$$\Delta H_r = \Delta H_{rxn(298)} + \int_{T_R}^T \Delta C_p dT \quad \dots \dots \dots (15)$$

Tabel 1. Entalpi Pembentukan Gas – Komponen Organik (Yaws,1999)

NO	Rumus Molekul	Komponen	H _f pada 298 K, kjoule/mol
1	C ₆ H ₆	<i>benzene</i>	82,93
2	C ₁₀ H ₁₄	<i>diethylbenzene</i>	-22,26
3	C ₈ H ₁₀	<i>ethylbenzene</i>	29,79

Panas reaksi hidrogenasi n-butil butirat pada suhu referensi 298 K = 25 °C (fase gas) adalah :

$$\Delta H_{rxn(298 K)} = \sum(n \Delta H_f)_{produk} - \sum(n \Delta H_f)_{reaktan} \quad \dots (16)$$

$$\Delta H_{rxn(298 K)} = [(-274,43)] - \left[\left(\frac{1}{2} (-524,90) \right) + 0 \right]$$

$$\Delta H_{rxn(298 K)} = -11,98 \frac{kJ}{mol} = -11.980 \frac{kJ}{kmol} \quad \dots \dots \dots (17)$$

Kapasitas panas campuran gas

Kapasitas panas campuran gas dipengaruhi oleh komponen gas dan suhu :

$$\int_{298}^T \Delta C_p dT = \int_{298}^T \Delta A dT +$$

Komponen	A	B	C	D	E
C ₆ H ₆	-31,368	4,7460E-01	-3,1137E-04	8,5237E-08	-5,0524E-12
C ₈ H ₁₀	-20,527	5,9578E-01	-3,0849E-04	3,5621E-08	1,2409E-11
C ₁₀ H ₁₄	28,958	5,2201E-01	4,4335E-05	-2,7933E-07	1,0033E-10

$$\int_{298}^T \frac{1}{2} \Delta B dT^2 + \int_{298}^T \frac{1}{3} \Delta C dT^3 + \int_{298}^T \frac{1}{4} \Delta D dT^4 + \int_{298}^T \frac{1}{5} \Delta E dT^5 \dots (18)$$

Adapun harga Cp tiap komponen diperoleh dari literature dengan persamaan :

$$Cp = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4 \left(\frac{\text{Joule}}{\text{mol K}} \right) \dots (19)$$

Tabel 2. Kapasitas panas gas – komponen organik (Yaws, 1999)

Dari harga masing – masing Cp dan reaksi pembentukan n-butanol di atas dapat diperoleh konstanta sebagai berikut :

$$\Delta A = [2(-20,527)] - [(-31,368) + 28,958] = - 38,6440$$

Dan seterusnya :

$$\Delta B = - 0,1950$$

$$\Delta C = -3,4995E-04$$

$$\Delta D = 2,6534E-07$$

$$\Delta E = -7,0460E-11$$

Kemudian diperoleh persamaan $\Delta H_R = f(T)$:

$$\begin{aligned}
 \int_{298}^T \Delta C_p dT &= -38,6440 (T - 298) + \frac{-0,1950}{2} (T^2 - 298^2) \\
 &+ \frac{-3,4995E - 04}{3} (T^3 - 298^3) + \frac{2,6534E - 07}{4} (T^4 - 298^4) \\
 &+ \frac{-7,0460E - 11}{5} (T^5 - 298^5) = -295,0719 \text{ kJ/kmol} \\
 \Delta H_R &= \Delta H_{rxn(298 K)} + \int_{298}^T \Delta C_p dT = -1385,0719 \text{ kJ/kmol} \\
 &\dots\dots\dots (20)
 \end{aligned}$$

VISKOSITAS GAS (μ i)

Nilai viskositas gas di peroleh dari literature dengan persamaan :

$$\mu_i = A + BT + CT^2 \text{ (}\mu \text{ poise)} \dots\dots\dots (21)$$

Tabel 3. Viskositas gas – komponen organic (Yaws,1999)

Komponen	BM	A	B	C
C ₆ H ₆	78,11	-0,151	2,5706E-01	-8,9797E-06
C ₈ H ₁₀	106,16	-4,267	2,4735,E-01	-5,4264,E-05
C ₁₀ H ₁₄	134,21	12,885	1,7073E-01	-1,8158E-05

Penentuan diameter reaktor

Diameter reaktor ditentukan dengan mengambil nilai secara acak dan dilakukan *Trial and Error* dimana nilai diameter yang dipakai memberikan nilai

konversi yang diinginkan (dalam kasus ini konversi 90%) namun masih dalam batasan umum *fixed bed reactor*.

Tabel 4. Batasan umum *fixed bed* untuk fase gas

Komponen	Batasan
Diameter bed, D (m)	0,3 – 4
Tinggi bed, L (m)	0,3 – 30
Porositas, ϵ	0,35 – 0,70
Ukuran partikel katalis, d_p (m)	$< 0,1 D$
Kecepatan superfisial fluida (menara kosong), U_G (m/s)	0,005 – 1
Pressure drop (kPa/m)	0,001 – 1
Suhu maksimum bahan <i>Carbon Steel</i> ($^{\circ}\text{C}$)	450
L/D (syarat aliran <i>Plug flow</i>)	≥ 4

PROGRAM REAKTOR *FIXED SINGLE TUBULAR BED* (EXCEL)

Persamaan – persamaan diatas diselesaikan dengan cara Runge Kutta :

Kondisi masuk reaktor :

Konversi awal (X_0) : 0

Posisi awal katalis (Z_0) : 0

Suhu masuk pipa (T_0) : $400\text{ }^{\circ}\text{C} = 673,15\text{ K}$

Tekanan masuk pipa (P_0) : 6 atm

Diameter katalis (D_p) : 0,003 m

Porositas katalis dalam reaktor (ϵ) : 0,4

Panas pembentukan standar (ΔH_{298}) : -1090 kJ/kmol

(gc) : 1.316.400.000.000 kg.m/jam².atm

K	: 54.500 exp (-1221,8182/T)
Viskositas gas (μ)	: 0,000016 kg/jam.m
Konstanta gas (R)	: 8,314 kJ/kmol.K
	: 0,082 m ² .atm/kmol.K
BM campuran	: 87,2419 kg/kmo



Lanjutan Tabel 5. Hasil Perhitungan Menggunakan Runge Kutta

$\Delta Z = 0,01$								
D reaktor (m)	ra1	dx/dz	Zi	x1	dT/dZ	Ti	dP/dZ	Pi
1,2000	13,0481	0,8203	0	0,0000	0,0000	673,1500	-0,0451	6,0000
1,2000	12,9699	0,8154	0,01	0,0082	0,9227	673,1500	-0,0451	5,9995
1,2000	12,8923	0,8106	0,02	0,0164	0,9172	673,1593	-0,0451	5,9991
1,2000	12,8151	0,8057	0,03	0,0246	0,9117	673,1685	-0,0451	5,9986
1,2000	12,7382	0,8009	0,04	0,0327	0,9062	673,1776	-0,0451	5,9982
1,2000	12,6616	0,7960	0,05	0,0407	0,9007	673,1867	-0,0451	5,9977
1,2000	12,5853	0,7912	0,06	0,0487	0,8953	673,1958	-0,0451	5,9973
1,2000	12,5093	0,7865	0,07	0,0566	0,8899	673,2048	-0,0452	5,9968
1,2000	12,4337	0,7817	0,08	0,0645	0,8845	673,2137	-0,0452	5,9964
1,2000	12,3583	0,7770	0,09	0,0724	0,8791	673,2226	-0,0452	5,9959
1,2000	12,2833	0,7723	0,1	0,0802	0,8738	673,2314	-0,0452	5,9955
1,2000	12,2086	0,7676	0,11	0,0879	0,8684	673,2402	-0,0452	5,9950

1,2000	12,1342	0,7629	0,12	0,0956	0,8631	673,2489	-0,0452	5,9946
1,2000	12,0601	0,7582	0,13	0,1033	0,8578	673,2576	-0,0452	5,9941
1,2000	11,9863	0,7536	0,14	0,1109	0,8526	673,2662	-0,0452	5,9936
1,2000	11,9128	0,7490	0,15	0,1185	0,8473	673,2747	-0,0452	5,9932
1,2000	11,8397	0,7444	0,16	0,1260	0,8421	673,2833	-0,0452	5,9927
1,2000	11,7668	0,7398	0,17	0,1335	0,8369	673,2917	-0,0452	5,9923
1,2000	11,6942	0,7352	0,18	0,1409	0,8318	673,3001	-0,0452	5,9918
1,2000	11,6220	0,7307	0,19	0,1483	0,8266	673,3085	-0,0452	5,9914
1,2000	11,5500	0,7262	0,2	0,1556	0,8215	673,3168	-0,0452	5,9909
1,2000	11,4783	0,7217	0,21	0,1629	0,8164	673,3250	-0,0452	5,9905
1,2000	11,4070	0,7172	0,22	0,1702	0,8113	673,3332	-0,0452	5,9900
1,2000	11,3359	0,7127	0,23	0,1774	0,8062	673,3414	-0,0452	5,9896
1,2000	11,2652	0,7083	0,24	0,1845	0,8012	673,3495	-0,0452	5,9891
1,2000	11,1947	0,7038	0,25	0,1916	0,7961	673,3575	-0,0452	5,9887

1,2000	11,1245	0,6994	0,26	0,1987	0,7911	673,3655	-0,0452	5,9882
1,2000	11,0546	0,6950	0,27	0,2057	0,7862	673,3734	-0,0452	5,9877
1,2000	10,9850	0,6906	0,28	0,2127	0,7812	673,3813	-0,0452	5,9873
1,2000	10,9158	0,6863	0,29	0,2197	0,7763	673,3892	-0,0452	5,9868
1,2000	10,8467	0,6819	0,3	0,2265	0,7714	673,3970	-0,0452	5,9864
1,2000	10,7780	0,6776	0,31	0,2334	0,7665	673,4047	-0,0452	5,9859
1,2000	10,7096	0,6733	0,32	0,2402	0,7616	673,4124	-0,0453	5,9855
1,2000	10,6415	0,6690	0,33	0,2470	0,7567	673,4201	-0,0453	5,9850
1,2000	10,5736	0,6648	0,34	0,2537	0,7519	673,4277	-0,0453	5,9846
1,2000	10,5061	0,6605	0,35	0,2604	0,7471	673,4352	-0,0453	5,9841
1,2000	10,4388	0,6563	0,36	0,2670	0,7423	673,4427	-0,0453	5,9836
1,2000	10,3718	0,6521	0,37	0,2736	0,7375	673,4502	-0,0453	5,9832
1,2000	10,3051	0,6479	0,38	0,2801	0,7328	673,4576	-0,0453	5,9827
1,2000	10,2387	0,6437	0,39	0,2866	0,7280	673,4649	-0,0453	5,9823

