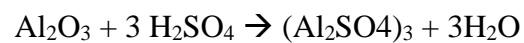


## LAMPIRAN A PERHITUNGAN REAKTOR

Fungsi	: Mereaksikan Bauksit dan Asam Sulfat 80% menjadi Aluminium Sulfat
Jenis	: Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)
Fase	: Padat - cair
Sifat reaksi	: Eksotermis
Kondisi operasi	: Tekanan (P) = 1 atm
	Suhu (T) = 110 °C
	Konversi (X) = 92%

### A. Kinetika Reaksi

Reaksi



Persamaan kecepatan reaksi:

$$(-r_A) = \frac{dC_A}{c_A^2} = k \cdot C_A \cdot C_B$$

$$-r_A = k \cdot C_A \cdot C_B$$

Karena konsentrasi reaktor equimollar, maka  $-r_A = k \cdot C_A^2$

Reaksi merupakan reaksi orde 2 (Kirk dan Othmer), dengan :

$$-\int_{C_{AO}}^{C_A} \frac{dC_A}{C_A^2} = k \int dt$$

$$\left(\frac{1}{C_A}\right) - \left(\frac{1}{C_{AO}}\right) = k.t$$

Komponen	BM	Input		$\rho$	V	
		kmol/jam	kg/jam		kg/m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	101,9613	13,7117	1.398,0624	3.990	0,3504	350,3914
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	159,6922	1,5918	254,1932	5.120	0,0496	49,6471
SiO <sub>2</sub>	60,0843	2,9614	177,9352	2.320	0,0767	76,6962
TiO <sub>2</sub>	79,8788	1,2729	101,6773	4.170	0,0244	24,3830
H <sub>2</sub> O	18,0152	89,4820	1.612,04	946	1,7048	1.704,7732
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	98,0784	41,6287	4.082,8782	1.727	2,3648	2.364,7961
Total		150,6485	7626,7816	18272	4,5707	4570,6870

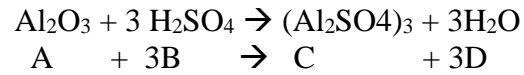
### 1. Menghitung Konsentrasi Umpan

$$C_{ao} = \frac{\text{mol } A}{\Sigma Fv} = 2.9999 \text{ kmol/m}^3$$

$$C_{bo} = \frac{\text{mol } B}{\Sigma Fv} = 9.1078 \text{ kmol/m}^3$$

## 2. Menghitung Harga k

Reaksi dapat ditulis dengan:



M :	$C_{AO}$	$C_{BO}$	$C_{CO}$	$C_{DO}$
R :	$-C_{AO}X_A$	$-3C_{AO}X_A$	$C_{AO}X_A$	$3C_{AO}X_A$
S :	$C_A - C_{AO}X_A$	$C_{BO} - 3C_{AO}X_A$	$C_{CO} + C_{AO}X_A$	$C_{DO} + 3C_{AO}X_A$

Maka, diketahui

$$\text{Konversi (x)} = 92\%$$

$$t = 3 \text{ jam} = 180 \text{ menit}$$

$$k.t = (1/C_A) - (1/C_{AO})$$

$$k.t = (1/C_{AO}) \cdot (X_A / (1 - X_A))$$

$$\text{Harga k} = 0.7444 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

### B. Optimasi Reaktor

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{\text{massa campuran}}{\text{volume campuran}}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = 1668.6292 \text{ kg/m}^3$$

$$F_v = 4.5707 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Nilai k} = 0.7444 \text{ m}^3/\text{kmol.jam}$$

$$\text{Volume} = 4570,6870 \text{ L/jam}$$

$$C_{ao} = 2.9999 \text{ kmol/m}^3$$

$$C_{bo} = 9.1078 \text{ kmol/m}^3$$

$$X_A = 0,92$$

$$M = 3$$

Mencari volume reaktor dan konversi reaktor

$$V_n = \frac{Fv (X_n - X_{n-1})}{k(1 - X_n)}$$

1 Reaktor		
Xa	0,92	
Vreaktor	70,6069	m <sup>3</sup>
	1.8652,2344	gallon
Waktu tinggal	15	jam

2 Reaktor		
Xa <sub>2</sub>	0,92	
Xa <sub>1</sub>	0,72	
Vreaktor	15,5675	m <sup>3</sup>
	4.112,4672	gallon
Vtotal	31,1350	m <sup>3</sup>
Waktu tinggal	3	jam

