APPENDIX A
NERACA MASSA

Kapasitas = 50.000 ton/yahun = 50000000 kg/tahun
Waktu Operasi = 1 tahun = 330 hari
1 hari = 24 jam
Basis Waktu = 1 jam operasi
Satuan Massa = kilogram/jam

Produksi Aluminium Sulfat :

$$\frac{50.000}{1} \times \frac{1000 \text{ kg}}{\text{ton}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} = 6313{,}1313 \text{ kg/jam}$$

Basis Feed Masuk = 2950,57157 kg/jam

Komposisi Bahan baku yang digunakan :

1. Bauksit dari alibaba.com
dengan spesifikasi sebagai berikut :

Komponen	%Berat
$Al_2O_3 . 2H_2O$	61,80%
Fe_2O_3	13,00%
SiO_2	12,00%
TiO_2	1,20%
H_2O	12,00%
	100,00%

2. Asam Sulfat dari PT. Petrokimia Gresik yang memiliki komposisi sebagai berikut :

Komponen	%Berat
H_2SO_4	98%
H_2O	2%
	100%

Data Berat Molekul :

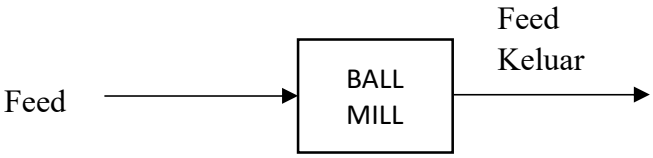
$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	138	S	=	32
Fe_2O_3	=	160	Al_2O_3	=	102
SiO_2	=	60	$Al_2(SO_4)_3 . 10H_2O$	=	522
TiO_2	=	80	C	=	12
H_2O	=	18			
H_2SO_4	=	98			
$Al_2(SO_4)_3$	=	342			
$Fe_2(SO_4)_3$	=	400			
BaS	=	169			
$FeSO_4$	=	152			
$BaSO_4$	=	233			

FeS = 88

Komposisi feed masuk :

Komposisi	%Berat	Berat (Kg/jam)
$Al_2O_3 . 2H_2O$	61,80%	1823,45323
Fe_2O_3	13,00%	383,5743041
SiO_2	12,00%	354,0685884
TiO_2	1,20%	35,40685884
H_2O	12,00%	354,0685884
	100,00%	2950,57157

1.Ball Mill-1



Kondisi Operasi :
Tekanan operasi = 1 atm
Suhu operasi = 30 °C (suhu kamar)
Ukuran feed keluar = 200 mesh

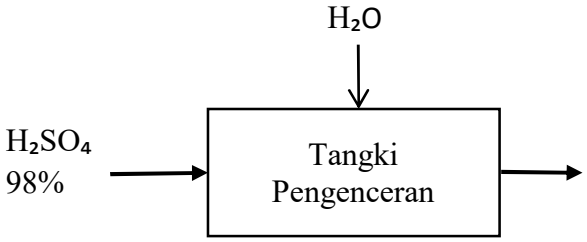
Feed masuk :

Komposisi	**Feed Masuk (Kg/jam)**	**Feed keluar (kg/jam)**
$Al_2O_3 . 2H_2O$	1823,45323	1823,45323
Fe_2O_3	383,5743041	383,5743041
SiO_2	354,0685884	354,0685884
TiO_2	35,40685884	35,40685884
H_2O	354,0685884	354,0685884
	2950,57157	3105,864811

NERACA MASSA BALL MILL

Komponen Masuk (kg/jam)			**Komponen Keluar (kg/jam)**		
Bauksit dari gudang			Produk keluar dari ball mill		
$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	1823,45323	$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	1823,4532
Fe_2O_3	=	383,574304	Fe_2O_3	=	383,5743
SiO_2	=	354,068588	SiO_2	=	354,06859
TiO_2	=	35,4068588	TiO_2	=	35,406859
H_2O	=	354,068588	H_2O	=	354,06859
		2950,57157			2950,5716
TOTAL		2950,5716	**TOTAL**		2950,5716

2.TANGKI PENGENCER



Asam sulfat yang masuk dengan konsentrasi = 98%
Maka dilakukan pengenceran hingga konsentrasi = 77,67% (US. Patent)

Komposisi H_2SO_4	%Berat	Berat (kg/jam)
H_2SO_4 98%	98%	3884,748186
H_2O	2%	79,28057523
	100%	3964,028762

Neraca massa total = F = L
Neraca massa komponen = F x Xf = L x Xl
dimana F = Feed
Xf = Konsentrasi feed = 98%
L = Larutan
Xl = Konsentrasi larutan = 77,67%

$$L = \frac{F \times Xf}{Xl} = \frac{3964 \times 98\%}{77,67\%} = 5001,607$$

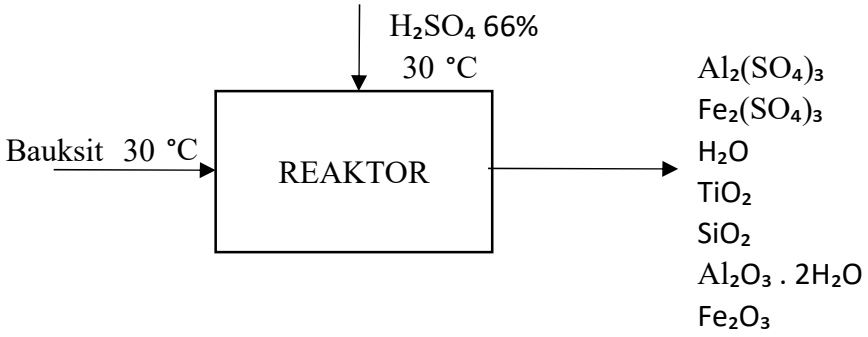
H_2O 22,33% = H_2SO_4 77,7% x 22%
= 5001,6070 x 22%
= 1116,8589 kg

Penambahan air proses = H_2O 77,67% - H_2O pada feed
= 1116,8589 - 79,3
= 1037,5783 kg

NERACA MASSA TANGKI PENGENCERAN

Komponen Masuk (kg/jam)			Komponen Keluar (kg/jam)		
Asam sulfat bahan baku 98%			Asam sulfat 77,67% ke reaktor		
H_2SO_4 98%	=	3884,74819	H_2SO_4 77,67%	=	3884,7482
H_2O	=	79,2805752	H_2O	=	1116,8589
		3964,02876			
Penambahan air proses					
H_2O	=	1037,5783			
TOTAL		5001,6070	**TOTAL**	=	5001,6070

3.REAKTOR - 1



Kondisi Operasi :
Tekanan = 1 atm
Suhu Operasi = 110 °C

Reaksi yang terjadi :
Reasi Utama :

$Al_2O_3 . 2H_2O + 3\ H_2SO_4 \longrightarrow Al_2(SO_4)_3 + 5\ H_2O$

Reaksi Samping :

$Fe_2O_3 + 3\ H_2SO_4 \longrightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 3\ H_2O$

Feed Masuk dari Tangki

Komponen	Berat (kg/jam)
H_2SO_4 77,67%	3884,7482
H_2O	1116,8589
	5001,6070

Feed Masuk dari Ball Mill

Komponen	Berat (kg/jam)
$Al_2O_3 . 2H_2O$	1823,45323
Fe_2O_3	383,5743041
SiO_2	354,0685884
TiO_2	35,40685884
H_2O	354,0685884
	2950,57157

Reaksi Utama

$Al_2O_3 . 2H_2O + 3\ H_2SO_4 \longrightarrow Al_2(SO_4)_3 + 5\ H_2O$

Konversi : 92% (Keyes : 1961)

	$Al_2O_3 . 2H_2O$	+ $3\ H_2SO_4$	$\longrightarrow Al_2(SO_4)_3$	+ $5\ H_2O$
mula-mula =	13,2134	39,640288		
reaksi =	12,15635487	36,469065	12,156355	60,781774
sisa =	1,0571	3,171223	12,156355	60,781774

Tinjauan reaksi :

Mula-mula

$Al_2O_3 . 2H_2O$ = 13,2134 kmol/jam x 138 kg/kmol
= 1823,45323 kg/jam

H_2SO_4 = 39,6402876 kmol/jam x 98 kg/kmol
= 3884,74819 kg/jam

Reaksi Konversi 92%

$Al_2O_3 . 2H_2O$ = 12,1563549 kmol/jam x 138 kg/kmol
= 1677,57697 kg/jam

H_2SO_4 = 36,4690646 kmol/jam x 98 kg/kmol
= 3573,96833 kg/jam

$Al_2(SO_4)_3$ terbentuk = 12,1563549 kmol/jam x 342 kg/kmol
= 4157,47337 kg/jam

H_2O terbentuk = 60,7817743 kmol/jam x 18 kg/kmol
= 1094,07194 kg/jam

Sisa

$Al_2O_3 . 2H_2O$ = 1823,4532 - 1677,576972
= 145,8763 kg

H_2SO_4 = 3884,74819 - 3573,968331
= 310,779855 kg/jam

Reaksi Samping

$$Fe_2O_3 + 3\ H_2SO_4 \longrightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 3\ H_2O$$

H_2SO_4 sisa dari reaksi 1 = 310,77985 kg/jam
= 3,171223 kmol

Asumsi : H_2SO_4 sisa dari reaksi 1 = H_2SO_4 mula-mula pada reaksi 2

	Fe_2O_3	+	3 H_2SO_4	⟶	$Fe_2(SO_4)_3$	+	3 H_2O
mula-mula	2,3973394		3,17122301				
reaksi	1,0570743		3,17122301		1,05707434		3,171223
sisa	1,3402651		0		1,05707434		3,171223

Tinjauan reaksi

Mula-mula

Fe_2O_3 = 2,3973 kmol/jam x 160 kg/kmol
= 383,5743 kg/jam

Reaksi

H_2SO_4 = 3,17122301 kmol/jam x 98 kg/jam
= 310,779855 kg/jam

Fe_2O_3 = 1,05707434 kmol/jam x 160 kg/jam
= 169,131894 kg/jam

$Fe_2(SO_4)_3$ = 1,05707434 kmol/jam x 400 kg/jam
= 422,829735 kg/jam

H_2O = 3,17122301 kmol/jam x 18 kg/jam
= 57,0820142 kg/jam

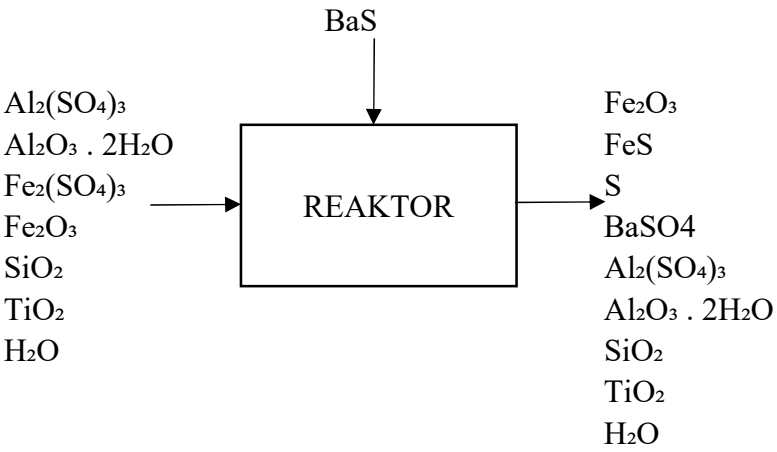
Sisa

Fe_2O_3 = 383,5743 - 169,1318938
= 214,4424 kg/jam

NERACA MASSA REAKTOR-1

Komponen Masuk (kg/jam)			Komponen Keluar (kg/jam)			
Dari Keluaran Screen						
$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	1823,4532	$Al_2(SO_4)_3$	=	4157,4734	reaksi
Fe_2O_3	=	383,574304	$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,8763	sisa
SiO_2	=	354,068588	$Fe_2(SO_4)_3$	=	422,82973	reaksi
TiO_2	=	35,4068588	Fe_2O_3	=	214,4424	sisa
H_2O	=	354,068588	SiO_2	=	354,06859	tetap
		2950,57157	TiO_2	=	35,406859	tetap
			H_2O	=	2622,0814	
Dari tangki pengencer					7952,1786	
H_2SO_4 77,67%	=	3884,7482				
H_2O	=	1116,8589				
		5001,6070				
TOTAL		7952,1786	**TOTAL**		7952,1786	

4.REAKTOR - 2



Reaksi :