1,2000	10,1725	0,6396	0,4	0,2931	0,7233	673,4722	-0,0453	5,9818
1,2000	10,1067	0,6354	0,41	0,2995	0,7186	673,4795	-0,0453	5,9814
1,2000	10,0411	0,6313	0,42	0,3059	0,7140	673,4867	-0,0453	5,9809
1,2000	9,9758	0,6272	0,43	0,3122	0,7093	673,4939	-0,0453	5,9805
1,2000	9,9107	0,6231	0,44	0,3185	0,7047	673,5010	-0,0453	5,9800
1,2000	9,8460	0,6190	0,45	0,3248	0,7001	673,5081	-0,0453	5,9796
1,2000	9,7815	0,6150	0,46	0,3310	0,6955	673,5151	-0,0453	5,9791
1,2000	9,7173	0,6109	0,47	0,3372	0,6909	673,5221	-0,0453	5,9786
1,2000	9,6534	0,6069	0,48	0,3433	0,6863	673,5290	-0,0453	5,9782
1,2000	9,5897	0,6029	0,49	0,3494	0,6818	673,5359	-0,0453	5,9777
1,2000	9,5264	0,5989	0,5	0,3555	0,6773	673,5428	-0,0453	5,9773
1,2000	9,4633	0,5950	0,51	0,3615	0,6728	673,5496	-0,0453	5,9768
1,2000	9,4004	0,5910	0,52	0,3675	0,6683	673,5563	-0,0453	5,9764
1,2000	9,3378	0,5871	0,53	0,3734	0,6639	673,5631	-0,0453	5,9759

1,2000	9,2755	0,5832	0,54	0,3793	0,6594	673,5697	-0,0453	5,9755
1,2000	9,2135	0,5793	0,55	0,3851	0,6550	673,5763	-0,0453	5,9750
1,2000	9,1518	0,5754	0,56	0,3910	0,6506	673,5829	-0,0453	5,9745
1,2000	9,0903	0,5715	0,57	0,3967	0,6462	673,5895	-0,0453	5,9741
1,2000	9,0290	0,5677	0,58	0,4025	0,6419	673,5959	-0,0454	5,9736
1,2000	8,9681	0,5638	0,59	0,4082	0,6375	673,6024	-0,0454	5,9732
1,2000	8,9074	0,5600	0,6	0,4138	0,6332	673,6088	-0,0454	5,9727
1,2000	8,8469	0,5562	0,61	0,4195	0,6289	673,6152	-0,0454	5,9723
1,2000	8,7867	0,5524	0,62	0,4250	0,6246	673,6215	-0,0454	5,9718
1,2000	8,7268	0,5487	0,63	0,4306	0,6204	673,6277	-0,0454	5,9714
1,2000	8,6672	0,5449	0,64	0,4361	0,6161	673,6340	-0,0454	5,9709
1,2000	8,6078	0,5412	0,65	0,4416	0,6119	673,6402	-0,0454	5,9704
1,2000	8,5486	0,5375	0,66	0,4470	0,6077	673,6463	-0,0454	5,9700
1,2000	8,4897	0,5338	0,67	0,4524	0,6035	673,6524	-0,0454	5,9695

1,2000	8,4311	0,5301	0,68	0,4578	0,5993	673,6585	-0,0454	5,9691
1,2000	8,3727	0,5264	0,69	0,4631	0,5952	673,6645	-0,0454	5,9686
1,2000	8,3146	0,5227	0,7	0,4684	0,5910	673,6705	-0,0454	5,9682
1,2000	8,2568	0,5191	0,71	0,4736	0,5869	673,6764	-0,0454	5,9677
1,2000	8,1992	0,5155	0,72	0,4788	0,5828	673,6823	-0,0454	5,9672
1,2000	8,1418	0,5119	0,73	0,4840	0,5787	673,6881	-0,0454	5,9668
1,2000	8,0847	0,5083	0,74	0,4892	0,5747	673,6939	-0,0454	5,9663
1,2000	8,0279	0,5047	0,75	0,4943	0,5706	673,6997	-0,0454	5,9659
1,2000	7,9713	0,5012	0,76	0,4993	0,5666	673,7054	-0,0454	5,9654
1,2000	7,9149	0,4976	0,77	0,5044	0,5626	673,7111	-0,0454	5,9650
1,2000	7,8588	0,4941	0,78	0,5094	0,5586	673,7168	-0,0454	5,9645
1,2000	7,8030	0,4906	0,79	0,5143	0,5546	673,7224	-0,0454	5,9641
1,2000	7,7474	0,4871	0,8	0,5192	0,5506	673,7280	-0,0454	5,9636
1,2000	7,6920	0,4836	0,81	0,5241	0,5467	673,7335	-0,0454	5,9631

1,2000	7,6369	0,4801	0,82	0,5290	0,5428	673,7390	-0,0454	5,9627
1,2000	7,5820	0,4767	0,83	0,5338	0,5389	673,7444	-0,0455	5,9622
1,2000	7,5274	0,4733	0,84	0,5386	0,5350	673,7498	-0,0455	5,9618
1,2000	7,4730	0,4698	0,85	0,5434	0,5311	673,7552	-0,0455	5,9613
1,2000	7,4189	0,4664	0,86	0,5481	0,5273	673,7606	-0,0455	5,9609
1,2000	7,3650	0,4630	0,87	0,5528	0,5234	673,7658	-0,0455	5,9604
1,2000	7,3113	0,4597	0,88	0,5574	0,5196	673,7711	-0,0455	5,9599
1,2000	7,2579	0,4563	0,89	0,5620	0,5158	673,7763	-0,0455	5,9595
1,2000	7,2048	0,4530	0,9	0,5666	0,5120	673,7815	-0,0455	5,9590
1,2000	7,1518	0,4496	0,91	0,5711	0,5083	673,7866	-0,0455	5,9586
1,2000	7,0991	0,4463	0,92	0,5757	0,5045	673,7917	-0,0455	5,9581
1,2000	7,0467	0,4430	0,93	0,5801	0,5008	673,7968	-0,0455	5,9577
1,2000	6,9945	0,4397	0,94	0,5846	0,4971	673,8018	-0,0455	5,9572
1,2000	6,9425	0,4365	0,95	0,5890	0,4934	673,8068	-0,0455	5,9567

1,2000	6,8907	0,4332	0,96	0,5934	0,4897	673,8118	-0,0455	5,9563
1,2000	6,8392	0,4300	0,97	0,5977	0,4860	673,8167	-0,0455	5,9558
1,2000	6,7880	0,4268	0,98	0,6021	0,4824	673,8216	-0,0455	5,9554
1,2000	6,7369	0,4236	0,99	0,6063	0,4787	673,8264	-0,0455	5,9549
1,2000	6,6861	0,4204	1	0,6106	0,4751	673,8312	-0,0455	5,9545
1,2000	6,6355	0,4172	1,01	0,6148	0,4715	673,8360	-0,0455	5,9540
1,2000	6,5852	0,4140	1,02	0,6190	0,4680	673,8407	-0,0455	5,9535
1,2000	6,5351	0,4109	1,03	0,6232	0,4644	673,8454	-0,0455	5,9531
1,2000	6,4852	0,4077	1,04	0,6273	0,4608	673,8501	-0,0455	5,9526
1,2000	6,4356	0,4046	1,05	0,6314	0,4573	673,8547	-0,0455	5,9522
1,2000	6,3861	0,4015	1,06	0,6355	0,4538	673,8593	-0,0455	5,9517
1,2000	6,3369	0,3984	1,07	0,6395	0,4503	673,8639	-0,0455	5,9513
1,2000	6,2880	0,3953	1,08	0,6435	0,4468	673,8684	-0,0455	5,9508
1,2000	6,2392	0,3923	1,09	0,6475	0,4433	673,8729	-0,0455	5,9503

1,2000	6,1907	0,3892	1,1	0,6514	0,4399	673,8773	-0,0456	5,9499
1,2000	6,1424	0,3862	1,11	0,6553	0,4365	673,8818	-0,0456	5,9494
1,2000	6,0944	0,3832	1,12	0,6592	0,4330	673,8861	-0,0456	5,9490
1,2000	6,0466	0,3802	1,13	0,6630	0,4296	673,8905	-0,0456	5,9485
1,2000	5,9989	0,3772	1,14	0,6668	0,4263	673,8948	-0,0456	5,9480
1,2000	5,9516	0,3742	1,15	0,6706	0,4229	673,8991	-0,0456	5,9476
1,2000	5,9044	0,3712	1,16	0,6744	0,4195	673,9033	-0,0456	5,9471
1,2000	5,8574	0,3683	1,17	0,6781	0,4162	673,9075	-0,0456	5,9467
1,2000	5,8107	0,3653	1,18	0,6818	0,4129	673,9117	-0,0456	5,9462
1,2000	5,7642	0,3624	1,19	0,6855	0,4096	673,9159	-0,0456	5,9458
1,2000	5,7179	0,3595	1,2	0,6891	0,4063	673,9200	-0,0456	5,9453
1,2000	5,6719	0,3566	1,21	0,6927	0,4030	673,9241	-0,0456	5,9448
1,2000	5,6260	0,3537	1,22	0,6963	0,3997	673,9281	-0,0456	5,9444
1,2000	5,5804	0,3508	1,23	0,6999	0,3965	673,9321	-0,0456	5,9439

1,2000	5,5350	0,3480	1,24	0,7034	0,3933	673,9361	-0,0456	5,9435
1,2000	5,4898	0,3452	1,25	0,7069	0,3901	673,9401	-0,0456	5,9430
1,2000	5,4449	0,3423	1,26	0,7103	0,3869	673,9440	-0,0456	5,9425
1,2000	5,4001	0,3395	1,27	0,7138	0,3837	673,9479	-0,0456	5,9421
1,2000	5,3556	0,3367	1,28	0,7172	0,3805	673,9517	-0,0456	5,9416
1,2000	5,3113	0,3339	1,29	0,7206	0,3774	673,9555	-0,0456	5,9412
1,2000	5,2672	0,3312	1,3	0,7239	0,3742	673,9593	-0,0456	5,9407
1,2000	5,2233	0,3284	1,31	0,7273	0,3711	673,9631	-0,0456	5,9403
1,2000	5,1796	0,3256	1,32	0,7306	0,3680	673,9668	-0,0456	5,9398
1,2000	5,1361	0,3229	1,33	0,7338	0,3649	673,9705	-0,0456	5,9393
1,2000	5,0929	0,3202	1,34	0,7371	0,3618	673,9742	-0,0456	5,9389
1,2000	5,0498	0,3175	1,35	0,7403	0,3588	673,9778	-0,0456	5,9384
1,2000	5,0070	0,3148	1,36	0,7435	0,3557	673,9814	-0,0457	5,9380
1,2000	4,9644	0,3121	1,37	0,7466	0,3527	673,9850	-0,0457	5,9375