3 Reaktor		
Xa <sub>3</sub>	0,92	
Xa <sub>2</sub>	0,81	
Xa <sub>1</sub>	0,57	
Vreaktor	8,1093	m <sup>3</sup>
	2.142,2406	gallon
Vtotal	24,3280	m <sup>3</sup>
Waktu tinggal	2	jam

4 Reaktor		
Xa <sub>4</sub>	0,92	
Xa <sub>3</sub>	0,85	
Xa <sub>2</sub>	0,72	
Xa <sub>1</sub>	0,47	
Vreaktor	5,4048	m <sup>3</sup>
	1.427,7905	gallon
Vtotal	21,6193	m <sup>3</sup>
Waktu tinggal	1	jam

5 Reaktor		
Xa <sub>5</sub>	0,92	
Xa <sub>4</sub>	0,87	
Xa <sub>3</sub>	0,78	
Xa <sub>2</sub>	0,64	
Xa <sub>1</sub>	0,40	
Vreaktor	4,0352	m <sup>3</sup>
	1.065,9785	gallon
Vtotal	20,1760	m <sup>3</sup>
Waktu tinggal	1	jam

Menghitung harga total reaktor

Jumlah reaktor	Volume 1 Reaktor ( <i>Gallon</i> )	Harga 1 Reaktor ( <i>Dollar</i> )	Harga Total ( <i>Dollar</i> )
1	18.652,2344	730.200	730.200
2	4.112,4672	244.164	488.328
3	2.142,2406	201.900	605.700
4	1.427,7905	167.000	668.000
5	1.065,9785	160.200	801.000

Berdasarkan hasil perhitungan optimasi maka akan digunakan dua reaktor yang disusun seri.

### C. Perancangan Reaktor

Asumsi

- Volume cairan selama reaksi tetap
- Kondisi *isothermal*

Volume cairan dalam reaktor:

$$\begin{aligned} V_{\text{cairan}} &= 15,5675 \text{ m}^3 \\ &= 15567,5027 \text{ L} \\ &= 4112,4672 \text{ gallon} \end{aligned}$$

Untuk menentukan volume desain reaktor digunakan *safety factor* 20% (Peter and Timmerhaus,1991).

Volume desain reaktor ditentukan dengan menggunakan persamaan:

$$\begin{aligned} V_{\text{desain}} &= 1,2 \times V_{\text{cairan}} \\ &= 1,2 \times 15,5675 \text{ m}^3 \\ &= 18,6810 \text{ m}^3 \\ &= 18681,0033 \text{ L} \\ &= 4934,9606 \text{ gallon} \end{aligned}$$

#### 1. Menentukan Diameter dan Tinggi Tangki Reaktor

Dipilih RATB berbentuk silinder tegak dengan perbandingan D : H = 1 : 1,5

(Brownell & young, tabel 3.3, P.43)

$$\begin{aligned} V_{\text{reaktor}} &= 18,6810 \text{ m}^3 \\ V_{\text{reaktor}} &= V_{\text{shell}} + 2 V_{\text{head}} \\ V_{\text{reaktor}} &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H \end{aligned}$$

(Brownell &amp; Young, P.88)

$$D = \sqrt[3]{\frac{4 \times V_{shell}}{\pi}}$$

$$D = 2.8764 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \times D$$

$$H = 4.3145 \text{ m}$$

## 2. Menentukan Tebal Dinding (*Shell*) Reaktor

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

(Eq.13-12 , P.25 Brownell &amp; Young)