	$Fe_2(SO_4)_3$	+ 3 BaS	⟶ 2 FeS	+ 3 $BaSO_4$	+ S
mula	1,0570743	3,17122301			
reaksi	1,0570743	3,17122301	2,114148673	3,171223	1,0570743
sisa	0	0	2,114148673	3,171223	1,0570743

Tinjauan Reaksi

Mula-mula

$Fe_2(SO_4)_3$ = Fe2(SO)4 bereksi = 1,057074336 kmol/jam x 400 kg/kmol
= 422,8297346 kg/jam

BaS mula-mula = BaS bereaaksi = 3 x 1,057074336 kmol/jam x 169 kg/kmol
= 535,9366886 kg/jam

Reaksi

Fes yang terbentuk = 2 x 1,057074336 kmol/jam x 88 kg/kmol
= 186,04508 kg/jam

BaSO4 yang terbentuk = 3 x 1,057074336 kmol/jam x 233 kg/kmol
= 738,89496 kg/jam

S yang terbentuk = 1 x 1,057074336 kmol/jam x 32 kg/kmol
= 33,826379 kg/jam

Komposisi BaS

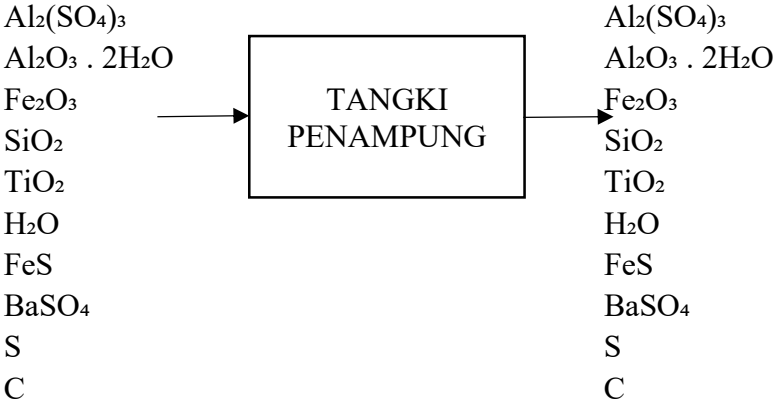
Komponen	%Berat	Berat (kg/jam)
BaS	70%	535,9367
C	30%	229,6872
	100%	765,6238

Kebutuhan BaS = 765,6238 kg/jam

NERACA MASSA REAKTOR-2

Komponen Masuk (kg/jam)			**Komponen Keluar (kg/jam)**		
$Al_2(SO_4)_3$	=	4157,47337	$Al_2(SO_4)_3$	=	4157,4734
$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,876258	$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,87626
$Fe_2(SO_4)_3$	=	422,829735	Fe_2O_3	=	214,44241
Fe_2O_3	=	214,44241	SiO_2	=	354,06859
SiO_2	=	354,068588	TiO_2	=	35,406859
TiO_2	=	35,4068588	H_2O	=	2622,0814
H_2O	=	2622,08139			7529,3489
		7952,17861			
BaS dari Tangki			Hasil reaksi		
BaS	=	535,9367	FeS	=	186,04508
C	=	229,6872	$BaSO_4$	=	738,89496
		765,6238	S	=	33,826379
			C	=	229,6872
					1188,4536
TOTAL		8717,8024	**TOTAL**		8717,8024

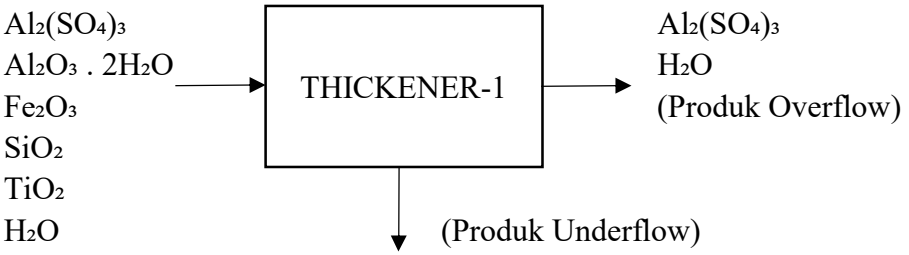
5.TANGKI PENAMPUNG dari REAKTOR 2



NERACA MASSA TANGKI PENAMPUNG

Komponen Masuk (kg/jam)			Komponen Keluar (kg/jam)		
$Al_2(SO_4)_3$	=	4157,47337	$Al_2(SO_4)_3$	=	4157,4734
$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,876258	$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,87626
Fe_2O_3	=	214,44241	Fe_2O_3	=	214,44241
SiO_2	=	354,068588	SiO_2	=	354,06859
TiO_2	=	35,4068588	TiO_2	=	35,406859
H_2O	=	2622,08139	H_2O	=	2622,0814
FeS	=	186,045083	FeS	=	186,04508
$BaSO_4$	=	738,894961	$BaSO_4$	=	738,89496
S	=	33,8263788	S	=	33,826379
C	=	229,687152	C	=	229,68715
TOTAL		8717,80245	**TOTAL**		8717,8024

6. THICKENER - 1



Asumsi :

1 Sebesar 5% produk liquid terikut solid

2 Tidak ada produk solid terikut liquid

Produk Liquid terikut solid :

$Al_2(SO_4)_3$ = 5% x 4157,4734 kg/jam

= 207,873668 kg/jam

H_2O = 5% x 2622,0814 kg/jam

= 131,10407 kg/jam

Total produk = 338,977738 kg/jam

Produk Overflow (liquid)

$Al_2(SO_4)_3$ = 4157,47337 - 207,8736683
= 3949,5997 kg/jam

H_2O = 2622,08139 - 131,1040696
= 2490,97732 kg/jam

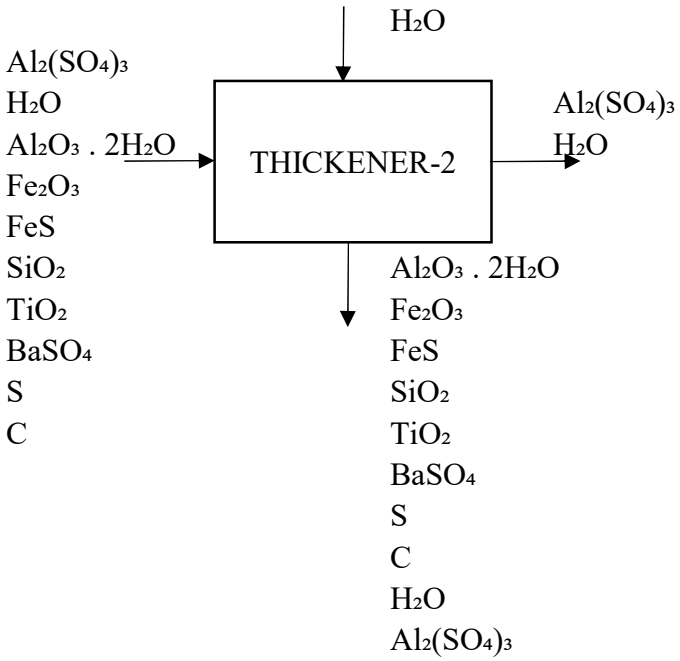
Produk Underflow

$Al_2(SO_4)_3$ = 207,873668
$Al_2O_3 . 2H_2O$ = 145,876258
Fe_2O_3 = 214,44241
SiO_2 = 354,068588
TiO_2 = 35,4068588
H_2O = 131,10407
FeS = 186,045083
$BaSO_4$ = 738,894961
S = 33,8263788
C = 229,687152

NERACA MASSA THICKENER-1

Komponen Masuk (kg/jam)			**Komponen Keluar (kg/jam)**		
Larutan dari reaktor -2			Produk overflow (Liquid)		
$Al_2(SO_4)_3$	=	4157,47337	$Al_2(SO_4)_3$	=	3949,5997
$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,876258	H_2O	=	2490,9773
Fe_2O_3	=	214,44241			6440,577
SiO_2	=	354,068588	Produk underflow (solid)		
TiO_2	=	35,4068588	$Al_2(SO_4)_3$	=	207,87367
H_2O	=	2622,08139	$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,87626
FeS	=	186,045083	Fe_2O_3	=	214,44241
$BaSO_4$	=	738,894961	FeS	=	186,04508
S	=	33,8263788	SiO_2	=	354,06859
C	=	229,687152	TiO_2	=	35,406859
			$BaSO_4$	=	738,89496
			S	=	33,826379
			C		229,68715
			H_2O		131,10407
					2277,2254
TOTAL		8717,80245	**TOTAL**		8717,8024

8. THICKENER -2



Kondisi Operasi :
Suhu Operasi = 30 °C

Data kelarutan :

Kelarutan Al2(SO4)3 pada 30°C = $\frac{40,4 \text{ gr}}{100 \text{ gr H2O}}$ (Perry 7ed: T.2-120)

Kelarutan Al2(SO4)3 pada 30°C = $\frac{0,0404 \text{ kg}}{0,1 \text{ kg H2O}}$

Berat Al2(SO4)3 = 207,87367 kg

H2O yang dibutuhkan = 207,87367 x $\frac{0,1}{0,0404}$ kg H2O

= 514,53878 kg

H2O pada feed = 131,10407 kg

Asumsi : H2O yang ditambahkan untuk mencuci slurry berlebih
(10% dari H2O yang ditambahkan)

H2O yang ditambah = H2O yang dibutuhkan - H2O pada feed
= 514,538783 - 131,1040696
= 383,4347132 kg/jam

H2O berlebih = 10% x H2O yang ditambah
= 38,3434713 kg/jam

Total H2O yang ditambahkan = H2O yang ditambah + H2O berlebih
= 383,4347132 + 38,343471
= 421,7781845 kg/jam

Asumsi : 5% liquid terikat pada slurry

Al2(SO4)3 = 5% x Berat Al2(SO4)3
= 5% x 207,87367 kg/jam
= 10,3936834 kg/jam

H2O = 5% x (H2O yang dibutuhkan + H2O berlebih)
= 5% x (514,5387828 + 38,343471)
= 27,64411271

Produk Overflow

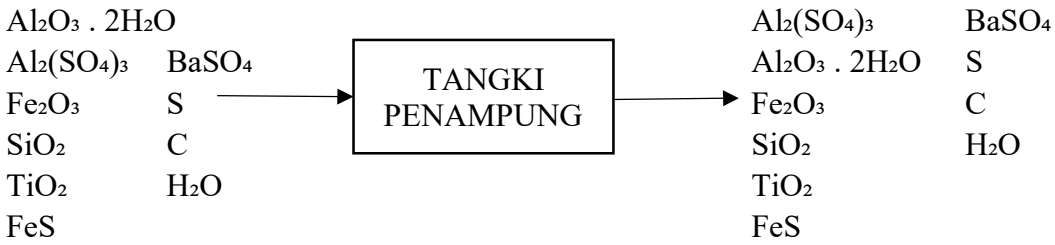
Al2(SO4)3 = 207,8736683 - 10,39368341
= 197,4799848 kg/jam

H2O = 421,778185 + 131,1040696 - 27,644113
= 525,238141 kg/jam

NERACA MASSA THICKENER -2

Komponen Masuk (kg/jam)			Komponen Keluar (kg/jam)		
Produk Underflow dari thickener-1			Produk overflow (liquid)		
$Al_2(SO_4)_3$	=	207,873668	$Al_2(SO_4)_3$	=	197,47998
$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,876258	H_2O	=	525,23814
Fe_2O_3	=	214,44241			722,71813
FeS	=	186,045083			
SiO_2	=	354,068588	Produk underflow (solid)		
TiO_2	=	35,4068588	$Al_2(SO_4)_3$	=	10,393683
$BaSO_4$	=	738,894961	$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,87626
S	=	33,8263788	Fe_2O_3	=	214,44241
C	=	229,687152	SiO_2	=	354,06859
H_2O	=	131,10407	TiO_2	=	35,406859
		2277,22543	FeS	=	186,04508
			$BaSO_4$	=	738,89496
Penambahan air proses			S	=	33,826379
H_2O	=	421,778185	C	=	229,68715
			H_2O	=	27,644113
					1976,2855
TOTAL		2699,00361	**TOTAL**		2699,0036