1,2000	4,9220	0,3094	1,38	0,7498	0,3497	673,9885	-0,0457	5,9370
1,2000	4,8798	0,3068	1,39	0,7529	0,3467	673,9920	-0,0457	5,9366
1,2000	4,8378	0,3042	1,4	0,7560	0,3437	673,9955	-0,0457	5,9361
1,2000	4,7960	0,3015	1,41	0,7590	0,3407	673,9990	-0,0457	5,9357
1,2000	4,7544	0,2989	1,42	0,7620	0,3378	674,0024	-0,0457	5,9352
1,2000	4,7131	0,2963	1,43	0,7650	0,3348	674,0058	-0,0457	5,9347
1,2000	4,6719	0,2937	1,44	0,7680	0,3319	674,0091	-0,0457	5,9343
1,2000	4,6310	0,2912	1,45	0,7710	0,3290	674,0125	-0,0457	5,9338
1,2000	4,5902	0,2886	1,46	0,7739	0,3261	674,0158	-0,0457	5,9334
1,2000	4,5497	0,2860	1,47	0,7768	0,3232	674,0190	-0,0457	5,9329
1,2000	4,5094	0,2835	1,48	0,7797	0,3203	674,0223	-0,0457	5,9325
1,2000	4,4692	0,2810	1,49	0,7825	0,3175	674,0255	-0,0457	5,9320
1,2000	4,4293	0,2785	1,5	0,7853	0,3147	674,0287	-0,0457	5,9315
1,2000	4,3896	0,2760	1,51	0,7881	0,3118	674,0319	-0,0457	5,9311

1,2000	4,3501	0,2735	1,52	0,7909	0,3090	674,0350	-0,0457	5,9306
1,2000	4,3108	0,2710	1,53	0,7936	0,3062	674,0381	-0,0457	5,9302
1,2000	4,2717	0,2686	1,54	0,7964	0,3035	674,0412	-0,0457	5,9297
1,2000	4,2327	0,2661	1,55	0,7991	0,3007	674,0442	-0,0457	5,9292
1,2000	4,1940	0,2637	1,56	0,8017	0,2979	674,0472	-0,0457	5,9288
1,2000	4,1555	0,2613	1,57	0,8044	0,2952	674,0502	-0,0457	5,9283
1,2000	4,1172	0,2589	1,58	0,8070	0,2925	674,0532	-0,0457	5,9279
1,2000	4,0791	0,2565	1,59	0,8096	0,2898	674,0561	-0,0457	5,9274
1,2000	4,0412	0,2541	1,6	0,8122	0,2871	674,0590	-0,0457	5,9269
1,2000	4,0035	0,2517	1,61	0,8147	0,2844	674,0619	-0,0457	5,9265
1,2000	3,9660	0,2493	1,62	0,8173	0,2817	674,0648	-0,0457	5,9260
1,2000	3,9287	0,2470	1,63	0,8198	0,2791	674,0676	-0,0458	5,9256
1,2000	3,8916	0,2447	1,64	0,8222	0,2764	674,0704	-0,0458	5,9251
1,2000	3,8547	0,2423	1,65	0,8247	0,2738	674,0732	-0,0458	5,9246

1,2000	3,8180	0,2400	1,66	0,8271	0,2712	674,0759	-0,0458	5,9242
1,2000	3,7814	0,2377	1,67	0,8295	0,2686	674,0787	-0,0458	5,9237
1,2000	3,7451	0,2355	1,68	0,8319	0,2660	674,0813	-0,0458	5,9233
1,2000	3,7090	0,2332	1,69	0,8343	0,2635	674,0840	-0,0458	5,9228
1,2000	3,6731	0,2309	1,7	0,8366	0,2609	674,0867	-0,0458	5,9223
1,2000	3,6373	0,2287	1,71	0,8390	0,2584	674,0893	-0,0458	5,9219
1,2000	3,6018	0,2264	1,72	0,8412	0,2558	674,0919	-0,0458	5,9214
1,2000	3,5664	0,2242	1,73	0,8435	0,2533	674,0945	-0,0458	5,9210
1,2000	3,5313	0,2220	1,74	0,8458	0,2508	674,0970	-0,0458	5,9205
1,2000	3,4963	0,2198	1,75	0,8480	0,2483	674,0995	-0,0458	5,9200
1,2000	3,4615	0,2176	1,76	0,8502	0,2459	674,1020	-0,0458	5,9196
1,2000	3,4270	0,2155	1,77	0,8524	0,2434	674,1045	-0,0458	5,9191
1,2000	3,3926	0,2133	1,78	0,8546	0,2410	674,1069	-0,0458	5,9187
1,2000	3,3584	0,2111	1,79	0,8567	0,2385	674,1093	-0,0458	5,9182

1,2000	3,3244	0,2090	1,8	0,8588	0,2361	674,1117	-0,0458	5,9177
1,2000	3,2906	0,2069	1,81	0,8609	0,2337	674,1141	-0,0458	5,9173
1,2000	3,2570	0,2048	1,82	0,8630	0,2313	674,1165	-0,0458	5,9168
1,2000	3,2235	0,2027	1,83	0,8651	0,2290	674,1188	-0,0458	5,9164
1,2000	3,1903	0,2006	1,84	0,8671	0,2266	674,1211	-0,0458	5,9159
1,2000	3,1572	0,1985	1,85	0,8691	0,2243	674,1234	-0,0458	5,9154
1,2000	3,1244	0,1964	1,86	0,8711	0,2219	674,1256	-0,0458	5,9150
1,2000	3,0917	0,1944	1,87	0,8731	0,2196	674,1278	-0,0458	5,9145
1,2000	3,0592	0,1923	1,88	0,8750	0,2173	674,1300	-0,0458	5,9141
1,2000	3,0269	0,1903	1,89	0,8770	0,2150	674,1322	-0,0459	5,9136
1,2000	2,9948	0,1883	1,9	0,8789	0,2127	674,1344	-0,0459	5,9131
1,2000	2,9629	0,1863	1,91	0,8808	0,2104	674,1365	-0,0459	5,9127
1,2000	2,9311	0,1843	1,92	0,8826	0,2082	674,1386	-0,0459	5,9122
1,2000	2,8996	0,1823	1,93	0,8845	0,2059	674,1407	-0,0459	5,9117

1,2000	2,8682	0,1803	1,94	0,8863	0,2037	674,1428	-0,0459	5,9113
1,2000	2,8371	0,1784	1,95	0,8881	0,2015	674,1448	-0,0459	5,9108
1,2000	2,8061	0,1764	1,96	0,8899	0,1993	674,1469	-0,0459	5,9104
1,2000	2,7753	0,1745	1,97	0,8917	0,1971	674,1489	-0,0459	5,9099
1,2000	2,7446	0,1726	1,98	0,8934	0,1949	674,1508	-0,0459	5,9094
1,2000	2,7142	0,1706	1,99	0,8952	0,1928	674,1528	-0,0459	5,9090
1,2000	2,6839	0,1687	2	0,8969	0,1906	674,1547	-0,0459	5,9085
1,2000	2,6539	0,1669	2,01	0,8986	0,1885	674,1566	-0,0459	5,9081
1,2000	2,6240	0,1650	2,02	0,9002	0,1864	674,1585	-0,0459	5,9076
1,2000	2,5943	0,1631	2,03	0,9019	0,1843	674,1604	-0,0459	5,9071
1,2000	2,5648	0,1612	2,04	0,9035	0,1822	674,1623	-0,0459	5,9067
1,2000	2,5354	0,1594	2,05	0,9052	0,1801	674,1641	-0,0459	5,9062
1,2000	2,5063	0,1576	2,06	0,9068	0,1780	674,1659	-0,0459	5,9058
1,2000	2,4773	0,1557	2,07	0,9083	0,1759	674,1677	-0,0459	5,9053

1,2000	2,4485	0,1539	2,08	0,9099	0,1739	674,1694	-0,0459	5,9048
1,2000	2,4199	0,1521	2,09	0,9115	0,1719	674,1712	-0,0459	5,9044
1,2000	2,3915	0,1504	2,1	0,9130	0,1698	674,1729	-0,0459	5,9039
1,2000	2,3632	0,1486	2,11	0,9145	0,1678	674,1746	-0,0459	5,9034
1,2000	2,3351	0,1468	2,12	0,9160	0,1658	674,1763	-0,0459	5,9030
1,2000	2,3072	0,1451	2,13	0,9175	0,1639	674,1780	-0,0459	5,9025
1,2000	2,2795	0,1433	2,14	0,9189	0,1619	674,1796	-0,0459	5,9021
1,2000	2,2520	0,1416	2,15	0,9204	0,1599	674,1812	-0,0459	5,9016
1,2000	2,2247	0,1399	2,16	0,9218	0,1580	674,1829	-0,0460	5,9011
1,2000	2,1975	0,1382	2,17	0,9232	0,1561	674,1844	-0,0460	5,9007
1,2000	2,1705	0,1365	2,18	0,9246	0,1542	674,1860	-0,0460	5,9002
1,2000	2,1437	0,1348	2,19	0,9259	0,1522	674,1876	-0,0460	5,8998
1,2000	2,1170	0,1331	2,2	0,9273	0,1504	674,1891	-0,0460	5,8993
1,2000	2,0906	0,1314	2,21	0,9286	0,1485	674,1906	-0,0460	5,8988

1,2000	2,0643	0,1298	2,22	0,9299	0,1466	674,1921	-0,0460	5,8984
1,2000	2,0382	0,1281	2,23	0,9313	0,1448	674,1936	-0,0460	5,8979
1,2000	2,0122	0,1265	2,24	0,9325	0,1429	674,1950	-0,0460	5,8974
1,2000	1,9865	0,1249	2,25	0,9338	0,1411	674,1964	-0,0460	5,8970
1,2000	1,9609	0,1233	2,26	0,9351	0,1393	674,1979	-0,0460	5,8965
1,2000	1,9355	0,1217	2,27	0,9363	0,1375	674,1993	-0,0460	5,8961
1,2000	1,9103	0,1201	2,28	0,9375	0,1357	674,2006	-0,0460	5,8956
1,2000	1,8852	0,1185	2,29	0,9387	0,1339	674,2020	-0,0460	5,8951
1,2000	1,8604	0,1170	2,3	0,9399	0,1321	674,2033	-0,0460	5,8947
1,2000	1,8357	0,1154	2,31	0,9411	0,1304	674,2047	-0,0460	5,8942
1,2000	1,8111	0,1139	2,32	0,9423	0,1286	674,2060	-0,0460	5,8937
1,2000	1,7868	0,1123	2,33	0,9434	0,1269	674,2073	-0,0460	5,8933
1,2000	1,7626	0,1108	2,34	0,9445	0,1252	674,2086	-0,0460	5,8928
1,2000	1,7386	0,1093	2,35	0,9456	0,1235	674,2098	-0,0460	5,8924