Dimana :

$t_s$	=	Tebal dinding <i>shell</i> , in	
$P$	=	Tekanan desain	= 28,1120 psi
$r_i$	=	Jari - jari reaktor	= 56,6213 in
$E$	=	Effisiensi sambungan las	= 0,85
$f$	=	Tekanan maksimal yang diizinkan	= 18.750 psi
$C$	=	Korosi yang di izinkan	= 0,125 in

Maka  $t_s = 0,2250 \text{ in}$ Digunakan tebal *shell* standar = 0,25 in

$$ID \text{ shell} = 113.2426 \text{ in}$$

$$OD \text{ shell} = ID \text{ shell} + 2t_s$$

$$= 113.7426 \text{ in}$$



OD *standard* = 114 in

ID *standard* = 114 in

### 3. Menentukan Jenis *Head*

Bahan konstruksi : *Stainless Steel SA - 167 Grade 304*

Bentuk *head* : *Torishperical dishead*

Dengan pertimbangan dalam pemilihan jenis *head* yaitu :

- *Flanged & Standard Dished head*

Umumnya digunakan untuk tekanan operasi rendah, harganya murah dan digunakan untuk tangki dengan diameter kecil.

- *Torispherical Flanged & Dished Head*

Digunakan untuk tekanan operasi hingga 15 bar dan harganya cukup ekonomis.

- *Elliptical Dished Head*

Digunakan untuk operasi tekanan tinggi dan harganya cukup ekonomis

- *Hemispherical Head*

Digunakan untuk tekanan operasi sangat tinggi, kuat, ukuran yang tersedia terbatas dan harganya cukup mahal.

(P-87 Brownell,1959)

Maka digunakan jenis *head Torispherical Flanged & Dished Head*.



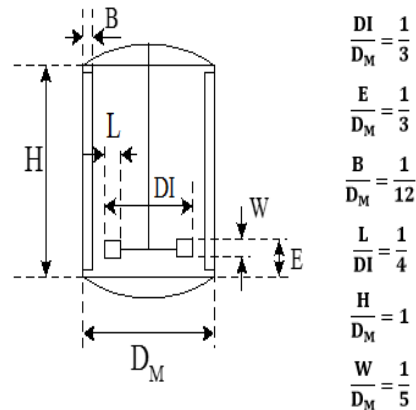
$$\begin{aligned}
 AC &= \sqrt{BC^2 - AB^2} = 87,9702 \text{ in} \\
 b &= r - AC = 20,0298 \text{ in} \\
 \text{Tinggi head} &= Sf + b + t \text{ head} \\
 &= 2,5 \text{ in} + 20,0298 \text{ in} + 0,25 \text{ in} \\
 &= 22,7798 \text{ in} \\
 &= 0,5786 \text{ m} \\
 \text{Tinggi reaktor} &= 2 \text{ tinggi head} + \text{tinggi shell} \\
 &= 5,4718 \text{ m}
 \end{aligned}$$

## 6. Menghitung Pengaduk Reaktor

Fungsi : Untuk mengaduk komponen agar homogen

Tipe pengaduk: *Impeller* turbin dengan 6 *flat blades* dan 4 buah *baffle*

Dari Buku Unit Operation Mc Cabe L. Warren edisi 5 hal : 243



$$\begin{aligned}
 D_M \text{ (diameter reaktor)} &= 2,8956 \text{ m} \\
 D_I \text{ (diameter pengaduk)} &= 0,9652 \text{ m} \\
 E \text{ (jarak pengaduk dari dasar reaktor)} &= 0,9652 \text{ m} \\
 L \text{ (panjang impeller)} &= 0,2413 \text{ m} \\
 W \text{ (lebar pengaduk)} &= 0,5791 \text{ m} \\
 B \text{ (lebar baffle)} &= 0,2413 \text{ m}
 \end{aligned}$$