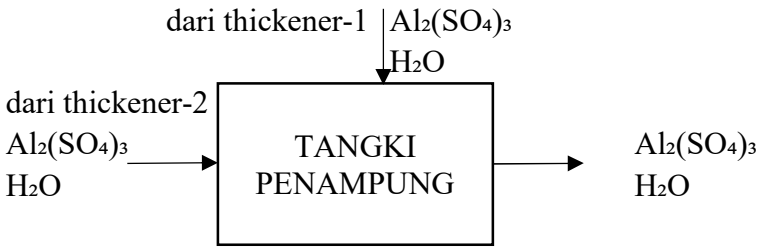
9. Tangki Penampung $BaSO_4$



NERACA MASSA TANGKI PENAMPUNG $BaSO_4$

Komponen Masuk (kg/jam)			Komponen Keluar (kg/jam)		
$Al_2(SO_4)_3$	=	10,3936834	$Al_2(SO_4)_3$	=	10,393683
$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,876258	$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,87626
Fe_2O_3	=	214,44241	Fe_2O_3	=	214,44241
SiO_2	=	354,068588	SiO_2	=	354,06859
TiO_2	=	35,4068588	TiO_2	=	35,406859
FeS	=	186,045083	FeS	=	186,04508
$BaSO_4$	=	738,894961	$BaSO_4$	=	738,89496
S	=	33,8263788	S	=	33,826379
C	=	229,687152	C	=	229,68715
H_2O	=	27,6441127	H_2O	=	27,644113
		1976,28549			1976,2855
TOTAL		1976,28549	**TOTAL**		1976,2855

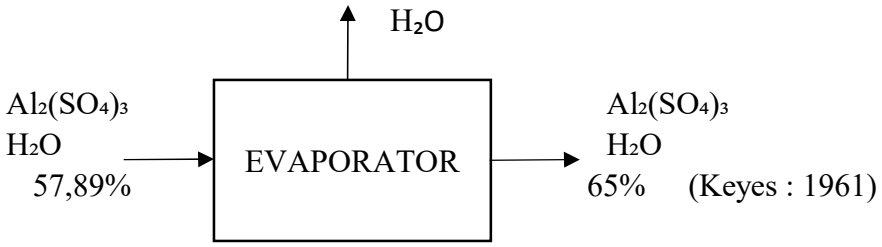
10. TANGKI PENAMPUNG dari THICKENER-2



NERACA MASSA TANGKI PENAMPUNG

Komponen Masuk (kg/jam)			Komponen Keluar (kg/jam)		
Larutan dari thickener-1			Menuju Evaporator		
$Al_2(SO_4)_3$	=	3949,5997	$Al_2(SO_4)_3$	=	4147,0797
H_2O	=	2490,97732	H_2O	=	3016,2155
		6440,57702			7163,2951
Larutan dari thickener-2					
$Al_2(SO_4)_3$	=	197,479985			
H_2O		525,238141			
		722,718126			
TOTAL		7163,29515	**TOTAL**		7163,2951

11. EVAPORATOR



Bahan Masuk Evaporator :

Komponen	Masuk (kg/jam)	Fraksi Berat (%)
$Al_2(SO_4)_3$	4147,079682	57,89%
H_2O	3016,215464	42,11%
	7163,295146	100%

Fraksi Berat :

$Al_2(SO_4)_3$ = Berat AL2(SO4)3 masuk / Total feed masuk = 4147,07968 / 7163,29515 x 100%
= 0,5789 x 100%
= 57,89%

H_2O = Total fraksi berat - Fraksi berat Al2(SO4)3
= 100% - 57,89%
= 42,11%

Asumsi : Tidak ada $Al_2(SO_4)_3$ yang menguap

Neraca massa total = F = V + L

Neraca massa komponen $Al_2(SO_4)_3$

F x Xf = V x Xv + L x Xl
7163,2951 x 57,9% = V x 0 + L x 65,00%
4147,0797 = L x 65,0%
L = 4147,0797 / 65,00%
L = 6380,1226 kg/jam

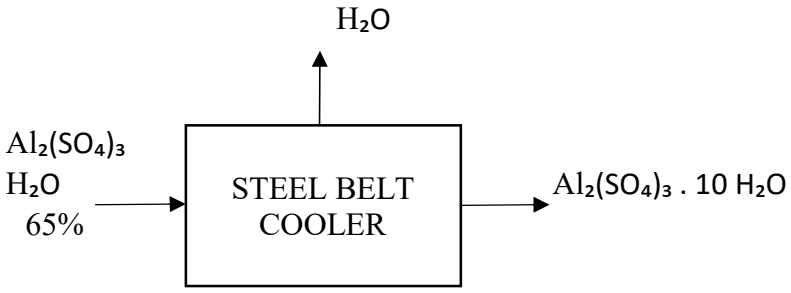
Berat air pada produk = Berat produk akhir - Berat $Al_2(SO_4)_3$
= 6380,1226 - 4147,079682
= 2233,0429 kg/jam

Berat air yang menguap = Berat air pada feed - Berat air pada produk
= 3016,2155 - 2233,0429
= 783,17256 kg/jam
persen air menguap = 10,93313262

NERACA MASSA EVAPORATOR

Komponen Masuk (kg/jam)			Komponen Keluar (kg/jam)		
Liquid dari Thickener-1			Liquid ke Steel Belt Cooler		
$Al_2(SO_4)_3$	=	4147,07968	$Al_2(SO_4)_3$	=	4147,07968
H_2O	=	3016,21546	H_2O	=	2233,04291
		7163,29515			6380,12259
			Air yang menguap		
			H_2O	=	783,172559
TOTAL		7163,29515	**TOTAL**		7163,29515

12. STEEL BELT COOLER



Kadar pemekatan bahan dari evaporator = 65%

Feed Masuk Steel Belt Cooler

Komponen	Berat (kg/jam)
$Al_2(SO_4)_3$	4147,079682
H_2O	2233,042906
	6380,122587

Asumsi : Air yang menguap = 3%

Air yang menguap = 3% x 2233,0429
= 66,9912872 kg/jam

Berat air pada produ = Berat air pada feed - Berat air yang menguap
= 2233,042906 - 66,99128717
= 2166,051618 kg/jam

Berat produk = Berat total feed - Berat air yang menguap
= 6380,122587 - 66,99128717
= 6313,1313 kg/jam

Jumlah air kristal pada produk :

Air kristal yang terbentuk di steel belt cooler ($Al_2(SO_4)_3$. X H_2O)

$$\text{Mol } Al_2(SO_4)_3 = \frac{4147,07968 \text{ kg}}{342 \text{ kg/kmol}} = 12,125964 \text{ kmol}$$

$$\text{Mol } H_2O = \frac{2166,05162 \text{ kg}}{18 \text{ kg/kmol}} = 120,336201 \text{ kmol}$$

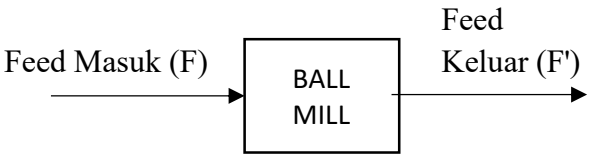
$$X = \frac{\text{Mol } H_2O}{\text{Mol } Al_2(SO_4)_3}$$

$$X = \frac{120,336201}{12,125964} = 9,923846154 = 10$$

NERACA MASSA STEEL BELT COOLER

Komponen Masuk (kg/jam)			Komponen Keluar (kg/jam)		
Larutan dari Evaporator					
$Al_2(SO_4)_3$	=	4147,07968	$Al_2(SO_4)_3 . 10 H_2O$	=	6313,1313
H_2O	=	2233,04291			
		6380,12259	Air yang menguap		
			H_2O	=	66,991287
TOTAL		6380,12259	**TOTAL**		6380,1226

13. Ball Mill



Feed Masuk

Komponen	Berat (kg/jam)
$Al_2(SO_4)_3 . 10 H_2O$	6313,1313

Produk Keluar Ball Mill

Komponen	Feed (F) (kg/jam)	Feed Keluar (F') (kg/jam) (F+R)
$Al_2(SO_4)_3 . 10 H_2O$	6313,1313	6313,1313

NERACA MASSA BALL MILL

Komponen Masuk (kg/jam)			Komponen Keluar (kg/jam)		
Padatan dari Steel Belt Cooler					
$Al_2(SO_4)_3 . 10 H_2O$	=	6313,1313	$Al_2(SO_4)_3 . 10 H_2O$	=	6313,1313
TOTAL		6313,1313	**TOTAL**		6313,1313

Penentuan Kapasitas Produksi :

Aluminium sulfat yang dihasilkan = 6313,1313

Kapasitas yang diharapkan = 50000 ton/tahun

= 6313,1313 kg/jam

Maka faktor scale up pabrik = 1

APPENDIX B
NERACA PANAS

Kapasitas produksi = 50.000 ton/tahun
Waktu operasi = 1 hari = 24 jam
1 tahun = 330 hari

$$\text{Laju alir} = \frac{50.000 \text{ ton}}{\text{tahun}} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{\text{ton}}$$
$$= \frac{50.000.000 \text{ kg}}{\text{tahun}} \times \frac{1 \text{ tahun}}{330 \text{ hari}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}}$$
$$= 6.313{,}1313 \text{ kg/jam}$$

Satuan massa = kg / jam
Satuan panas = kkal / jam
Suhu reference = 25 ^{o}C
Basis perhitungan = 1 jam operasi

Persamaan panas untuk kondisi aliran steady; Q = ΔH = H_2 - H_1

$$\Delta H = n \cdot Cp \cdot \Delta T = \int_{Tref}^{T} n\, Cp\, \Delta T$$ **(Himmelblau : 386)**

Dengan :

H	=	Panas	;	kkal
n	=	Berat Bahan	;	kmol
Cp	=	Spesific Heat	;	kkal/kmol.Kelvin
T_{ref}	=	Suhu Reference	;	Kelvin
T	=	Suhu Bahan	;	Kelvin

$Cp = A + B.T + C.T^2 + D.T^3$ **(Sherwood : Appendix A)**

Dengan :

Cp	=	Spesific Heat	;	kkal/kmol.Kelvin
A, B, C, D	=	Konstanta		
T	=	Suhu bahan	;	Kelvin

Perhitungan integrasi ΔH, (Himmelblau : 386) :

$Cp = A + B.T + C.T_2 + D.T_3$ **(Sherwood : Appendix A)**

Cp = kkal/kmol.Kelvin

$$\Delta H = \int_{Tref}^{T} n\, Cp\, \Delta T = \int_{Tref}^{T} n\,(A + B.[T + C.T]^2 + D.T^3)\, dT$$

$$= n\,[\blacksquare((A(T - T_{ref})) + (B/2\,(T^2 - [T_{ref}]^2)) + " " (C/3\,(T^3 - [T_{ref}]^3)) + @(D/4\,(T^4 - [T_{ref}]^4)))]$$

= kmol x $\frac{\text{kkal}}{\text{kmol.K}}$ x K

= kkal

Perhitungan Integrasi ΔH, (Perry 7ed, T.2-194):

Cp = A + B.T + C/T

Cp = kkal/kmol.K

ΔH = $n \int_{Tref}^{T} Cp\, \Delta T$ $n \int_{Tref}^{T} (A+B.T+C/T)\, dT$

= $n\,[(A(T-T_{ref}))+(B/2\,(T^2-T_{ref}^2))+(C/((1/T-1/T_{ref})))]$

= kmol x $\frac{\text{kkal}}{\text{kmol.K}}$ x K

= kkal

Tabel 1. Data Konstanta Panas

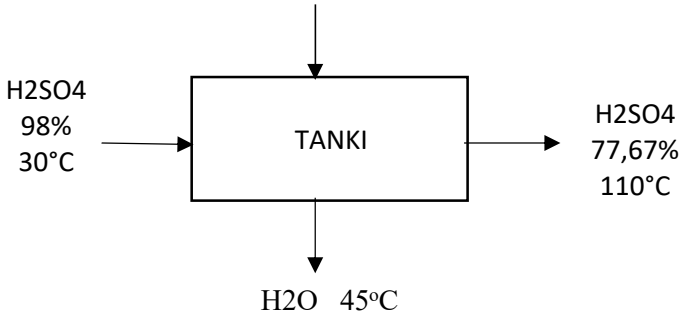
Literature : Perry 8ed; Table 2-151 (Cal/mol K)