1,2000	1,7148	0,1078	2,36	0,9467	0,1218	674,2110	-0,0460	5,8919
1,2000	1,6911	0,1063	2,37	0,9478	0,1201	674,2123	-0,0460	5,8914
1,2000	1,6676	0,1048	2,38	0,9489	0,1184	674,2135	-0,0460	5,8910
1,2000	1,6443	0,1034	2,39	0,9499	0,1168	674,2147	-0,0460	5,8905
1,2000	1,6212	0,1019	2,4	0,9510	0,1151	674,2158	-0,0460	5,8900
1,2000	1,5982	0,1005	2,41	0,9520	0,1135	674,2170	-0,0460	5,8896
1,2000	1,5754	0,0990	2,42	0,9530	0,1119	674,2181	-0,0460	5,8891
1,2000	1,5528	0,0976	2,43	0,9540	0,1103	674,2193	-0,0461	5,8887
1,2000	1,5304	0,0962	2,44	0,9550	0,1087	674,2204	-0,0461	5,8882
1,2000	1,5081	0,0948	2,45	0,9559	0,1071	674,2215	-0,0461	5,8877
1,2000	1,4860	0,0934	2,46	0,9569	0,1055	674,2225	-0,0461	5,8873
1,2000	1,4641	0,0920	2,47	0,9578	0,1040	674,2236	-0,0461	5,8868
1,2000	1,4423	0,0907	2,48	0,9588	0,1024	674,2246	-0,0461	5,8863
1,2000	1,4207	0,0893	2,49	0,9597	0,1009	674,2257	-0,0461	5,8859

1,2000	1,3993	0,0880	2,5	0,9606	0,0994	674,2267	-0,0461	5,8854
1,2000	1,3780	0,0866	2,51	0,9615	0,0979	674,2277	-0,0461	5,8850
1,2000	1,3569	0,0853	2,52	0,9623	0,0964	674,2287	-0,0461	5,8845
1,2000	1,3360	0,0840	2,53	0,9632	0,0949	674,2296	-0,0461	5,8840
1,2000	1,3153	0,0827	2,54	0,9640	0,0934	674,2306	-0,0461	5,8836
1,2000	1,2947	0,0814	2,55	0,9649	0,0919	674,2315	-0,0461	5,8831
1,2000	1,2743	0,0801	2,56	0,9657	0,0905	674,2324	-0,0461	5,8826
1,2000	1,2541	0,0788	2,57	0,9665	0,0891	674,2333	-0,0461	5,8822
1,2000	1,2340	0,0776	2,58	0,9673	0,0876	674,2342	-0,0461	5,8817
1,2000	1,2141	0,0763	2,59	0,9680	0,0862	674,2351	-0,0461	5,8812
1,2000	1,1944	0,0751	2,6	0,9688	0,0848	674,2360	-0,0461	5,8808
1,2000	1,1748	0,0739	2,61	0,9696	0,0834	674,2368	-0,0461	5,8803
1,2000	1,1554	0,0726	2,62	0,9703	0,0821	674,2377	-0,0461	5,8799
1,2000	1,1362	0,0714	2,63	0,9710	0,0807	674,2385	-0,0461	5,8794

1,2000	1,1171	0,0702	2,64	0,9718	0,0793	674,2393	-0,0461	5,8789
1,2000	1,0982	0,0690	2,65	0,9725	0,0780	674,2401	-0,0461	5,8785
1,2000	1,0795	0,0679	2,66	0,9732	0,0767	674,2409	-0,0461	5,8780
1,2000	1,0610	0,0667	2,67	0,9738	0,0753	674,2417	-0,0461	5,8775
1,2000	1,0426	0,0655	2,68	0,9745	0,0740	674,2424	-0,0461	5,8771
1,2000	1,0243	0,0644	2,69	0,9752	0,0727	674,2432	-0,0461	5,8766
1,2000	1,0063	0,0633	2,7	0,9758	0,0715	674,2439	-0,0462	5,8761
1,2000	0,9884	0,0621	2,71	0,9764	0,0702	674,2446	-0,0462	5,8757
1,2000	0,9707	0,0610	2,72	0,9771	0,0689	674,2453	-0,0462	5,8752
1,2000	0,9531	0,0599	2,73	0,9777	0,0677	674,2460	-0,0462	5,8748
1,2000	0,9357	0,0588	2,74	0,9783	0,0664	674,2467	-0,0462	5,8743
1,2000	0,9185	0,0577	2,75	0,9789	0,0652	674,2474	-0,0462	5,8738
1,2000	0,9014	0,0567	2,76	0,9795	0,0640	674,2480	-0,0462	5,8734
1,2000	0,8845	0,0556	2,77	0,9800	0,0628	674,2487	-0,0462	5,8729

1,2000	0,8678	0,0546	2,78	0,9806	0,0616	674,2493	-0,0462	5,8724
1,2000	0,8512	0,0535	2,79	0,9811	0,0604	674,2499	-0,0462	5,8720
1,2000	0,8348	0,0525	2,8	0,9817	0,0593	674,2505	-0,0462	5,8715
1,2000	0,8185	0,0515	2,81	0,9822	0,0581	674,2511	-0,0462	5,8710
1,2000	0,8025	0,0505	2,82	0,9827	0,0570	674,2517	-0,0462	5,8706
1,2000	0,7866	0,0495	2,83	0,9832	0,0559	674,2523	-0,0462	5,8701
1,2000	0,7708	0,0485	2,84	0,9837	0,0547	674,2528	-0,0462	5,8697
1,2000	0,7552	0,0475	2,85	0,9842	0,0536	674,2534	-0,0462	5,8692
1,2000	0,7398	0,0465	2,86	0,9847	0,0525	674,2539	-0,0462	5,8687
1,2000	0,7245	0,0456	2,87	0,9851	0,0515	674,2544	-0,0462	5,8683
1,2000	0,7094	0,0446	2,88	0,9856	0,0504	674,2550	-0,0462	5,8678
1,2000	0,6945	0,0437	2,89	0,9861	0,0493	674,2555	-0,0462	5,8673
1,2000	0,6797	0,0427	2,9	0,9865	0,0483	674,2560	-0,0462	5,8669
1,2000	0,6651	0,0418	2,91	0,9869	0,0472	674,2564	-0,0462	5,8664

1,2000	0,6507	0,0409	2,92	0,9873	0,0462	674,2569	-0,0462	5,8659
1,2000	0,6364	0,0400	2,93	0,9878	0,0452	674,2574	-0,0462	5,8655
1,2000	0,6223	0,0391	2,94	0,9882	0,0442	674,2578	-0,0462	5,8650
1,2000	0,6083	0,0382	2,95	0,9885	0,0432	674,2583	-0,0462	5,8645
1,2000	0,5945	0,0374	2,96	0,9889	0,0422	674,2587	-0,0462	5,8641
1,2000	0,5809	0,0365	2,97	0,9893	0,0412	674,2591	-0,0462	5,8636
1,2000	0,5674	0,0357	2,98	0,9897	0,0403	674,2595	-0,0463	5,8631
1,2000	0,5541	0,0348	2,99	0,9900	0,0393	674,2600	-0,0463	5,8627
1,2000	0,5409	0,0340	3	0,9904	0,0384	674,2603	-0,0463	5,8622
1,2000	0,5280	0,0332	3,01	0,9907	0,0375	674,2607	-0,0463	5,8618
1,2000	0,5151	0,0324	3,02	0,9911	0,0366	674,2611	-0,0463	5,8613
1,2000	0,5025	0,0316	3,03	0,9914	0,0357	674,2615	-0,0463	5,8608
1,2000	0,4899	0,0308	3,04	0,9917	0,0348	674,2618	-0,0463	5,8604
1,2000	0,4776	0,0300	3,05	0,9920	0,0339	674,2622	-0,0463	5,8599

1,2000	0,4654	0,0293	3,06	0,9923	0,0330	674,2625	-0,0463	5,8594
1,2000	0,4534	0,0285	3,07	0,9926	0,0322	674,2629	-0,0463	5,8590
1,2000	0,4415	0,0278	3,08	0,9929	0,0314	674,2632	-0,0463	5,8585
1,2000	0,4298	0,0270	3,09	0,9932	0,0305	674,2635	-0,0463	5,8580
1,2000	0,4183	0,0263	3,1	0,9934	0,0297	674,2638	-0,0463	5,8576
1,2000	0,4069	0,0256	3,11	0,9937	0,0289	674,2641	-0,0463	5,8571
1,2000	0,3956	0,0249	3,12	0,9940	0,0281	674,2644	-0,0463	5,8566
1,2000	0,3846	0,0242	3,13	0,9942	0,0273	674,2647	-0,0463	5,8562
1,2000	0,3737	0,0235	3,14	0,9945	0,0265	674,2649	-0,0463	5,8557
1,2000	0,3629	0,0228	3,15	0,9947	0,0258	674,2652	-0,0463	5,8552
1,2000	0,3523	0,0222	3,16	0,9949	0,0250	674,2655	-0,0463	5,8548
1,2000	0,3419	0,0215	3,17	0,9951	0,0243	674,2657	-0,0463	5,8543
1,2000	0,3316	0,0208	3,18	0,9954	0,0235	674,2660	-0,0463	5,8538
1,2000	0,3215	0,0202	3,19	0,9956	0,0228	674,2662	-0,0463	5,8534

1,2000	0,3115	0,0196	3,2	0,9958	0,0221	674,2664	-0,0463	5,8529
1,2000	0,3017	0,0190	3,21	0,9960	0,0214	674,2667	-0,0463	5,8524
1,2000	0,2921	0,0184	3,22	0,9962	0,0207	674,2669	-0,0463	5,8520
1,2000	0,2826	0,0178	3,23	0,9963	0,0201	674,2671	-0,0463	5,8515
1,2000	0,2733	0,0172	3,24	0,9965	0,0194	674,2673	-0,0463	5,8510
1,2000	0,2641	0,0166	3,25	0,9967	0,0188	674,2675	-0,0464	5,8506
1,2000	0,2551	0,0160	3,26	0,9969	0,0181	674,2677	-0,0464	5,8501
1,2000	0,2463	0,0155	3,27	0,9970	0,0175	674,2678	-0,0464	5,8497
1,2000	0,2376	0,0149	3,28	0,9972	0,0169	674,2680	-0,0464	5,8492
1,2000	0,2290	0,0144	3,29	0,9973	0,0163	674,2682	-0,0464	5,8487
1,2000	0,2207	0,0139	3,3	0,9975	0,0157	674,2684	-0,0464	5,8483
1,2000	0,2124	0,0134	3,31	0,9976	0,0151	674,2685	-0,0464	5,8478
1,2000	0,2044	0,0128	3,32	0,9977	0,0145	674,2687	-0,0464	5,8473
1,2000	0,1965	0,0124	3,33	0,9979	0,0140	674,2688	-0,0464	5,8469