### 7. Menghitung Jumlah Pengaduk

$$h \text{ cairan} = \frac{4 V}{\pi D^2}$$

$$h \text{ cairan} = 2.8758 \text{ m}$$

$$= 9.4351 \text{ ft}$$

$$sg = \frac{\rho \text{ cairan}}{\rho \text{ air}}$$

$$\rho_{\text{cairan}} = 1668.6292 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{air}} = 946 \text{ kg/m}^3$$

$$sg = 2.2588$$

$$WELH = h \text{ cairan} \cdot sg$$

$$WELH = 21.3119 \text{ ft}$$

$$\sum \text{impeller} = \frac{WELH}{D}$$

$$\Sigma_{\text{impeller}} = 2.258$$

Maka jumlah pengaduk = 3 buah

### 8. Menghitung Kecepatan Pengadukan Reaktor

$$N = \frac{600}{\pi DI} \sqrt{\frac{WELH}{2 DI}}$$

$$N = 110,6915 \text{ rpm}$$

$$= 1.8449 \text{ rps}$$

Maka digunakan standar kecepatan motor 125 rpm

### 9. Menghitung Bilangan Reynold

$$Re = \frac{\rho_L N D I^2}{\mu_L}$$

$$Re = 1.908.637,5081$$

Karena  $Re > 2100$  maka alirannya turbulen

Pada fig 10.59, Towler dan Sinnott P. 619 didapatkan nilai  $N_p = 7$

### 10. Menghitung Power

$$P = \frac{N^3 D I^5 \rho N_p}{550 gc}$$

$$P = 151.9179 \text{ Hp}$$

Daya motor , efisiensi motor adalah 82% (figure 14.38 peters hal 521)

$$\text{Daya motor} = \frac{P}{\eta}$$

$$\text{Daya motor} = 185.2657 \text{ Hp}$$

Daya motor standar = 200 Hp



Panas reaksi pada reaktor :

1. Reaksi Utama

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{298} + \Delta H_p - \Delta H_r$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = -2.418.008,2748 \text{ kj/kmol (eksotermis)}$$

2. Reaksi Samping

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{298} + \Delta H_p - \Delta H_r$$

$$\Delta H_{\text{reaksi}} = -314.622,6085 \text{ kj/kmol (eksotermis)}$$

Tabel Panas Reaksi Bahan Masuk dan Keluar Reaktor

Komponen	Input (Kj/jam)	Output (Kj/jam)
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	101.111,3684	8088,9095
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.517,9622	1407,1849
SiO <sub>2</sub>	11.946,1167	11.946,1167
TiO <sub>2</sub>	6.426,8433	6.426.8433
H <sub>2</sub> O	679.189,0629	833.204,2675
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	514.787,5724	11.367,5221
Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		68.088,1866
Fe <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub>		5.374,1321
Total	1.316.978,9259	945.903,1626

Tabel Neraca Panas Bahan Masuk dan Keluar Reaktor

Komponen	Input (Kj/jam)	Output (Kj/jam)
Panas reaksi bahan masuk	1.316.978,9259	
Panas reaksi bahan keluar		945.903,1626
Q reaksi	3.067.636,2894	
Q pendingin		3.438.712.0527
Total	4.384.615,2153	4.384.615,2153

**Kebutuhan air pendingin**

$$\text{Suhu air pendingin masuk} = 30 \text{ }^{\circ}\text{C} = 86 \text{ }^{\circ}\text{F} = 303 \text{ K}$$

$$\text{Suhu air pendingin keluar} = 50 \text{ }^{\circ}\text{C} = 122 \text{ }^{\circ}\text{F} = 323 \text{ K}$$

$$\text{T rata – rata} = 40 \text{ }^{\circ}\text{C} = 104 \text{ }^{\circ}\text{F} = 312 \text{ K}$$