Komponen		BM (kg/mol)	A	B	C	D	Satuan (kal/mol.K)
Al2O3(s)		102	22,08	0,008971	-522500		kal/mol.K
Fe2O3(s)		160	24,72	0,01604	-423400		kal/mol.K
TiO2(s)		79,9	11,81	0,00754	-41900		kal/mol.K
SiO2(s)		60,06	10,87	0,008712	-241200		kal/mol.K
H2SO4(l)	77,67%	98	0,44				kkal/kg.C
H2SO4(l)	98%	98	0,3				kkal/kg.C
Al2(SO4)3(l)		342	63,5				kal/mol.K
Fe2(SO4)3(l)		400	66,2				kal/mol.K
BaS(s)		169	1,1797	2,2225	-0,23686		kal/mol.K
FeS(s)		112	2,03	0,039			kal/mol.K
BaSO4		233	21,35	0,0141			kal/mol.K
S(s)		32	3,63	0,0064			kal/mol.K
H2O (g)		18	8,22	0,00015	0,00000134		kal/mol.K
H2O(l)		18	0,99866				kkal/kg.C
$Al_2(SO_4)_3$. $10H_2O$		522	235				
C		12	2,162	0,0031	-130300		kal/mol.K

Data Specific heat dari Perry ed 7 ; tabel 2-194

1kal/g.C = 4,184 kJ/kg.K

1. TANGKI PENGENCER



Kondisi operasi :
Tekanan operasi = 1 atm
Suhu operasi = 30 °C
Entalpi baha masuk + Entalpi pearutan = Entalpi bahan keluar
T saat masuk tangki = 30 °C = 303,15 °K
T reference = 25 °C = 298,15 °K

Entalpi Bahan Masuk

Entalpi H2SO4 masuk ke tangki pengencer pada suhu = 30 °C

Komponen	Berat (kg/jam)	Berat (g/jam)	BM (kg/kmol)	n (kmol)
H2SO4	3884,748186	3884748,186	98	39,64028762
H2O	79,28057523	79280,57523	18	4,404476402
	3964,028762			

Data kapasitas panas bahan pada suhu : 30 °C = 303,15 °K

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT \quad H2SO4 = A \left[T - Tref \right]$$

$$= 0{,}3 \left[30 - 25 \right]$$

$$= 1{,}5 \text{ kkal/kg}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT \quad H2O = A \left[T - Tref \right]$$

$$= 0{,}99866 \left[30 - 25 \right]$$

$$= 4{,}9933 \text{ kkal/kg}$$

Entalpi bahan : $\Delta H = n \int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT$

ΔH	H2SO4	=	3884,748186	kg	x	1,5	kkal/kg =	5827,1 kkal/jam
ΔH	H2O	=	79,28057523	kg	x	4,9933	kkal/kg =	395,87 kkal/jam
								6222,994 kkal/jam

2. Entalpi air proses pada suhu 30°C

Komposisi	Berat (Kg/jam)	BM (kg.mol)	Rate mol (kmol/jam)
H2O	1037,5783	18	57,6432

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT \qquad \Delta H = A \left[T - Tref \right]$$

$$= 0{,}99866 \left[30 - 25 \right]$$

$$= 4{,}9933 \text{ kkal/kg}$$

Entalpi bahan : $\Delta H = n \int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT$

ΔH H2O = 1037,5783 x 4,9933
= 5180,9396 kkal

Entalpi Tota = ΔH H2O + ΔH H2SO4
= 5180,9396 + 6222,994
= 11403,934 kkal/jam

Panas Pengenceran Bahan ΔHs

Komposisi	Berat (Kg/jam)	BM (kg.mol)	Rate mol (kmol/jam)
H2SO4 66%	3884,7482	98	39,6403

Dari fig. 81 pg. 394 (Hougen & Watson) :
H2O 98% : Hs = -1000 kkal/kmol
H2SO4 66% : Hs = -8700 kkal/kmol

Entalpi Bahan Pengenceran

H2SO4 98%	= 39,640288	x -1000	=	-39640,29	
H2SO4 66%	= 39,6403	x -8700	=	-344870,5	+
				-384510,8	

Entalpi Bahan Keluar
Data kapasitas panas bahan pada suhu : 30 °C = 303,15 °K

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT \quad H2SO4\ 66\% = A \left[T - Tref \right]$$

$$= 0{,}44 \left[154 - 110 \right]$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT \qquad H2O = A \left[T - Tref \right]$$

$$= 0{,}99866 \left[154 - 110 \right]$$

$$= 43{,}94104 \text{ kkal/kg}$$

Entalpi bahan : $\Delta H = n \int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT$

ΔH	H2SO4	=	3884,748186	kg	x	19,36	kkal/kg =	75209 kkal/jam
ΔH	H2O	=	1116,858852	kg	x	43,941	kkal/kg =	49076 kkal/jam
								124284,66 kkal/jam

Neraca Energi Total

Q masuk	=	Q Keluar		
Q Bahan masuk +	Q Pengenceran	=	Q bahan keluar +	Q serap
11403,93358 +	384510,7899	=	124284,6644 +	Q serap
	Q Serap	=	271630,0591 kkal/jam	

Kebutuhan air pendingin :

Suhu air pendingin masu = 30

Suhu air pendingin kelua = 45

Cp air pendingin = 0,99866 kkal/kg.C

Q serap = m x Cp x ΔT

$$m = \frac{Q\ serap}{Cp \times \Delta T}$$

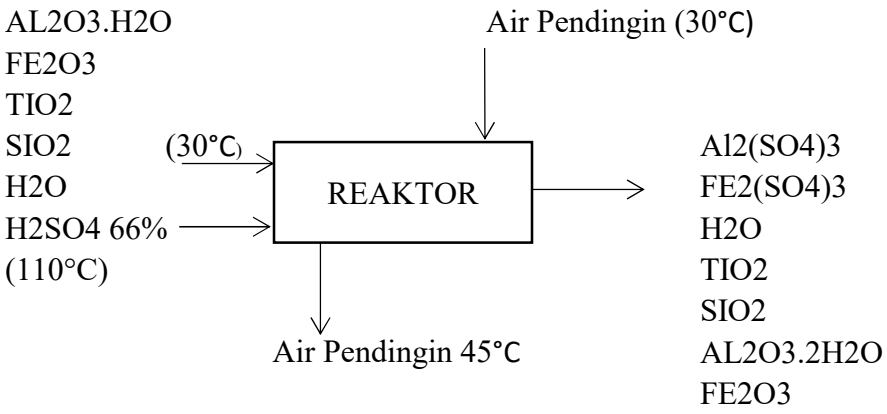
$$= \frac{271630{,}0591}{0{,}99866 \times 15}$$

$$= 18132{,}969 \text{ kg}$$

Neraca Panas

Komponen	Masuk (kkal/jam)	Komponen	Keluar (kkal/jam
* Larutan H2SO4		* Larutan H2SO4	
H2SO4 98%	5827,122279	H2SO4 66%	75208,72489
H2O	395,8716963	H2O	49075,93947
	6222,994		124284,6644
*Air Proses			
H2O	5180,939607		
Q Pengenceran	384510,7899	Q Serap	271630,0591

2. REAKTOR 1



Kondisi Operasi :
Tekanan Operas : 1 atm
Suhu Operasi : 110°C

Reaksi yang terjadi :

$AL_2O_3.2H_2O + 3\,H_2SO_4 \longrightarrow Al_2(SO_4)_3 + 5\,H_2O$ (RX 1)
$FE_2O_3 + 3\,H_2SO_4 \longrightarrow Fe_2(SO_4)_3 + 3\,H_2O$ (RX 2)

Dari Perrry 5th ed T.3-176 e.3-126, diperoleh nilai c :
Cp H2O (30°C) = 0,99866 kkal/kg°C
Cp H2O (110°C) = 1,01053 kkal/kg°C

Entalpi Masuk :

Entalpi bahan dari screen pada suhu 30 oC $\Delta H = n \int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT$

Komponen	Berat (kg/jam)	BM (kg/kmol)	n (kmol)
$Al_2O_3 . 2H_2O$	1823,45323	138	13,21342921
Fe_2O_3	383,5743041	160	2,397339401
SiO_2	354,0685884	60	5,895247892
TiO_2	35,40685884	80	0,44313966
H_2O	354,0685884	18	19,67047713
	2950,57157		

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ Al_2O_3 . 2H_2O = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 22{,}08\ [\ 303{,}15 - 298{,}15\ ] + \frac{0{,}008971}{2}[\ 303{,}15^{\,2} - 298{,}15^{\,2}\ ] + -522500\ [\ \frac{1}{303{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\ ]$$

$$= 110{,}4 + 13{,}486 + 28{,}904397$$

$$= 152{,}79005 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ Fe_2O_3 = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 24{,}72\ [\ 303{,}15 - 298{,}15\ ] + \frac{0{,}01604}{2}[\ 303{,}15^{\,2} - 298{,}15^{\,2}\ ] + -423400\ [\ \frac{1}{303{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\ ]$$

$$= 123{,}6 + 24{,}112 + 23{,}422242$$

$$= 171{,}13437 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ SiO_2 = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 10{,}87\ [\ 303{,}15 - 298{,}15\ ] + \frac{0{,}008712}{2}[\ 303{,}15^{\,2} - 298{,}15^{\,2}\ ] + -241200\ [\ \frac{1}{303{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\ ]$$

$$= 54{,}35 + 13{,}096 + 13{,}343044$$

$$= 80{,}789358 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ TiO_2 = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 11{,}81\ [\ 303{,}15 - 298{,}15\ ] + \frac{0{,}00754}{2}[\ 303{,}15^{\,2} - 298{,}15^{\,2}\ ] + -41900\ [\ \frac{1}{303{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\ ]$$

$$= 59{,}05 + 11{,}335 + 2{,}3178837$$

$$= 72{,}702389 \text{ kal/mol}$$

$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ H_2O = A\ [T - Tref]$

$= 0{,}9987\ [\ 303{,}15\ -\ 298{,}15\ ]$

$= 4{,}9933$ kkal/kg

Entalpi bahan : $\Delta H = n \int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT$

$\Delta H\ Al_2O_3 . 2H_2($	=	13213,429	mol	x	152,79005	kal/mol	=	2018880,5 kal
$\Delta H\ Fe_2O_3$	=	2397,3394	mol	x	171,13437	kal/mol	=	410267,17 kal
$\Delta H\ SiO_2$	=	5895,2479	mol	x	80,789358	kal/mol	=	476273,29 kal
$\Delta H\ TiO_2$	=	443,13966	mol	x	72,702389	kal/mol	=	32217,312 kal
$\Delta H\ H_2O$	=	354,06859	kg	x	4,9933	kkal/kg	=	1767,9707 kkal
						Entalpi total	=	2937638,3 kal
							=	4705,609 kkal

Entalpi bahan dari tangki pengencer pada suhu 110 °C $\Delta H = n \int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT$

Komponen	Berat (kg/jam)	BM (kg/kmol)	n (kmol)	Entalpi Bahan (kkal/jam)
H2SO4(l)	3884,748186	98	39,64028762	75208,72489
H2O (l)	1116,858852	18	62,04771397	49075,93947
				124284,6644

Total entalpi masuk = Entalpi dari screen + Entalpi dari tangki H2SO4

= 4705,609 kkal + 124284,66 kkal

= 128990,27 kkal

Entalpi keluar :

Entalpi bahan menuju ke Reaktor II pada suhu = 110 °C $\Delta H = n \int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT$

Komponen	Berat (kg/jam)	BM (kg/kmol)	n (kmol)
$Al_2(SO_4)_3$	4157,473365	342	12,15635487
$Fe_2(SO_4)_3$	422,8297346	400	1,057074336
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	138	1,057074336
Fe_2O_3	214,4424103	160	1,340265064

TiO_2	35,40685884	80	0,44313966
H_2O	2622,081392	18	145,6711885
	7952,178608		

Data kapasitas panas bahan pada suhu 110 °C = 383,15 K

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT \quad Al_2(SO_4)_3 = A\ [\ T - Tref\ ]$$

$$= 63,5\ [\ ###### - 298,15\ ]$$

$$= 5397,5 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT \quad H_2O = A\ [\ T - Tref\ ]$$

$$= 66,2\ [\ 383,15 - 298,15\ ]$$

$$= 5627 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ Al_2O_3 . 2H_2O = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 22,08\ [\ 383,15 - 298,15\ ] + \frac{0,008971}{2}\ [\ 383,15^2 - 298,15^2\ ] + -522500\ \left[\frac{1}{383,15} - \frac{1}{298,15}\right]$$

$$= 1876,8 + 259,76 + 388,77791$$

$$= 2525,3355 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ Fe_2O_3 = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 24,72\ [\ 383,15 - 298,15\ ] + \frac{0,01604}{2}\ [\ 383,15^2 - 298,15^2\ ] + -423400\ \left[\frac{1}{383,15} - \frac{1}{298,15}\right]$$

$$= 2101,2 + 464,44 + 315,04032$$

$$= 2880,6825 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ SiO_2 = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 10,87\ [\ 383,15 - 298,15\ ] + \frac{0,008712}{2}\ [\ 383,15^2 - 298,15^2\ ] + -241200\ \left[\frac{1}{383,15} - \frac{1}{298,15}\right]$$

$$= 923,95 + 252,26 + 179,4703$$

$$= 1355,6784 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ TiO_2 = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\ \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 11{,}81\ [\ 383{,}15\ -\ 298{,}15\ ] + \frac{0{,}00754}{2}\ [\ 383{,}15^{\,2} - 298{,}15^{\,2}\ ] + -41900\ \left[\frac{1}{383{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\right]$$

$$= 1003{,}85 + 218{,}32 + 31{,}17664$$

$$= 1253{,}3492\ kal/mol$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ H_2O = A\ [\ T - Tref\ ]$$

$$= 1{,}0105\ [\ 110{,}00\ -\ 25\ ]$$

$$= 85{,}89505\ kal/kg$$

Entalpi bahan : $\Delta H = n \int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT$