1,2000	0,1887	0,0119	3,34	0,9980	0,0134	674,2689	-0,0464	5,8464
1,2000	0,1811	0,0114	3,35	0,9981	0,0129	674,2691	-0,0464	5,8459
1,2000	0,1737	0,0109	3,36	0,9982	0,0123	674,2692	-0,0464	5,8455
1,2000	0,1664	0,0105	3,37	0,9983	0,0118	674,2693	-0,0464	5,8450
1,2000	0,1593	0,0100	3,38	0,9984	0,0113	674,2695	-0,0464	5,8445
1,2000	0,1523	0,0096	3,39	0,9985	0,0108	674,2696	-0,0464	5,8441
1,2000	0,1455	0,0091	3,4	0,9986	0,0103	674,2697	-0,0464	5,8436
1,2000	0,1388	0,0087	3,41	0,9987	0,0099	674,2698	-0,0464	5,8431
1,2000	0,1323	0,0083	3,42	0,9988	0,0094	674,2699	-0,0464	5,8427
1,2000	0,1260	0,0079	3,43	0,9989	0,0089	674,2700	-0,0464	5,8422
1,2000	0,1198	0,0075	3,44	0,9990	0,0085	674,2701	-0,0464	5,8417
1,2000	0,1137	0,0071	3,45	0,9991	0,0081	674,2701	-0,0464	5,8413
1,2000	0,1078	0,0068	3,46	0,9991	0,0077	674,2702	-0,0464	5,8408
1,2000	0,1021	0,0064	3,47	0,9992	0,0073	674,2703	-0,0464	5,8403

1,2000	0,0965	0,0061	3,48	0,9993	0,0069	674,2704	-0,0464	5,8399
1,2000	0,0911	0,0057	3,49	0,9993	0,0065	674,2704	-0,0464	5,8394
1,2000	0,0859	0,0054	3,5	0,9994	0,0061	674,2705	-0,0464	5,8389
1,2000	0,0808	0,0051	3,51	0,9994	0,0057	674,2706	-0,0464	5,8385
1,2000	0,0758	0,0048	3,52	0,9995	0,0054	674,2706	-0,0465	5,8380
1,2000	0,0710	0,0045	3,53	0,9995	0,0050	674,2707	-0,0465	5,8375
1,2000	0,0664	0,0042	3,54	0,9996	0,0047	674,2707	-0,0465	5,8371
1,2000	0,0619	0,0039	3,55	0,9996	0,0044	674,2708	-0,0465	5,8366
1,2000	0,0576	0,0036	3,56	0,9997	0,0041	674,2708	-0,0465	5,8361
1,2000	0,0534	0,0034	3,57	0,9997	0,0038	674,2709	-0,0465	5,8357
1,2000	0,0494	0,0031	3,58	0,9997	0,0035	674,2709	-0,0465	5,8352
1,2000	0,0455	0,0029	3,59	0,9998	0,0032	674,2709	-0,0465	5,8347
1,2000	0,0418	0,0026	3,6	0,9998	0,0030	674,2710	-0,0465	5,8343
1,2000	0,0382	0,0024	3,61	0,9998	0,0027	674,2710	-0,0465	5,8338

1,2000	0,0348	0,0022	3,62	0,9998	0,0025	674,2710	-0,0465	5,8333
1,2000	0,0316	0,0020	3,63	0,9999	0,0022	674,2711	-0,0465	5,8329
1,2000	0,0285	0,0018	3,64	0,9999	0,0020	674,2711	-0,0465	5,8324
1,2000	0,0255	0,0016	3,65	0,9999	0,0018	674,2711	-0,0465	5,8319
1,2000	0,0227	0,0014	3,66	0,9999	0,0016	674,2711	-0,0465	5,8315
1,2000	0,0201	0,0013	3,67	0,9999	0,0014	674,2711	-0,0465	5,8310
1,2000	0,0176	0,0011	3,68	0,9999	0,0013	674,2711	-0,0465	5,8305
1,2000	0,0153	0,0010	3,69	1,0000	0,0011	674,2712	-0,0465	5,8300
1,2000	0,0131	0,0008	3,7	1,0000	0,0009	674,2712	-0,0465	5,8296
1,2000	0,0111	0,0007	3,71	1,0000	0,0008	674,2712	-0,0465	5,8291
1,2000	0,0093	0,0006	3,72	1,0000	0,0007	674,2712	-0,0465	5,8286
1,2000	0,0076	0,0005	3,73	1,0000	0,0005	674,2712	-0,0465	5,8282
1,2000	0,0060	0,0004	3,74	1,0000	0,0004	674,2712	-0,0465	5,8277
1,2000	0,0046	0,0003	3,75	1,0000	0,0003	674,2712	-0,0465	5,8272

1,2000	0,0034	0,0002	3,76	1,0000	0,0002	674,2712	-0,0465	5,8268
1,2000	0,0024	0,0001	3,77	1,0000	0,0002	674,2712	-0,0465	5,8263
1,2000	0,0015	0,0001	3,78	1,0000	0,0001	674,2712	-0,0466	5,8258

Dari tabel diatas diketahui :

Konversi (x) = 100 %

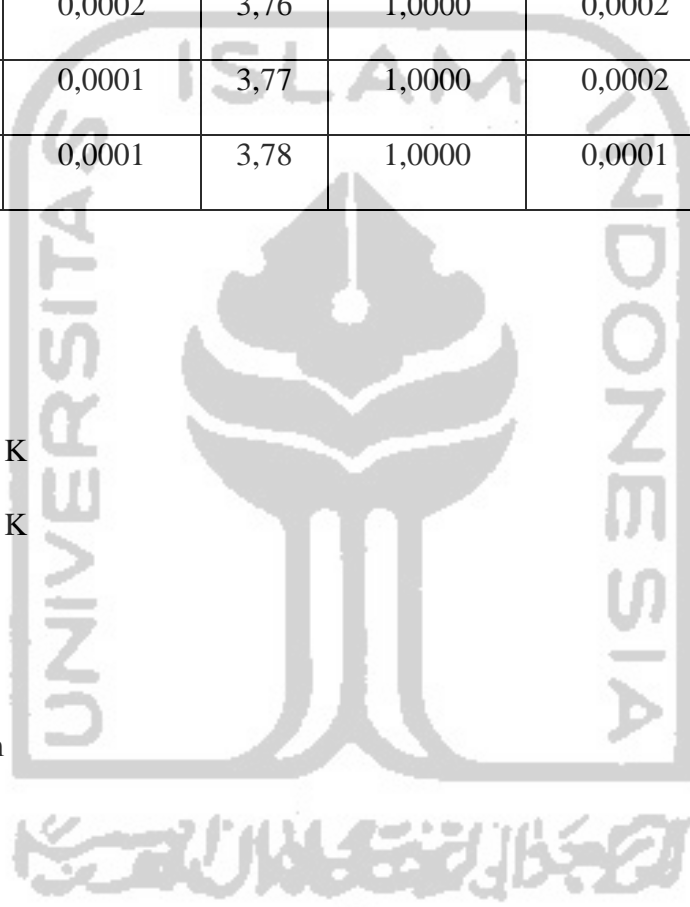
Suhu gas masuk (Tin) = 673,15 K

Suhu gas keluar (Tout) = 674,27 K

Panjang reaktor (z) = 3,78 m

Tekanan masuk (Pin) = 6 atm

Tekanan keluar (Pout) = 5,8 atm



MECHANICAL DESIGN REAKTOR

Mechanical design bertujuan untuk menentukan dimensi dan konstruksi dari reaktor yang kita rancang agar dapat beroperasi pada kondisi operasi dengan aman. Adapun beberapa parameter penting dalam perhitungan *mechanical design* yaitu bahan konstruksi, jenis *vessel* dan *head* yang digunakan.

Data yang diperlukan adalah suhu dan tekanan operasi, dimensi kasar reaktor, bahan konstruksi yang akan dipakai serta ukuran standar pasar.

Kondisi operasi reaktor adalah pada *range* suhu 673 K – 723 K dan tekanan 6 atm. Perancangan mekanis reaktor harus memperhatikan unsur keamanan proses. Oleh karena itu, dipilih bahan konstruksi yang masih aman pada suhu operasi maksimum, sedangkan tekanan diambil *overdesign* sebesar 120 % $P_{operasi}$.

Jenis *vessel* yang akan dipakai adalah *formed head vessel* dan jenis *head* yang dipilih adalah *elliptical dished head*. Dipilih jenis *vessel* ini karena yang paling ekonomi untuk tekanan di atas 200 psig (Brownell & Young, 1959).

Bahan konstruksi dipilih *stainless steel*. *Stainless steel* adalah bahan konstruksi yang biasa digunakan untuk bahan yang dialirkan bersifat korosif. Secara spesifik jenis *stainless steel* yang digunakan adalah *Stainless Steel SA 302 Grade B*.

Perhitungan *mechanical design fixed bed reactor* meliputi:

1. Pemilihan bahan *shell*
2. Tebal dan tinggi *shell*
3. Jenis, tinggi dan tebal *head*

4. *Design grid support* (penyangga katalisator)
5. Bahan dan tebal isolasi
6. Diameter *man hole*
7. Diameter lubang pemasukan umpan
8. Diameter lubang pemasukan hasil
9. Pelengkap reaktor

Data dimensi reaktor hasil pemrograman computer dengan excel digunakan untuk menentukan *mechanical design*.

Tinggi bed reaktor = 3,78 meter

Tebal dinding reaktor

Nilai tebal *shell* dicari dengan persamaan :

$$t_s = \frac{P r_i}{f E - 0,6 P} + C$$

(22)

Dengan :

P = tekanan perancangan, (lb/in²)

r_i = jari – jari dalam *shell*, (in)

f = tegangan maksimum yang diijinkan, (lb/in²)

E = efisiensi sambungan

C = factor korosi, (in)

Bahan : *Stainless Steel SA 302 Grade B*

Ukuran :

1. Diameter dalam *shell* (IDs) = 1,2 m

= 47,24 in

2. Jari – jari dalam *shell* (r_i) = 0,60 m

$$= 23,6220 \text{ in}$$

3. P operasi = 6 atm

P design ~~over~~ design 20 % = 1,2 (6) atm

$$= 7,2 \text{ atm}$$

$$= 105,84 \text{ psi}$$

P gauge = 105,84 psi - 14,7 psi = 91,14 psig

4. Nilai *maximum allowable stress* (f) bahan :

f stainless steel SA 302 grade B untuk $T \leq 600 \text{ }^\circ\text{F} = 16.800$

(Tabel Item. 4 Appendix D B&Y,1959)

5. Jenis sambungan yang digunakan adalah *double welded butt-joint*

Maka nilai maksimum efisiensi sambungan (E) = 0,8

(Tabel 13.2 Brownell & Young,1959)