Sifat fisis air pada 104 °F

$$C_p = 1,2274 \text{ Btu/lbm.F}$$

$$\rho = 68,9330 \text{ lbm/ft}^3$$

$$W = \frac{Q_{\text{pendingin}}}{c_p \times (T_2 - T_1)}$$

$$W = 82104,9019 \text{ lbm/jam}$$

$$= 37275,6255 \text{ kg/jam}$$

**E. Merancang Jaket Pendingin**

Luas perpindahan panas yang tersedia :

A = Luas selimut reaktor + luas penampang bawah reaktor

$$A = \pi \cdot OD \cdot H_L + \pi/4 \cdot OD^2$$

$$A = 489,3559 \text{ ft}^2$$



Suhu masuk reaktor ( $T_1$ )	= 110 °C = 230 °F = 383 K
Suhu keluar reaktor ( $T_2$ )	= 110 °C = 230 °F = 383 K
Suhu pendingin masuk ( $t_1$ )	= 30 °C = 86 °F = 303 K
Suhu pendingin keluar ( $t_2$ )	= 50 °C = 122 °F = 323 K

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_2 - t_1) - (T_1 - t_2)}{\ln \frac{(T_2 - t_1)}{(T_1 - t_2)}}$$

$$\Delta T_{LMTD} = 125 \text{ °F}$$

Untuk sistem aqueous solution – water , UD = 250 – 500

(Kern, Tabel.8, p.840)

Luas Transfer panas yang dibutuhkan, A:

$$A = \frac{Q}{UD \cdot \Delta T_{LMTD}}$$

$$A = 57,9814 \text{ ft}^2$$

### 1. Menghitung Ukuran Jacket Pendingin

Jarak antara jaket dengan reaktor =

ID (diameter dalam jaket) = 118.1853 in

OD (diameter luar jaket) = 120 in

### 2. Menghitung Tebal Jacket Pendingin

$$\text{Tebal jaket} = \frac{P \times r}{(S.E) - (0,6 P)} + C$$

Tebal jaket = 0,3247 in

Tebal jaket standar = 0,375 in

### 3. Menghitung Tinggi Jacket

Tinggi jaket = 0,9 x H *shell*

= 3,8856 m

### KESIMPULAN REAKTOR

Fungsi : Mereaksikan bauksit dan asam sulfat 80% menjadi aluminium sulfat

Jenis : Reaktor Alir Tangki Berpengaduk (RATB)

Fase : Padat - cair

Sifat reaksi : Eksotermis

Kondisi operasi : Tekanan (P) = 1 atm

Suhu (T) = 110 oC

Konversi (X) = 92%

Bahan : *Stainless Steel SA - 167 Grade 304*

Reaksi:

Utama :  $\text{Al}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{Al}_2\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

Samping :  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 3 \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$

Maka diperoleh :

Volume reaktor : 18,6810 m<sup>3</sup>

Tinggi reaktor : 5,4718 m

Tinggi *shell* reaktor : 4.3145 m

Diameter reaktor : 2,8956 m

Tebal *shell* reaktor : 0,25 in

Tebal *head* reaktor : 0,25 in

Jenis <i>head</i> reaktor	: <i>Torispherical Flanged &amp; Dished Head</i>
Jenis pengaduk	: <i>Impeller</i> turbin dengan 6 <i>flat blades</i> dan 4 buah <i>baffle</i>
Jumlah <i>impeller</i>	: 3 buah
Diameter pengaduk	: 0,9652 m
Jarak pengaduk dari dasar	: 0,9652 m
Panjang <i>impeller</i>	: 0,2413 m
Lebar pengaduk	: 0,5791 m
Lebar <i>baffle</i>	: 0,2413 m
Jumlah <i>baffle</i>	: 4
Kecepatan pengadukan	: 125 rpm
Diameter dalam jaket pendingin:	118.1853 in
Diameter luar jaket pendingin:	120 in
Tebal jaket pendingin	: 0,375 in
Tinggi jaket	: 3,8856 m