$\Delta H\ Al_2(SO_4)_3$	=	5397,5	kal/mol	x	12156,355	mol	=	65613925 kal
$\Delta H\ Fe_2(SO_4)_3$	=	5627	kal/mol	x	1057,0743	mol	=	5948157,3 kal
$\Delta H\ Al_2O_3 . 2H_2O$	=	2525,3355	kal/mol	x	1057,0743	mol	=	2669467,3 kal
$\Delta H\ Fe_2O_3$	=	2880,6825	kal/mol	x	1340,2651	mol	=	3860878,2 kal
$\Delta H\ SiO_2$	=	1355,6784	kal/mol	x	5901,1431	mol	=	8000052,5 kal
$\Delta H\ TiO_2$	=	1253,3492	kal/mol	x	443,13966	mol	=	555408,75 kal
$\Delta H\ H_2O$	=	85,89505	kkal/kg	x	2622,0814	kg	=	225223,81 kkal
					Entalpi total		=	86647889 kal
					Entalpi total		=	311871,7 kkal

Panas reaksi :
Berdasarkan himmelblau halaman 45 :
Panas reaksi standart 25°C
ΔH reaksi pada suhu standar :
$\Delta H\ °_R\ 25°C$ = [$\Delta H\ °F\ 25°C$ produk } - [$\Delta H\ °F\ 25°C$ reaktan]

reaksi yang terjadi :

AL2O3. 2H2O + 3 H2SO4 ⟶ AL2(SO4)3 + 5 H2O (RX 1)
FE203 + 3 H2SO4 ⟶ FE2(SO4)3 + 3 H2O (RX 2)

Data ΔH °F komponen : (Perry 7ed ; T 2.220)

Komponen	ΔH °F (kkal/mol)
$Al_2(SO_4)_3$	-893,9
$Fe_2(SO_4)_3$	-653,3
Al2O3	-399,09
H2SO4	-193,69
H2O	-68,3174
Fe2O3	-198,5

1) AL2O3. 2H2O + 3 H2SO4 ⟶ 1 AL2(SO4)3 + 5 H2O (RX 1)

mol AL2O3. 2H2O = 12,156355 kmol = 12156,35487 mol
mol H2SO4 = 36,469065 kmol = 36469,06461 mol
mol AL2(SO4)3 = 12,156355 kmol = 12156,35487 mol
mol H2O = 60,781774 kmol = 60781,77434 mol

ΔH °R 25°C = [(12156,355 x -893,9) + (60781,774 x -68,32)]

- [(12156,355 x -399,1) + (36469 x -193,7)]

= -3103845,62 kkal

2) FE203 + 3 H2SO4 ⟶ 1 FE2(SO4)3 + 3 H2O (RX 2)

mol FE203 = 1,0570743 kmol = 1057,0743 mol
mol H2SO4 = 3,171223 kmol = 3171,223 mol
mol FE2(SO4)3 = 1,0570743 kmol = 1057,0743 mol
mol H2O = 3,171223 kmol = 3171,223 mol

ΔH °R 25°C = [(1057,0743 x -653,3) + (3171,223 x -68,32)]

- [(1057,0743 x -198,5) + (3171,2 x -193,7)]

= -83172,93435 kkal

ΔH Reaksi- 1 = -3103845,62 kkal
ΔH Reaksi-2 = -83172,93435 kka +
Reaksi -3187018,554 kkal (Reaksi Eksoterm, karena ΔHR total (-))

Neraca energi total :

Q masuk = Q Keluar
Q bahan masuk + Q reaksi = Q bahan keluar + Q Serap
128990,2734 + 3187018,6 = 311871,7017 + Q Serap

Q Serap = 3004137,126 kkal/jam

Kebutuhan air pendingin (m) = Q/Cp.ΔT

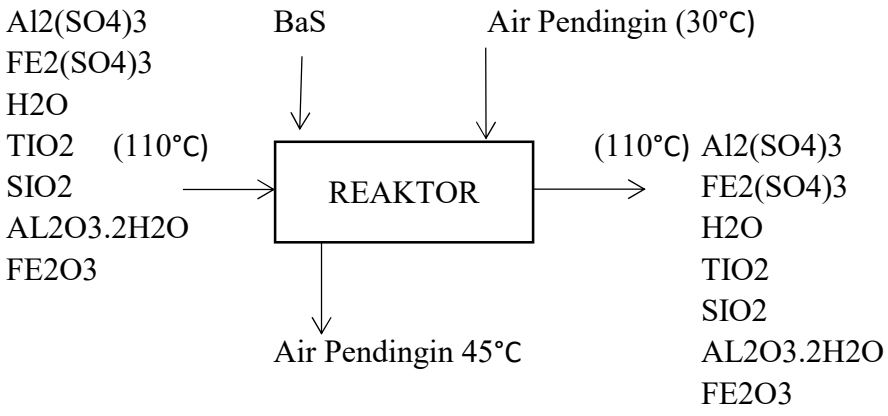
$$= \frac{3004137,126}{0,9987 \times 15}$$

= 200544,54 kg

Neraca Panas

Komponen	Masuk (kkal/jam)	Komponen	Keluar (kkal/jam
* Larutan H2SO4		*Larutan	
H2SO4 66%	124284,6644	Al2(SO4)3	65613,9254
*Bauksit dari Screen		Al2O3.2H2O	2669,4673
Al2O3.2H2O	2018,880545	Fe2(SO4)3	5948,157291
Fe2O3	410,2671738	Fe2O3	3860,878152
TiO2	32,21731181	TiO2	555,4087494
SiO2	476,2732931	SiO2	8000,052507
H2O	1767,970682	H2O	225223,8123
	128990,2734		311871,7017
Q Reaksi	3187018,554	Q Serap	3004137,126
	3316008,827		3316008,827

3. REAKTOR 2



Komponen Masuk (kg/jam)			Komponen Keluar (kg/jam)		
$Al_2(SO_4)_3$	=	4157,4734	$Al_2(SO_4)_3$	=	4157,4734
$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,87626	$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	145,87626
$Fe_2(SO_4)_3$	=	422,82973	Fe_2O_3	=	214,44241
Fe_2O_3	=	214,44241	SiO_2	=	354,06859
SiO_2	=	354,06859	TiO_2	=	35,406859
TiO_2	=	35,406859	H_2O	=	2622,0814
H_2O	=	2622,0814			7529,3489
		7952,1786			
BaS dari Tangki			Hasil reaksi		
BaS	=	535,9367	FeS	=	186,04508
C	=	229,6872	$BaSO_4$	=	738,89496
		765,6238	S	=	33,826379
			C	=	229,68715
					1188,4536
TOTAL		8717,802	**TOTAL**		8717,8024

Entalpi BaS pada suhu 110 °C = 383,15 °K

Data kapasitas panas :

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT \quad BaS = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 1{,}18\ [\ 383{,}15 - 298{,}15\ ] + \frac{2{,}2225}{2}\ [\ 383{,}15^{\,2} - 298{,}15^{\,2}\ ] + -0{,}23686\ \left[\frac{1}{383{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\right]$$

$$= 100{,}2711 + 64353 + 0{,}0001762$$

$$= 64453{,}314 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT \quad C = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 2{,}16\ [\ 383{,}15 - 298{,}15\ ] + \frac{0{,}0031}{2}\ [\ 383{,}15^{\,2} - 298{,}15^{\,2}\ ] + -130300\ \left[\frac{1}{383{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\right]$$

$$= 183{,}77 + 89{,}761 + 96{,}952653$$

$$= 370{,}48393 \text{ kal/mol}$$

Entalpi bahan masuk :

ΔH BaS = 3171,223 mol x 64453,314 kal/mol = 204395,8336 kkal/jam

ΔH C = 19140,596 mol x 370,48393 kal/mol = 7091,283199 kkal/jam

Total Entalpi Bahan Masuk :

ΔH	$Al_2(SO_4)_3$	=	65613,9254	kkal/jam
ΔH	$Al_2O_3 . 2H_2O$	=	2669,4673	kkal/jam
ΔH	$Fe_2(SO_4)_3$	=	5948,157291	kkal/jam
ΔH	Fe_2O_3	=	3860,878152	kkal/jam
ΔH	SiO_2	=	8000,052507	kkal/jam
ΔH	TiO_2	=	555,4087494	kkal/jam
ΔH	H_2O	=	225223,8123	kkal/jam
ΔH	BaS	=	204395,8336	kkal/jam
ΔH	C	=	7091,283199	kkal/jam
	Total	=	523358,8185	kkal/jam

Q Reaksi

$$Fe2(SO4)3 + 3\ BaS \longrightarrow 2\ FeS + 3\ BaSO4 + S$$

Data ΔH_F °R komponen : (Perry 7ed ; T 2.220)

Komponen	ΔHF 0 (kkal/mol)
Fe2(SO4)3	-653,3
BaS	-111,2
FeS	-22,64
BaSO4	-340,2
S	0

1) $Fe2(SO4)3 + 3\ BaS \longrightarrow 2\ FeS + 3\ BaSO4 + S$

mol	Fe2(SO4)3	=	1,0570743	kmol	=	1057,074336 mol
mol	BaS	=	3,171223	kmol	=	3171,223009 mol
mol	FeS	=	2,1141487	kmol	=	2114,148673 mol
mol	BaSO4	=	3,171223	kmol	=	3171,223009 mol

ΔH °R 25°C = [(2114,1487 x -22,64) + (3171,223 x -340,2

- [(1057,0743 x -653,3) + (3171,2 x -111,2)]

= -83487,73109 kkal (Reaksi Eksoterm)

ENTALPI BAHAN KELUAR

Al2(SO4)3	=	65613,9254
Al2O3.2H2O	=	2669,4673
Fe2(SO4)3	=	5948,157291
Fe2O3	=	3860,878152
TiO2	=	555,4087494
SiO2	=	8000,052507
H2O	=	225223,8123

Entalpi FeS pada suhu 110 °C = 383,15 °K

Data kapasitas panas :

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ FeS = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2]$$

$$= 2{,}03\ [\ 383{,}15 - 298{,}15\ ] + \frac{0{,}039}{2}\ [\ 383{,}15^{\,2} - 298{,}15^{\,2}\ ]$$

$$= 172{,}55 + 1129{,}3$$

$$= 1301{,}8048 \text{ kal/mol}$$

$$\Delta H\ FeS = 1661{,}116814 \text{ mol} \times 1301{,}80475 \text{ kal/mol}$$

$$= 2162449{,}759 \text{ kal}$$

$$= 2162{,}449759 \text{ kkal}$$

Entalpi BaSO4 pada suh 110 °C = 383,15 °K

Data kapasitas panas :

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ BaSO4 = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2]$$

$$= 21{,}35\ [\ 383{,}15 - 298{,}15\ ] + \frac{0{,}0141}{2}\ [\ 383{,}15^{\,2} - 298{,}15^{\,2}\ ]$$

$$= 1814{,}75 + 408{,}27$$

$$= 2223{,}019 \text{ kal/mol}$$

$$\Delta H\ BaSO4 = 3171{,}223009 \text{ mol} \times 2223{,}019025 \text{ kal/mol}$$

$$= 7049689{,}082 \text{ kal}$$

$$= 7049{,}689082 \text{ kkal}$$

Entalpi S pada suhu 110 °C = 383,15 °K

Data kapasitas panas :