6. Faktor korosi untuk bahan korosif (C) = 0,25 in

Maka dengan menggunakan persamaan untuk menghitung tebal *shell* :

$$t_s = 0,2438 \text{ in}$$

dipilih tebal plate standar = 1/4 in = 0,25 in

$$= 0,0062 \text{ m}$$

Diameter luar *shell* (ODs) = IDs + 2 t_s = 30,6421 in

$$= 0,7783 \text{ m}$$

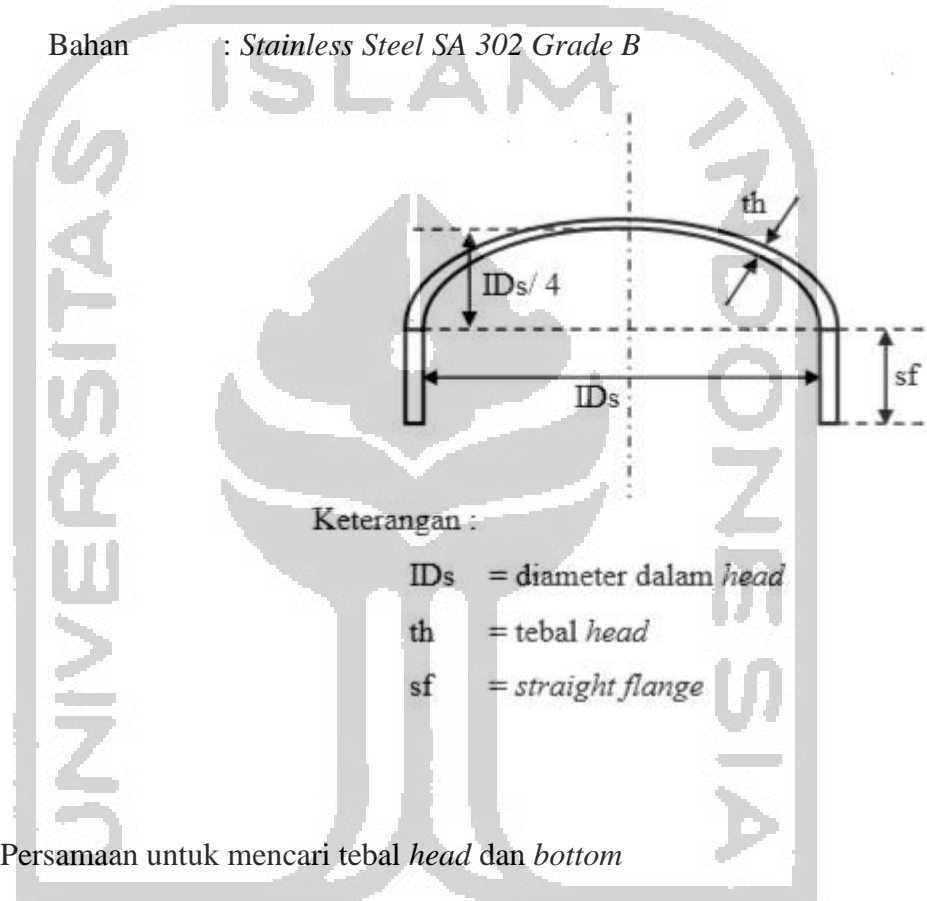
dipilih OD standar = 32 in = 0,8128 m

Head dan Bottom

Bentuk : *Elliptical disheh head*

(*Head* tipe ini digunakan untuk *pressure vessel* 100 psig – 200 psig) Brownell and Young,1959

Bahan : *Stainless Steel SA 302 Grade B*



$$th = \frac{P \cdot ID_s}{2 \cdot f \cdot E - 0,2P} + C \dots\dots\dots (23)$$

Data *maximum allowable stress* (f), maksimum efisiensi (E) dan faktor korosi

(C) untuk *head* sama dengan data untuk *shell*, maka diperoleh :

th = 0,2433 in

dipilih tebal *plate* standar = ¼ in = 0,25 in
= 0,0062 m

$$IDs = 47,24 \text{ in}$$

$$= 1,2 \text{ m}$$

$$sf \text{ (Tabel 5.11 Brownell \& Young, 1959)} = 2 \text{ in}$$

$$b = r - AC = 5,5735 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi head} = th + b + sf = 7,8235 \text{ in}$$

$$= 0,199 \text{ m}$$

Tebal grid support

Grid support berfungsi untuk menyangga tumpukan katalis dan mencegah kelebihan *pressure drop*. Desain yang biasa digunakan adalah piringan berlubang (*perforated plate*) dan piringan bergelombang (*slotted plate*). *Support* dirancang untuk tahan terhadap korosi sehingga sering dipilih *carbon steel, cast iron, stainless steel* atau *cast ceramic* (Rase, 1977).

Dipilih desain *grid support* berupa *perforated plate* dari bahan *stainless steel SA 302 grade B* dengan asumsi :

$$A_{grid} = \frac{1}{2} A_{shell} \dots\dots\dots (24)$$

$$A_{grid} = \frac{1}{2} \left(\frac{\pi}{4} IDs^2 \right) = 0,5652 \text{ m}^2$$

$$\text{Tinggi Total Reaktor} = 175,1118 \text{ in} = 4,448 \text{ m}$$

$$IDs = 52,5 \text{ in} = 1,3335 \text{ m}$$

Volume reaktor

$$V_{REAKTOR} = V_{SHELL} + 2 (V_{HEAD}) \dots\dots\dots (28)$$

$$V_{REAKTOR} = \left(\frac{\pi}{4} IDs^2 \right) Z_{SHELL} + 2 (0,000049 IDs^3) \text{ ft}^3$$

(Persamaan 5.14, Brownell & Young, 1959)

$$V_{REAKTOR} = \left(\frac{\pi}{4} 30,0171^2\right) 148,8189 \text{ in} \\ + 2 (0,000049 (30,0171 \text{ in}^3)) \text{ ft}^3$$

$$V_{SHELL} = 1,7349 \text{ m}^3$$

$$V_{HEAD} = 0,0375 \text{ m}^3$$

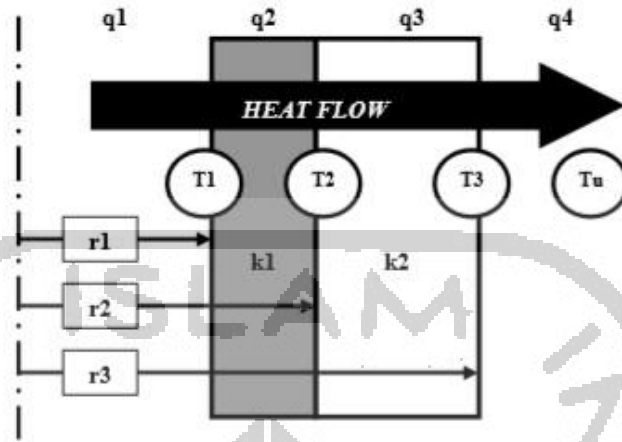
$$V_{REAKTOR} = 1,8 \text{ m}^3$$

Perancangan isolasi reaktor

Isolasi perlu ditambahkan pada dinding reaktor untuk keamanan (*safety*) para operator yang berada dekat dengan reaktor mengingat reaksi eksotermis yang terjadi bisa menimbulkan panas hingga temperature 301,6781 °C. Selain itu isolasi juga berfungsi untuk menjaga kondisi operasi (suhu) peralatan agar tidak berpengaruh fluktuasi suhu lingkungan, serta melindungi material alat dari kemungkinan korosi.

Adapun asumsi yang digunakan adalah :

1. Suhu di dalam reaktor = suhu permukaan dinding dalam *shell*.
2. Perpindahan panas *steady state*, sehingga $q_1 = q_2 = q_3 = q_4$



Keterangan :

- r_1 = jari – jari dalam *shell* (0,6668 m)
- r_2 = jari – jari luar *shell* (0,6858 m)
- r_3 = jari – jari luar isolator
- q_1 = konveksi dari gas ke *shell*
- q_2 = konduksi melalui *shell* / dinding reaktor
- q_3 = konduksi melalui isolator
- q_4 = konveksi dari permukaan luar isolator ke udara
- T_1 = suhu dinding dalam reaktor (301,6781 °C)
- T_2 = suhu dinding luar reaktor
- T_3 = suhu dinding luar isolator (40 °C)
- T_u = suhu udara luar (30 °C)

Bahan dinding kolom adalah *stainless steel* dengan spesifikasi :

$k_s = 41,5078 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$

Tabel .3 , Kern (1950)

Bahan isolasi yang dipilih adalah *asbestos and bonding* dengan spesifikasi :

$k_{is} = 0,078 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$ Tabel .2 , Kern (1950)

Bila suhu udara luar diasumsikan 30 °C dan diinginkan suhu permukaan luar isolate $T_3 = 40 \text{ }^\circ\text{C}$, maka diperoleh T_{bulk} (T_f) :

$$T_f = \frac{T_3 + T_u}{2} \dots\dots\dots (29)$$
$$T_f = \frac{313 \text{ K} + 303 \text{ K}}{2} = 308 \text{ K}$$

Sifat – sifat udara pada temperature 308 K (35 °C) diperoleh dengan cara interpolasi data dari Daftar A – 5 Holman (1986) :

$\mu = 0,000019 \text{ kg/m.s}$

$\nu = 0,00002 \text{ m}^2/\text{s}$

$k_{ud} = 0,0269 \text{ W / m } ^\circ\text{C}$

$Pr = 0,7059$

$\beta = 0,0032 \text{ } 1/\text{K}$

$g = 9,8 \text{ m/s}^2$

$\sigma = 5,6690\text{E-}08 \text{ W / m}^2.\text{K}^4$

$L = Z = 4,448 \text{ m}$

Menghitung bilangan *Grasshof* :

$$Gr = \frac{g \cdot \beta (T_3 - T_u) L^3}{\nu^2} \dots\dots\dots (30)$$

$Gr = 6,3995\text{E}+11$

$Gr \times Pr = 4,5174\text{E} + 11$ (*turbulen*)

$Gr \times Pr > 10^9$, maka aliran turbulen

Tabel 7. Jenis aliran

Jenis aliran	Gr.Pr	C	n
Laminar	$10^4 - 10^9$	0,59	0,25
Turbulen	$10^9 - 10^{13}$	0,1	0,33

Menghitung *bilangan Nusselt* :

$$Nu = 0,1 (Gr.Pr)^{1/3} \dots\dots\dots (31)$$

$$Nu = 269,8882$$

Menghitung koefisien perpindahan panas konveksi (h_c) :

$$Nu = \frac{h_c L}{k_{ud}} \dots\dots\dots (32)$$

$$h_c = \frac{Nu k_{ud}}{L}$$

$$h_c = 2,5169 \text{ W / m }^\circ\text{C}$$

Menghitung koefisien perpindahan panas radiasi (h_r) :

$$h_r = \frac{\epsilon_{is} \cdot \sigma (T_3^4 - T_u^4)}{(T_3 - T_u)} \text{ }^\circ\text{C} \dots\dots\dots (33)$$