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT \quad S = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2]$$

$$= 3{,}63\ [\ 383{,}15\ -\ 298{,}15\ ] + \frac{0{,}0064}{2}\ [\ 383{,}15^{\,2} - 298{,}15^{\,2}\ ]$$

$$= 308{,}55 + 185{,}31$$

$$= 493{,}8636 \text{ kal/mol}$$

$$\Delta H\ S = 1057{,}074336 \text{ mol} \times 493{,}8636 \text{ kal/mol}$$

$$= 522050{,}5372 \text{ kal}$$

$$= 522{,}0505372 \text{ kkal}$$

Entalpi C pada suhu 110 °C = 383,15 °K

Data kapasitas panas :

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT \quad C = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\ \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 2{,}16\ [\ 383{,}15\ -\ 298{,}15\ ] + \frac{0{,}0031}{2}\ [\ 383{,}15^{\,2} - 298{,}15^{\,2}\ ] + -130300\ \left[\frac{1}{383{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\right]$$

$$= 183{,}77 + 89{,}761 + 96{,}952653$$

$$= 370{,}48393 \text{ kal/mol}$$

$$\Delta H\ C = 19140{,}59602 \text{ mol} \times 370{,}4839281 \text{ kal/mol}$$

$$= 7091283{,}199 \text{ kal}$$

$$= 7091{,}283199 \text{ kkal}$$

Total Entalpi Bahan Keluar

ΔH Al2(SO4)3	=	65613,9254	kkal/jam
ΔH Al2O3.2H2O	=	2669,4673	kkal/jam
ΔH Fe2O3	=	3860,878152	kkal/jam
ΔH TiO2	=	555,4087494	kkal/jam
ΔH SiO2	=	8000,052507	kkal/jam
ΔH H2O	=	225223,8123	kkal/jam
ΔH FeS	=	2162,449759	kkal/jam
ΔH BaSO4	=	7049,689082	kkal/jam
ΔH S	=	522,0505372	kkal/jam
ΔH C	=	7091,283199	kkal/jam
Total Entalpi	=	322749,017	kkal/jam

Neraca Energi Total

	Qmasuk	=	Qkeluar		
Q bahan masuk +	Qreaksi	=	Q bahan keluar	+	Q serap
523358,82 +	83487,731	=	322749,017	+	Qserap
	Q serap	=	284097,5327	kkal/jam	

Kebutuhan air pendingin (m) = $\frac{Q}{Cp \times \Delta T}$

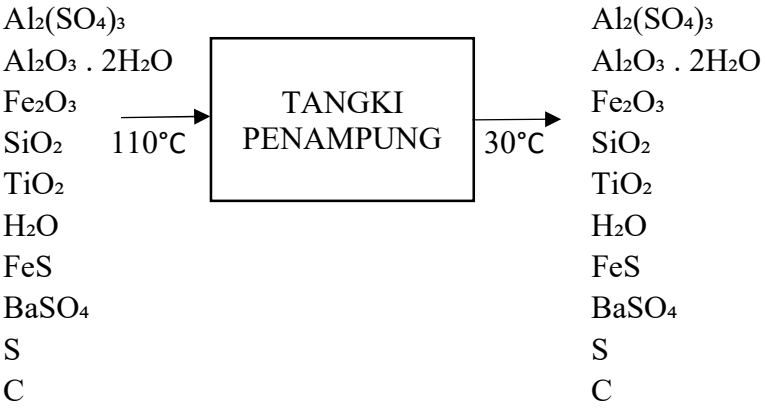
$= \frac{284097,5327}{0,99866 \times 15}$

$= 18965,24894$ kg

Neraca Panas

Komponen	Masuk (kkal/jam)	Komponen	Keluar (kkal/jam
* Larutan dari Reaktor-1		*Larutan	
Al2(SO4)3	65613,9254	Al2(SO4)3	65613,9254
Al2O3.2H2O	2669,4673	Al2O3.2H2O	2669,4673
Fe2(SO4)3	5948,157291	Fe2O3	3860,878152
Fe2O3	3860,878152	TiO2	555,4087494
TiO2	555,4087494	SiO2	8000,052507
SiO2	8000,052507	H2O	225223,8123
H2O	225223,8123	FeS	2162,449759
	311871,7017	BaSO4	7049,689082
*BaS dari tangki		S	522,0505372
BaS	204395,8336	C	7091,283199
C	7091,283199		322749,017
	211487,1168		
Q Reaksi	83487,73109	Q Serap	284097,5327
Total	606846,5496	**Total**	606846,550

4.TANGKI PENAMPUNG



Entalpi Bahan Masuk :

Al2(SO4)3	=	65613,9254	kkal/jam
Al2O3.2H2O	=	2669,4673	kkal/jam
Fe2O3	=	3860,878152	kkal/jam
TiO2	=	555,4087494	kkal/jam
SiO2	=	8000,052507	kkal/jam
H2O	=	225223,8123	kkal/jam
FeS	=	2162,449759	kkal/jam
BaSO4	=	7049,689082	kkal/jam
S	=	522,0505372	kkal/jam
C	=	7091,283199	kkal/jam

Total Entalpi Bahan Masuk = 322749,017 kkal/jam

Entalpi Bahan Keluar

T keluar = 30°C = 303,15

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ \begin{matrix}Al2(S\\O4)3\end{matrix} = A\ [T- Tref]$$

$$= 63,50\ [\ 303,15\ -\ 298,15\ ]$$

$$= 317,5\ kal/mol$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ \begin{matrix}Al2O3.\\2H2O\end{matrix} = A\ [T- Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\ \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 22,08\ [\ 303,15\ -\ 298,15\ ] + \frac{0,008971}{2}\ [\ 303,15^{2}$$

$$- \quad 298{,}15 \quad] + -522500 \left[\frac{1}{303{,}15} - \frac{1}{298{,}15} \right]$$

$$= \quad 110{,}4 \quad + \quad 13{,}485656 \quad + \quad 28{,}904397$$

$$= \quad 152{,}7900527 \quad \text{kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ Fe2O3 = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 24{,}72\ [\ 303{,}15 - 298{,}15\ ] + \frac{0{,}01604}{2}\ [\ 303{,}15^{2} - 298{,}15^{2}\ ] + -423400\ \left[\frac{1}{303{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\right]$$

$$= \quad 123{,}6 \quad + \quad 24{,}11213 \quad + \quad 23{,}422242$$

$$= \quad 171{,}1343724 \quad \text{kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ TiO2 = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= \quad 11{,}81\ [\ 303{,}15 - 298{,}15\ ] + \frac{0{,}00754}{2}\ [\ 303{,}15^{2} - 298{,}15^{2}\ ] + -41900\ \left[\frac{1}{303{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\right]$$

$$= \quad 59{,}05 \quad + \quad 11{,}334505 \quad + \quad 2{,}3178837$$

$$= \quad 72{,}7023887 \quad \text{kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ SiO2 = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= \quad 10{,}87\ [\ 303{,}15 - 298{,}15\ ] + \frac{0{,}008712}{2}\ [\ 303{,}15^{2} - 298{,}15^{2}\ ] + -241200\ \left[\frac{1}{303{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\right]$$

$$= \quad 54{,}35 \quad + \quad 13{,}096314 \quad + \quad 13{,}343044$$

$$= \quad 80{,}7893581 \quad \text{kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ H2O = A\ [T - Tref]$$

$$= \quad 1{,}00\ [\ 30 \quad - \quad 25\ ]$$

$$= \quad 4{,}9933 \quad \text{kkal/kg}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ FeS = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2]$$

$$= 2{,}03 \left[303{,}15 - 298{,}15 \right] + \frac{0{,}039}{2} \left[303{,}15^2 - 298{,}15^2 \right]$$

$$= 10{,}15 + 58{,}62675$$
$$= 68{,}77675 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ BaSO4 = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2]$$

$$= 21{,}35 \left[303{,}15 - 298{,}15 \right] + \frac{0{,}0141}{2} \left[303{,}15^2 - 298{,}15^2 \right]$$

$$= 106{,}75 + 21{,}195825$$
$$= 127{,}945825 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ S = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2]$$

$$= 3{,}63 \left[303{,}15 - 298{,}15 \right] + \frac{0{,}0064}{2} \left[303{,}15^2 - 298{,}15^2 \right]$$

$$= 18{,}15 + 9{,}6208$$
$$= 27{,}7708 \text{ kal/mol}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ C = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref} \right]$$

$$= 2{,}16 \left[303{,}15 - 298{,}15 \right] + \frac{0{,}0031}{2} \left[303{,}15^2 - 298{,}15^2 \right] + -130300 \left[\frac{1}{303{,}15} - \frac{1}{298{,}15} \right]$$

$$= 10{,}81 + 4{,}660075 + 7{,}2081204$$
$$= 22{,}67819543 \text{ kal/mol}$$

Komponen	Berat (kg/jam)	BM (kg/kmol)	n (kmol)
Al2(SO4)3	4157,473365	342	12,15635487
Al2O3.2H2O	145,8762584	400	0,364690646
Fe2O3	214,4424103	138	1,553930509
TiO2	35,40685884	80	0,442585736
SiO2	354,0685884	60	5,90114314
H2O	2622,081392	18	145,6711885
FeS	186,0450832	88	2,114148673
BaSO4	738,8949611	233	3,171223009
S	33,82637876	32	1,057074336
C	229,6871522	12	19,14059602

Entalpi Bahan Keluar

Entalpi bahan : $\Delta H = n \int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT$

ΔH Al2(SO4)3	=	317,5	kal/mol	x	12156,355	mol	=	3859642,7 kal
ΔH Al2O3.2H2O	=	152,79005	kal/mol	x	364,69065	mol	=	55721,103 kal
ΔH Fe2O3	=	171,13437	kal/mol	x	1553,9305	mol	=	265930,92 kal
ΔH TiO2	=	72,702389	kal/mol	x	442,58574	mol	=	32177,04 kal
ΔH SiO2	=	80,789358	kal/mol	x	5901,1431	mol	=	476749,57 kal
ΔH H2O	=	4,9933	kal/mol	x	2622,0814	kg	=	13092,839 kkal
ΔH FeS	=	68,77675	kkal/kg	x	2114,1487	mol	=	145404,27 kal
ΔH BaSO4	=	127,94583	kal/mol	x	3171,223	mol	=	405744,74 kal
ΔH S	=	27,7708	kal/mol	x	1057,0743	mol	=	29355,8 kal
ΔH C	=	22,678195	kal/mol	x	19140,596	mol	=	434074,18 kal
					entalpi total		=	5704800,299 kal
					entalpi total + h20		=	18797,63932 kkal/jam

Neraca Energi Total

Q Masuk = Q Keluar

Q Bahan Masuk = Q Bahan Keluar + Q Serap

322749,017 = 18797,63932 + Q Serap

Q Serap = 303951,3777 kkal/jam

Kebutuhan Air Pendingin

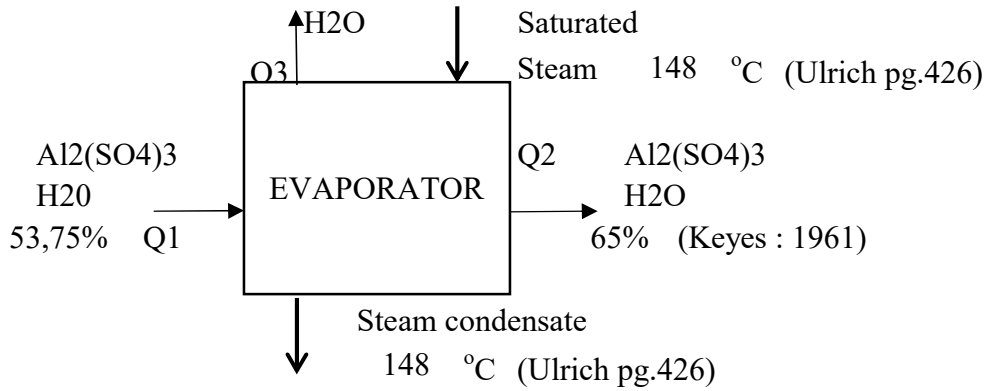
Kebutuhan air pendingin (m) = $\frac{Q}{Cp \times \Delta T}$

0,99866 x 15
= 20290,6146 kg

Neraca Panas

Komponen	Masuk (kkal/jam)	Komponen	Keluar (kkal/jam
* Larutan dari Reaktor-1		*Larutan	
Al2(SO4)3	65613,9254	Al2(SO4)3	3859,642671
Al2O3.2H2O	2669,4673	Al2O3.2H2O	55,72110303
Fe2O3	3860,878152	Fe2O3	265,9309225
TiO2	555,4087494	TiO2	32,17704018
SiO2	8000,052507	SiO2	476,7495664
H2O	225223,8123	H2O	13092,83902
FeS	2162,449759	FeS	145,4042747
BaSO4	7049,689082	BaSO4	405,7447442
S	522,0505372	S	29,35579998
C	7091,283199	C	434,0741771
			18797,639
	322749,017		
		Q Serap	303951,3777
Total	322749,017	**Total**	322749,017

5. EVAPORATOR



Kondisi Operasi

Tekanan	=	0,467	atm	=	6,86023	lbf/m	=	47,36 kPa
Suhu	=	80	°C					
T saat masuk evaporator	=	30,00	°C	=	303,15	°K		
T reference	=	25	°C	=	298,15	°K		
T saat keluar evaporator	=	80	°C	=	353,15	°K		
Cp air suhu 80° C	=	1,00294	kkal/gr°C	(Perry, 5ed T 3.176 pg.3-126)				

Entalpi bahan masuk + Q supply = Entalpi bahan keluar + Q loss

Perhitungan entalpi bahan masuk

Entalpi Bahan Masuk dari Tangki Penampung Thickener:

Komposisi	Berat (kg/jam)	BM (kg/kmol)	Rate mol (kmol/jam)
Al2(SO4)3	4147,0797	342	12,1260
H20	3016,2155	18	167,5675
TOTAL	7163,2951		179,6935

Entalpi Alumunium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$)

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ \begin{matrix}Al2(S\\O4)3\end{matrix} = A\ [T- Tref]$$

$$= 63,50\ [\ 303,15\ -\ 298,15\ ]$$

$$= 317,5\ kal/mol$$

$$\Delta H\ Al2(SO = n\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$$

$$= 12,1260\ \frac{kmol}{jam}\ x\ 317,50\ \frac{kal}{kmol}$$

$$= 12.125,96\ \frac{mol}{jam}\ x\ 317,50\ \frac{kal}{mol}$$

$$= 3849993,564\ al/jam = 3849,9936\ kkal/jam$$

Entalpi Air (H_2O)

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ H2O = A\ [T- Tref]$$

$$= 1,00\ [\ 30\ -\ 25\ ]$$

$$= 4,9933\ kkal/kg$$

$$\Delta H\ H_2O = n\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$$

$$= 3.016,2155\ \frac{kg}{jam}\ x\ 4,99\ \frac{kkal}{kg}$$

$$= 15.060,87\ kkal/jam$$

$$Q1 = \Delta H\ Al2(SO4)3 + \Delta H\ H_2O$$

$$= 3.849,994 + 15.060,869$$

$$= 18.910,862\ kkal/jam$$

Perhitungan entalpi bahan keluar

Entalpi Bahan keluar:

Komposisi	Berat (kg/jam)	BM (kg/kmol)	Rate mol (kmol/jam)
Al2(SO4)3	4147,0797	342	12,1260
H20	2233,0429	18	124,0579
TOTAL	6380,1226		136,1839

Entalpi Alumunium Sulfat ($Al_2(SO_4)_3$)

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ \begin{matrix}Al2(S\\O4)3\end{matrix} = A\ [T- Tref]$$

$$= 63,50\ [\ 353,15\ -\ 298,15\ ]$$

$$= 3492,5\ kal/mol$$

$$\Delta H\ Al2(SO = n\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$$

$$= 12,1260\ \frac{kmol}{jam}\ x\ 3.492,50\ \frac{kal}{kmol}$$

$$= 12.125,96\ \frac{mol}{jam}\ x\ 3.492,50\ \frac{kal}{mol}$$

$$= 42349929,21\ al/jam = 42349,929\ kkal/jam$$

Entalpi Air (H_2O)

$$\int_{T\,ref}^{T} \begin{matrix}Cp\\dT\end{matrix}\ T = A\ [T- Tref]$$

$$= 1,00\ [\ 80\ -\ 25\ ]$$

$$= 54,9263\ kkal/kg$$

$$\Delta H\ H_2O = n\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$$

$$= 2.233,0429\ \frac{kg}{jam}\ x\ 54,93\ \frac{kkal}{kg}$$

$$= 122.652,78\ kkal/jam$$

$$Q2 = \Delta H\ Al2(SO4)3 + \Delta H\ H_2O$$

$$= 42.349,929 + 122.652,785$$

$$= 165.002,714\ kkal/jam$$

Entalpi uap air ke barometrik kondensor pada suhu 115°C (388,15°K)

Komposisi	Berat (kg/jam)	BM (kg/kmol)	Rate mol (kmol/jam)
H2O(g)	783,1726	18,000	43,5096

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT\ \ H2O = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\ \left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 8{,}22\ [\ 353{,}15\ -\ 298{,}15\ ] + \frac{0{,}00015}{2}\ [\ 353{,}15\ -\ 298{,}15\ ^2\ ] + 1{,}34E\text{-}06\ \left[\frac{1}{353{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\right]$$

$$= 452{,}1 + 2{,}6866125 + -7E\text{-}10$$

$$= 454{,}7866125 \text{ kal/mol}$$

$\Delta H\ H_2O = n \int_{Tref}^{T} Cp\ dT$

$$= 43{,}5096\ \frac{\text{kmol}}{\text{jam}}\ x\ 454{,}787\ \frac{\text{kal}}{\text{mol}}$$

$$= 43509{,}587\ \frac{\text{mol}}{\text{jam}}\ x\ 454{,}787\ \frac{\text{kal}}{\text{mol}}$$

$$= 19787577{,}50 \text{ kal/jam}$$

$$= 19.787{,}577 \text{ kkal/jam}$$

λH_2O = 2119,5000 KJ/Kg (Smith, Appendix F)

= 506,5727 kkal/kg konversi kkal ke kj = 4,184

Entalpi bahan: $\Delta H \int_{Tref}^{T} Cp\ dT + n.\lambda$

Q3 $\Delta H\ H_2O$ uap = 9229507,8019 kkal/jam

Total entalpi bahan keluar = Q2 + Q3

= 9.394.510,5156 kkal/jam

Neraca energi total:

asumsi Q loss = 5% Q supply (Kehilangan maks = 10%) (Ulrich, hal 432)

Entalpi bahan masuk + Q supply = Entalpi bahan keluar + Q loss

18910,8622 + Q supply = 9394510,52 + 5% Q supply

Q supply - Q supply 5% = 9375599,65 kkal/jam

95% Q supply = 9375599,65 kkal/jam

Q supply = 9869052,267 kkal/jam

Q loss = 5% Q supply

Q loss = 493452,6133 kkal/jam

Kebutuhan steam :

Suhu steam masuk = 148 °C (Ulrich : 427)

Suhu steam keluar = 148 °C (Ulrich : 427)

λ steam = 5838,164 kkal/kg.°C (Perry 6^{ed}; fig 3-11)

Q steam = m . λ steam

$$\text{M steam} = \frac{\text{Q steam}}{\lambda \text{ steam}} = \frac{9.869.052,2667}{5838,164}$$

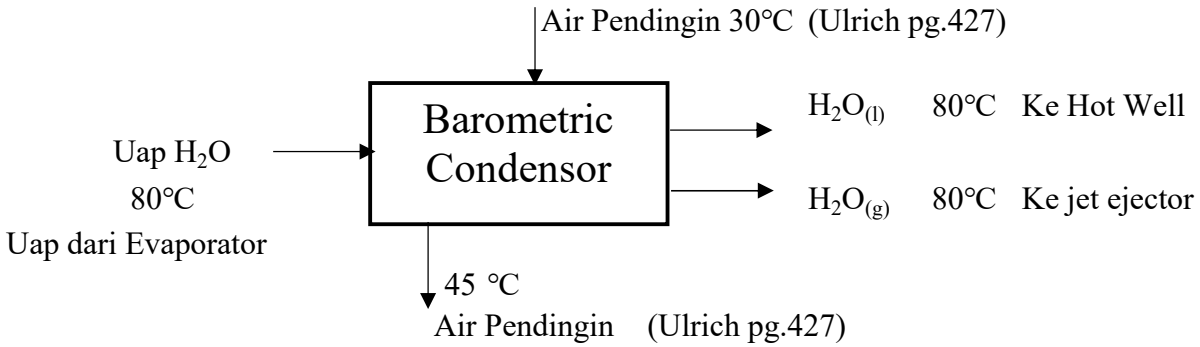
= 1.690,4375 Kg

Steam Ekonomi = Vapor/M Steam = 0,5 (Single Evaporator)

NERACA ENERGI VACUUM EVAPORATOR

Energi Masuk (Kkal/jam)			**Energi Keluar (Kkal/jam)**		
$Al_2(SO_4)_3$	=	3.849,9936	$Al_2(SO_4)_3$	=	42.349,9292
H_2O	=	15.060,8687	H_2O	=	122.652,7845
		18.910,8622			165.002,7137
			H2O Menguap	=	9.229.507,802
			Q loss	=	493.452,6133
Q Supply	=	9.869.052,2667			
TOTAL	=	**9.887.963,1290**	**TOTAL**	=	**9.887.963,1290**

6. BAROMETRIC CONDENSOR



Kondisi Operasi

T saat masuk condensor = 80 °C = 353,15 K

T reference = 25 °C = 298,15 K

T saat keluar condensor = 80 °C = 353,15 K

Entalpi Bahan Masuk :

Uap H_2O dari Evaporator pada suhu 80°C

Uap H_2O = 9.229.507,8019 kkal/jam

Asumsi :

(Non Condensable gas tidak boleh melebihi 1% dari uap air yang masuk)

(Ludwig , Page ; 375)

Masuk Jet Ejector

Uap air yang lolos (Non Condensable Gas) = 0,99% x Uap air yang masuk

= 0,99% x 783,1726

= 7,7534 kg/jam

= 0,4303 kmol/jam

Kondensat = Uap air yang masuk - Uap air non Condensat

= 783,1726 - 7,7534

= 775,4192 kg/jam = 43,0788 kmol/jam

Entalpi Bahan keluar :

*Uap air H2O masuk ke Jet Ejector pada suhu 80 °C

H2O (g) = 0,4303 x 454,7866125

= 195,6795954 kkal/jam

*Kondensat H2O(l) masuk ke Hot Well pada suhu 80 °C

$\Delta H = m \lambda$ (Terjadi perubahan fase)

λ vapor = 551,8032 kj/kg = 131,88413 kkal/kg

(J.M Smith 7 ed.,steam tabel app F)

H2O (l) = 775,4192 x 131,88413

H2O (l) = 102265,48 kkal/jam

Total Q Bahan Keluar = 102461,1596 kkal/jam

Neraca Energi Total :

Entalpi Bahan Masuk = Entalpi Bahan Keluar

Entalpi Bahan Masuk = Entalpi Bahan Keluar + Q serap

9.229.507,8019 = 102.461,1596 + Q serap

Q serap = 9.229.507,8019 - 102.461,1596

Q serap = 9.127.046,6422 kkal/jam

Kebutuhan Air Pendingin :

Suhu air pendingin masuk = 30 °C **(Ulrich : 427)**

Suhu air pendingin keluar = 45 °C **(Ulrich : 427)**

Cp air pendingin = 0,9987 kkal/kg.°C **(Perry 6ed; fig 3-11)**

Q serap = m . Cp . ΔT

M air pendingin $= \frac{\text{Q serap}}{\text{Cp . } \Delta T}$

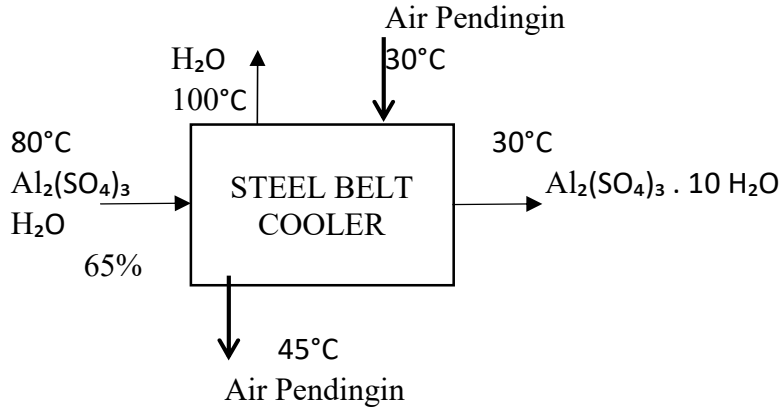
$= \frac{9.127.046,6422}{0.99866 \text{ x } (45\text{-}30)}$