Menentukan suhu T_2 dari neraca panas di tiap lapisan :

$$q_2 = \frac{2\pi L(T_1 - T_2)k_s}{\ln(R_2/R_1)} \dots\dots\dots (34)$$

$$q_3 = \frac{2\pi L(T_2 - T_3)k_{is}}{\ln(R_3/R_2)} \dots\dots\dots (36)$$

Karena *steady state* $q_4 = (h_c + h_r) 2\pi R_3 L(T_3 - T_u)$

Untuk $q_2 = q_4$, maka : $\frac{2\pi L(T_1 - T_2)k_s}{\ln(R_2/R_1)} = (h_c + h_r) 2\pi R_3 L(T_3 - T_u)$ (37)

$$R_3 = \frac{\ln(R_2/R_1)}{(h_c + h_r)(T_3 - T_u)}$$

Untuk $q_3 = q_4$, maka :

$$\frac{2\pi L(T_2 - T_3)k_{is}}{(T_2 - T_3)k_{is}} = (h_c + h_r)2\pi R_3 L(T_3 - T_u)$$

$$R_3' = \frac{(T_2 - T_3)k_{is}}{(h_c + h_r)(T_3 - T_u)\ln\left(\frac{R_3}{R_2}\right)} \dots\dots (38)$$

Kemudian *trial* nilai T_2 sampai nilai $R_3 = R_3'$

Hasil *trial* diperoleh : $T_2 = 574,7877 \text{ K} = 301,6377 \text{ }^\circ\text{C}$

$R_3 = 0,9660 \text{ m} = 96,60 \text{ cm}$

Menghitung panas hilang ke lingkungan (Q_{losses}) :

$$Q_{losses} = q_4 = (h_c + h_r) 2 \pi R_3 L (T_3 - T_u) = 1078,4780 \text{ J/s}$$

$$= 3882,5207 \text{ kJ/Jam}$$

Man Hole

Man hole digunakan untuk pembersihan reaktor. Besarnya diameter *man hole* harus didesain sedemikian rupa sehingga agar saat pembersihan reaktor, teknisi dapat masuk ke dalam reaktor untuk membersihkan isi dalam reaktor. Pada perancangan reaktor ini dipakai diameter *man hole* dengan ukuran standar 20 in = 0,508 m .

Diameter Nozzle Pemasukan dan Pengeluaran

Untuk menentukan diameter nozzle yang berhubungan dari dan ke reaktor digunakan persamaan :

$$d, \text{ optimum} = 260 G^{0.52} \rho^{-0.37} \dots\dots\dots (39)$$

(Coulson and Richardson vol.6, 1983, P.221, Eq 5.15)

a. Diameter saluran gas masuk (Nozzle input reaktor)

$G = \text{kecepatan umpan masuk} = 2,6847 \text{ kg/s}$

$$\rho = \text{densitas gas umpan mix} = 9,1925 \text{ kg/m}^3$$

$$d_{\text{opt}} = \text{diameter optimum} = 191,2193 \text{ mm}$$

$$= 7,5283 \text{ in}$$

Kemudian diambil ukuran pipa standar dari Tabel 11 Kern (1950) :

$$\text{Spesifikasi pipa : IPS} = 8 \text{ in} = 0,2032 \text{ m}$$

$$\text{OD} = 8,625 \text{ in} = 0,2191 \text{ m}$$

$$\text{Schedule No.} = 40$$

$$\text{ID} = 8,25 \text{ in} = 0,2096 \text{ m}$$

b. Diameter saluran gas keluar (Nozzle Output Reaktor)

$$G = \text{kecepatan umpan masuk} = 2,6847 \text{ kg/s}$$

$$\rho = \text{densitas gas umpan mix} = 9,1925 \text{ kg/m}^3$$

$$d_{\text{opt}} = \text{diameter optimum} = 191,2193 \text{ mm}$$

$$= 7,5283 \text{ in}$$

Kemudian diambil ukuran pipa standar dari Tabel 11 Kern (1950) :

$$\text{Spesifikasi pipa : IPS} = 8 \text{ in} = 0,2032 \text{ m}$$

$$\text{OD} = 8,625 \text{ in} = 0,2191 \text{ m}$$

$$\text{Schedule No.} = 40$$

$$\text{ID} = 8,25 \text{ in} = 0,2096 \text{ m}$$

Keterangan:

1. Nozzle Inlet Reaktan

2. Distributor

3. Bola Inert 1''

4. Bola Inert 1/2''

5. **Katalis**

6. *Reactor Shell*

7. **Isolator**

8. *Manhole*

9. *Grid Support*

10. *Nozzle Outlet*

11. **Sekat Pengeluaran**

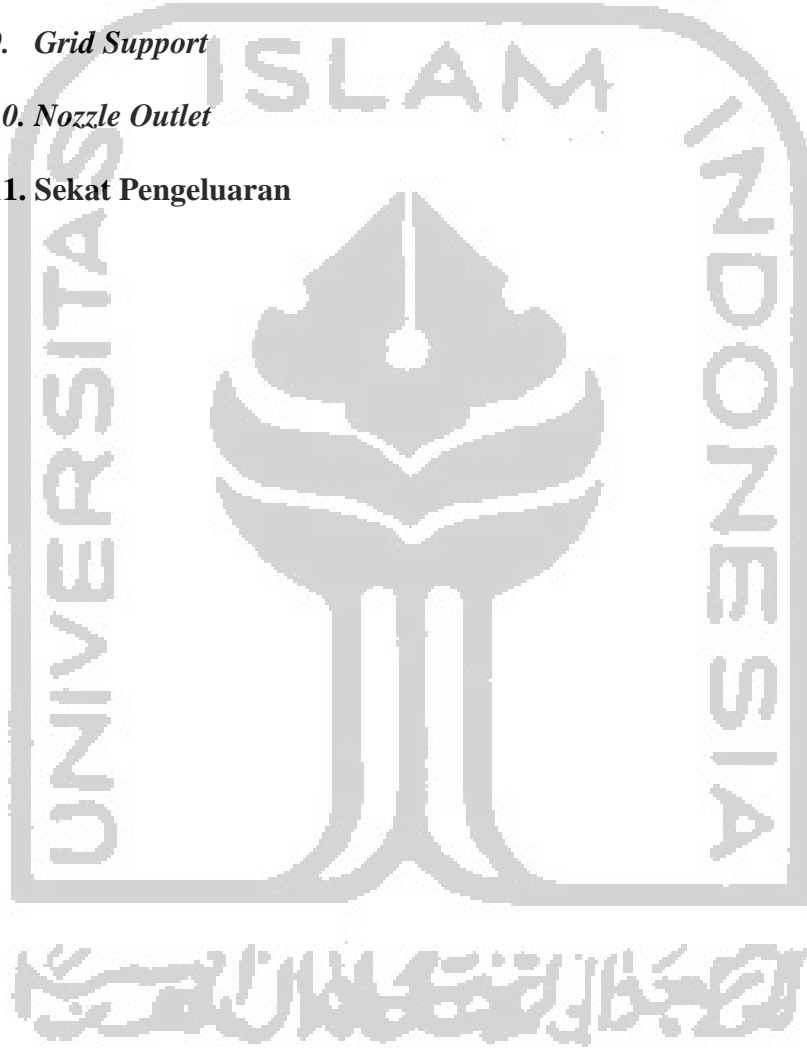
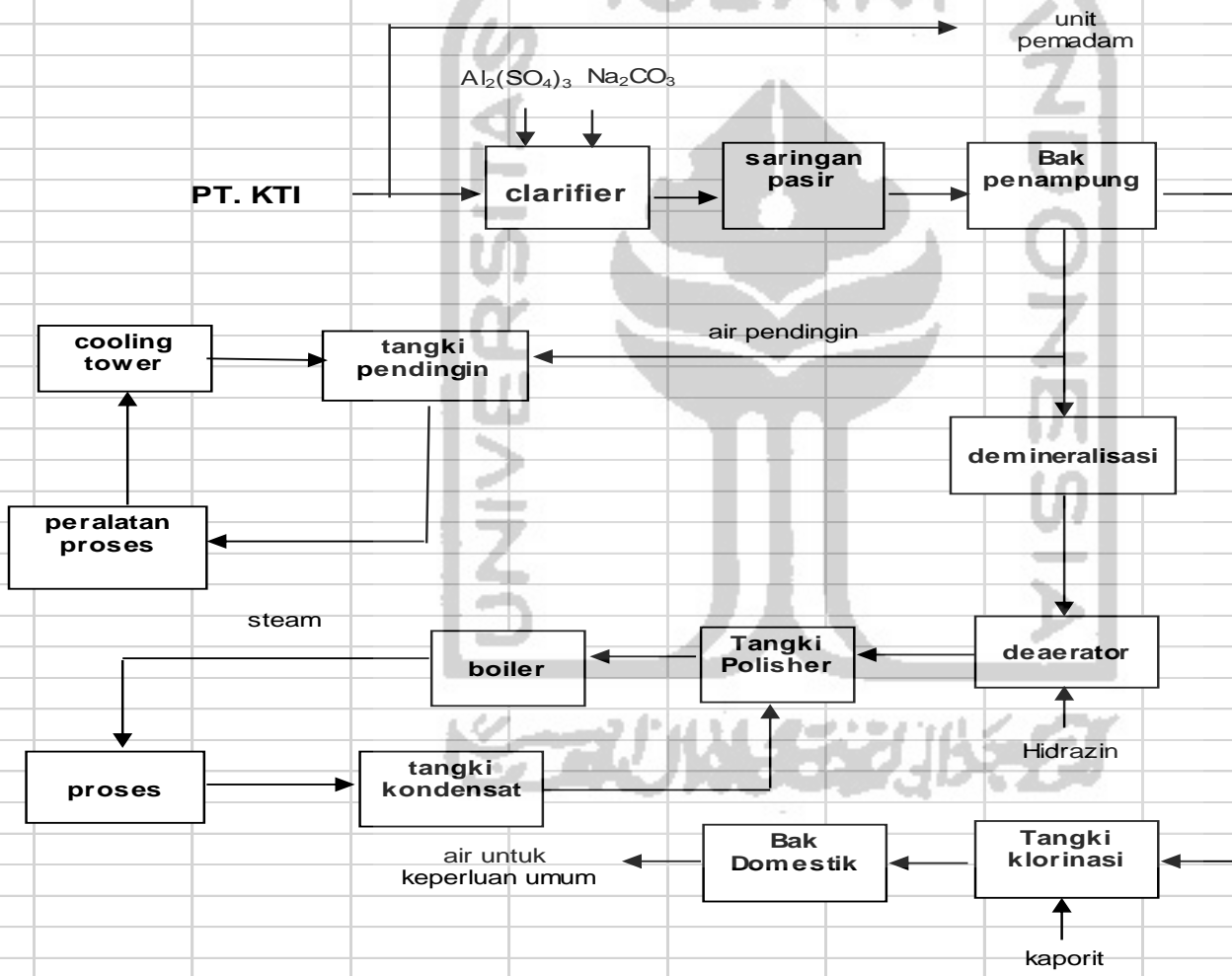
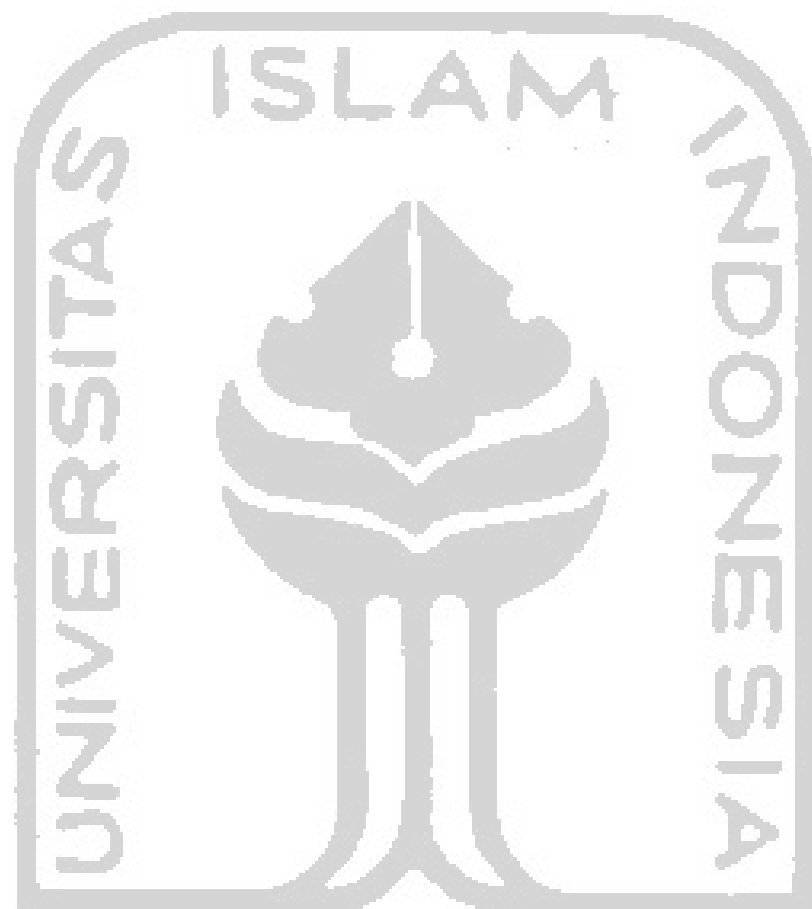




Diagram Proses Pengolahan





جامعة الإسلام في إندونيسيا

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

1. Nama Mahasiswa : Muvika Putri Puspitasari
No. MHS : 15521003
2. Nama Mahasiswa : Tri Anifah Suryaningrum
No. MHS : 15521053
- Judul Prarancangan]* : PRARANCANGAN PABRIK ETILBENZEN DENGAN
PROSES MOBIL-BADGER DARI ETILMADAN BENZEN
- Mulai Masa Bimbingan : 05 Oktober 2019
Batas Akhir Bimbingan : 02 April 2020

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1	15 Juli 2019	Kapasitas Pabrik	
2	18 Juli 2019	Neraca Massa	
3	16 Juli 2019	Reaksi dan proses yang digunakan	
4	30 Okt 2019	Reaksi dan proses pada Reaktor 2	
5	17 Okt 2019	PEFD	
6	24 Okt 2019	Alat Pompa	
7	31 Okt 2019	Utilitas	
8	7-Nov-2019	Evaluasi Ekonomi	

Disetujui Draft Penulisan:

Yogyakarta, 12/1/19

Pembimbing,

Pratikno Hidayat, Ir., M.Sc.

)* Judul PraRancangan Ditulis dengan Huruf Balok

- Kartu Konsultasi Bimbingan dilampirkan pada Laporan PraRancangan
- Kartu Konsultasi Bimbingan dapat difotocopy

KARTU KONSULTASI BIMBINGAN PRARANCANGAN

1. Nama Mahasiswa : Muvika Putri Puspitasari
No. MHS : 15521003

2. Nama Mahasiswa : Tri Anifah Suryaningrum
No. MHS : 15521053

Judul Prarancangan)* : PRARANCANGAN PABRIK STILBENZENA DENGAN
PROSES MOBIL-BADGER DARI ETILEN DAN BENZENA
KAPASITAS 120.000 TON/TAHUN

Mulai Masa Bimbingan : 05 Oktober 2019

Batas Akhir Bimbingan : 02 April 2020

No	Tanggal	Materi Bimbingan	Paraf Dosen
1.	18 Juli 2019	Neraca Massa	
2	22 Juli 2019	Alat, Reaktor 1	
3	28 Agustus 2019	Alat MD-1	
4	9 Sept 2019	Alat MD 2	
5	26 Sep 2019	Alat MD 3	
6	3 Oktober 2019	Alat Reaktor 2	
7	10 Oktober 2019	HE (Heater, Cooler, CD, RB, VP)	
8	4 November 2019	evaluasi ekonomi	

Disetujui Draft Penulisan:

Yogyakarta, 31 Oktober 2019.

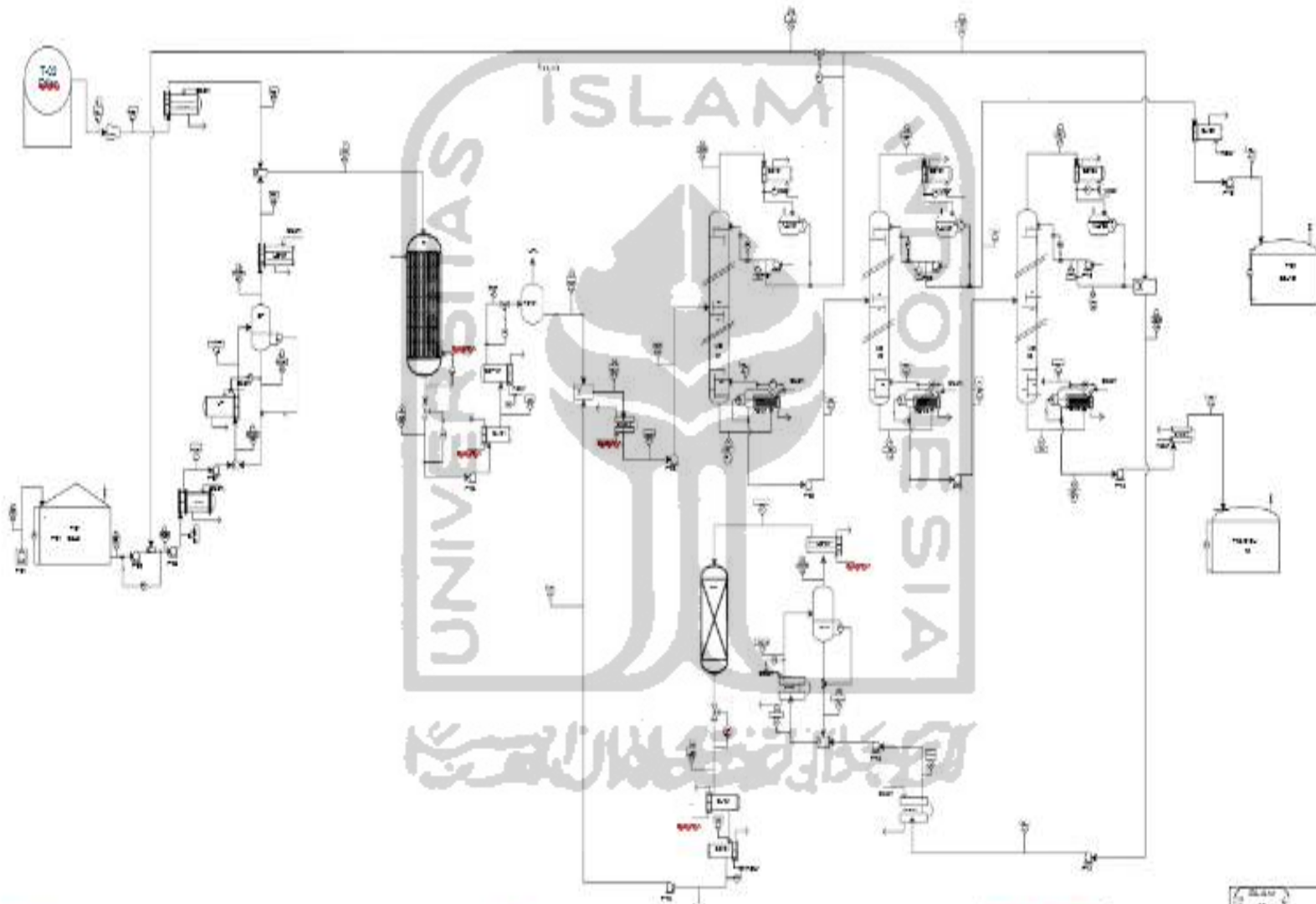
Pembimbing,

Diana, Dr., S.T., M.Sc.

)* **Judul PraRancangan Ditulis dengan Huruf Balok**

- Kartu Konsultasi Bimbingan dilampirkan pada Laporan PraRancangan
- Kartu Konsultasi Bimbingan dapat difotocopy

PROCESS ENGINEERING FLOW DIAGRAM
PERANCANGAN PABRIK ETILBENZEN DARI ETILEN DAN BENZENA
 KAPASITAS 100.000 TON TAHUN



UJA																						
	STEEL	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM	ALUM		
C01	0	0	0	0	0	3622,00	3622,00	11,77	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C011	0	0	0	0	0	7,45	7,45	11,54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C012	0	0	0	0	0	11,77	11,77	7,02	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
C013	11547,12	12241,12	12241,12	12241,12	12241,12	0	7047,42	07241,12	07241,12	7241,12	7241,12	04968,87	7226,10	0	0	0	7226,10	1069,79	6640,82	7226,10	4820,11	
C110	11,21	10,71	8024	18,74	10,71	0	10,71	10,71	10,71	82,71	72,71	018	1,24	11,21	11,21	0	0	7,24	1,21	9,22	7,24	1,21
C111	0	23,66	24,66	2,66	23,66	0	11,84	1115,619	1115,619	11,84	23,66	2,66	15100,32	15107,32	1,62	1,62	1,62	0,68	4,91	1,62	1628,82	
F1111	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12,12	2412,42	2412,42	0,24	2412,02	2412,02	2412,24	2412,02		
F1112	0	0	0	0	0	0	0	338,48	338,48	340,18	0	0	340,18	340,18	1,24	338,48	1,24	0,18	2,11	1,24	1,24	

NO	REVISI	REVISI	REVISI
00			
001			
01			
02			
03			
04			
05			
06			
07			
08			
09			
10			
11			
12			



JURUSAN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

PROCESS ENGINEERING DIAGRAM
PABRIK ETILBENZEN DARI ETILLEN DAN BENZENA
KAPASITAS 100.000 TON TAHUN

Disusun Oleh:

1. TRI ANITA WIDYANINGRUM 15021005

2. MUVINA PETRIPUSITASARI 15021005

Dosen Pembimbing:

Dr. Dina S.T. H.S.