= 609.286,2197 kg/jam

NERACA ENERGI BAROMETIC CONDENSOR

Masuk (kkal/jam)			Keluar (kkal/jam)		
Uap air keluar Evaporator :			Uap air masuk Jet Ejector :		
$H_2O_{(g)}$	=	9.229.507,8019	$H_2O_{(g)}$	=	195,6796
			Condensat :		
			$H_2O_{(l)}$	=	102.265,4800
			Q serap	=	9.127.046,6422
TOTAL	**=**	**9.229.507,8019**	**TOTAL**	**=**	**9.229.507,8019**

7. STEEL BELT COOLER



Entalpi Bahan Masuk:

$Al_2(SO_4)_3$ = 42.349,9292 kkal/jam

H_2O = 122.652,7845 kkal/jam

165.002,7137 kkal/jam

Entalpi Bahan Keluar:

Komposisi	Berat (kg/jam)	BM (kg/kmol)	Rate mol (kmol/jam)
H2O(g)	66,9913	18	3,7217
$Al_2(SO_4)_3$. 10 H_2O	6313,1313	522	12,0941

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT_{H2O(g)} = A\ [T - Tref] + \frac{B}{2}[T^2 - Tref^2] + C\left[\frac{1}{T} - \frac{1}{Tref}\right]$$

$$= 8{,}22\ [\ 303{,}15\ -\ 298{,}15\ ] + \frac{0{,}00015}{2}\ [\ 303{,}15\ -\ 298{,}15^{\,2}\ ] + 1{,}34E\text{-}06\ \left[\frac{1}{303{,}15} - \frac{1}{298{,}15}\right]$$

$$= 41{,}1 + 0{,}2254875 + -7{,}41E\text{-}11$$

$$= 41{,}3254875 \text{ kal/mol}$$

$$\Delta H\ H_2O = n\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$$

$$= 3{,}7217\ \frac{kmol}{jam}\ x\ 41{,}325\ \frac{kal}{mol}$$

$$= 3721{,}7382\ \frac{mol}{jam}\ x\ 41{,}325\ \frac{kal}{mol}$$

$$= 153802{,}64 \text{ kal/jam}$$

$$= 153{,}803 \text{ kkal/jam}$$

$$\int_{T\,ref}^{T} Cp\ dT_{Al_2(SO_4)_3 . 10 H_2O} = A\ [T - Tref]$$

$$= 235{,}00\ [\ 303{,}15\ -\ 298{,}15\ ]$$

$$= 1175$$

$$= 1175 \text{ kal/mol}$$

$$\Delta H\ Al_2(SO_4)_3 . 1 = n\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$$

$$= 12{,}0941\ \frac{kmol}{jam}\ x\ 1175{,}000\ \frac{kal}{mol}$$

$$= 12094{,}121\ \frac{mol}{jam}\ x\ 1175{,}000\ \frac{kal}{mol}$$

$$= 14210592{,}49 \text{ kal/jam}$$

$$= 14.210{,}592 \text{ kkal/jam}$$

Total Entalpi Bahan Keluar : 14.364,40 kkal/jam

Neraca energi total:

asumsi Q loss = 5% Q Bahan Masuk

= 5% x 165.002,7137

= 8250,14 al/jam

ly

165002,7137 = 14364,40 + 8250,14 + Q Supply

Q supply = 142388,18 kkal/jam

Kebutuhan Air Pendingin:

Suhu air pendingin masuk = 30 °C (Ulrich : 427)

Suhu air pendingin keluar = 45 °C (Ulrich : 427)

Cp air pendingin = 0,9987 kkal/kg.°C (Perry 6^{ed}; fig 3-11)

Q serap = m . Cp . ΔT

$$\text{M air pendingin} = \frac{\text{Q serap}}{\text{Cp . }\Delta\text{T}} = \frac{142.388,1829}{0,9987 \times 15}$$

= 9.505,2826 Kg

NERACA ENERGI STEEL BELT COOLER

Energi Masuk (Kkal/jam)			**Energi Keluar (Kkal/jam)**		
Larutan dari Evaporator			Padatan ke Ball Mill		
$Al_2(SO_4)_3$	=	42.349,9292	$Al_2(SO_4)_3$	=	14.210,5925
H_2O	=	122.652,7845	H_2O	=	153,8026
		165.002,7137			14.364,3951
			Q serap	=	142.388,1829
			Q loss	=	8250,14
TOTAL		**165.002,7137**	**TOTAL**	**=**	**165.002,7137**

)]

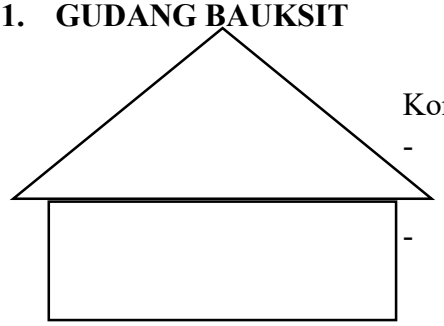
APPENDIX C
SPESIFIKASI ALAT

Kapasitas Produksi = 50000 ton/tahun
Waktu Operasi = 1 tahun = 330 hari
= 1 hari = 24 jam
Satuan Massa = kilogram/jam
Satuan Panas = kilokalori/jam

Konversi

1 kg	=	2,20463	lb	1 lb/cuft	=	16	kg/m3			
1 gr/cc	=	62,43	lb/cuft	1 hp	=	550	lb ft/dt			
1 atm	=	14,696	psi	1 kkal	=	4,2	kj			
1 cuft	=	0,02831	m3	1 btu	=	1,1	kj			
1 cuft/min	=	7,480519	gpm		=	0,3	Kkal			
1 ft	=	0,3048	m	1 in	=	2,5	cm	=	0,025	m
	=	12	in	1 lb/ft²	=	0,0069	psi			

1. GUDANG BAUKSIT



Kondisi Operasi :
- Tekanan : 1 atm
- Suhu : 30 °C
- Waktu tinggal : 30 hari

(Ulrich pg.245)

Fungsi : Untuk menampung bauksit dari supplier
Type : Berbentuk persegi panjang, beratap asbes
Dasar Pemilihan : Sesuai untuk bahan solid

Perhitungan

Komposisi bahan : (Perry 7ed ; T. 2-101)

Komposisi	% berat	Berat (kg/jam)	Densitas (g/cm^3)
$Al_2O_3 . 2H_2O$	62%	1.736,6218	3,99
Fe_2O_3	13%	365,3088	5,12
TiO_2	1%	33,7208	3,84
SiO_2	12%	337,2081	2,65
H_2O	12%	337,2081	1
Total	100%	2.810,0676	

$$\text{Densitas campuran} = \frac{1}{\sum \frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \times 62{,}43 \ \frac{\text{lb}}{\text{cuft}}$$

$$= \frac{1}{\frac{0{,}62}{3{,}99} + \frac{0{,}13}{5{,}12} + \frac{0{,}01}{3{,}84} + \frac{0{,}12}{2{,}65} + \frac{0{,}12}{1{,}00}}$$

$$= 2{,}8679 \text{ gr/cc}$$

$$= 2{,}8679 \times 62{,}43 \text{ b/cuft}$$

$$= 179{,}04368 \text{ lb/cuft}$$

Rate massa = 2.810,0676 kg/jam

= 6.195,1593 lb/jam

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$$

$$= \frac{6.195{,}1593 \text{ lb/jam}}{179{,}0437 \text{ lb/cuft}}$$

= 34,6014 cuft/jam

Ditentukan : Waktu tinggal = 7 hari

Tinggi = H m

Panjang = = Lebar = 2H m

$$\text{Volume bahan} = \frac{34{,}6014 \ \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times 24 \ \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 7 \text{ hari}}{1 \text{ penyimpan}}$$

= 5813,032662 cuft

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (faktor keamanan)

Asumsi volume bahan = 80% volume tangki

$$\text{Maka volume tangki} = \frac{5.813{,}033 \text{ cuft}}{80\%}$$

= 7.266,291 cuft = 205,71 m^3

asumsi = T = H Panjai = Lebar = 2 H

Volume gudang = P x L x T

205,709 cuft = 2Hx2HxH

H = 3,719 m

P = L = 7,438 m

Spesifikasi Gudang Bauksit:

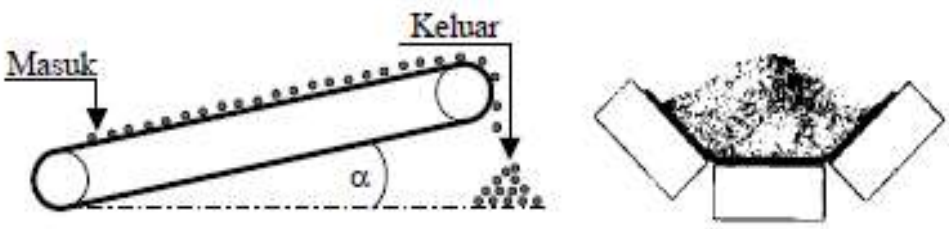
Fungsi	=	Menampung bauksit dari supplier			
Kapasitas	=	205,709	m^3		
Bentuk	=	Balok			
Bahan Kontruk	=	Beton			
Ukuran	=	Panjang	:	7,438	m
		Lebar	:	7,438	m
		Tinggi	:	3,719	m
Jumlah	=	1 buah			

2. BELT CONVEYOR

Fungsi : Memindahkan bauksit dari Gudang penyimpanan ke Ball Mill 1

Type : Belt conveyor dengan kemiringan 18,4°

Dasar pemiliha : Dipilih conveyor jenis belt sesuai dengan bahan



Perhitungan :

Rate Massa = 2.810,0676 kg/jam = 2,8101 ton/jam

Berdasarkan kapasitas bahan yang masuk = 2,8101 ton/jam

Dari perry edisi 7, Tabel 21-7 dan figure 21-4 dipilih belt conveyor dengan spesifikasi sebagai berikut :

Kapasitas maksimum = 32 ton/jam

house power tiap 10ft (linier-ft) = 0,34 hp/ft

Asumsi : - Jarak belt conveyor = 30 ft
- tinggi belt = 10 ft

Slope = α

tg α = 10 / 30 = 0,33 maka α = 18,434949 °

panjang belt = √([[30]]^2+[[10]]^2) 31,6228 ft

Perhitungan power :

hp/10 ft = 0,34 hp/ ft perry edisi 7, Tabel 21-7

hp = 31,6227766 / 10 x 0,34 = 1,0751744 hp

penambahan power untuk tripper = 2 hp perry edisi 7, Tabel 21-7

Power total = 1,0751744 + 2 = 3,0751744 hp

Spesifikasi Belt Conveyor-1 :

Kapasitas maksimum = 32 ton/jam

Belt * width = 14 in = 35,56 cm

* Trought width = 9 in = 22,86 cm

* skirt seal = 2 in = 5,08 cm

Belt Speed = 2,8101 / 32 x 100 ft/ mir = 8,7814612 ft/menit

Panjang = 32 ft

Sudut eleva = 18,4 °

Power = 3,08 hp

Jumlah = 1 buah

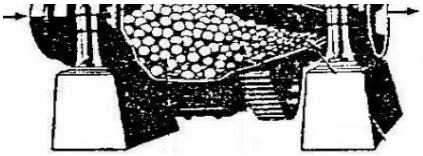
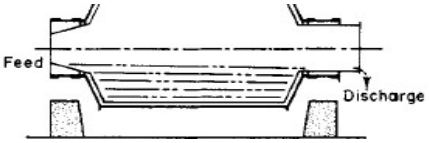
3. BALL MILL

Fungsi : Menghaluskan solid sampai ukuran 200 mesh.

Type : Ball Mill Grinding System, Marcy ball mill

Dasar pemilihan : Sesuai dengan jenis bahan dan kapasitas

Kondisi operasi
- Tekanan operasi = 1 atm
- Suhu operasi = 40 °C. (Suhu ruang)
- Waktu operasi = Continous

Perhitungan :

Rate bahan = 2.957,966 kg/jam
= 2,958 ton/jam
= 70,991 ton/hari

Untuk produk berukuran 200 mesh dengan kapasitas = 70,991 ton/hari

Berdasarkan rate massa (ton/hari), dari **Perry 7ed, tabel 20-16** di dapat :

Jenis Ball Mill = Marcy Ball Mills
Power = 85-95 hp dipilih 90 hp
No.Sieve = 200 mesh
Rate Maksimum = 113 ton/hari
Berat Bola Baja = 13,10 ton
Ball Mill Speed = 22,5 rpm

Ukuran Ball Mill:

Panjang Mill = 7 ft
Diameter Mill = 5,0 ft
Tinggi Mill = 5,0 ft

Untuk Marcy ball mill, maka digunakan 3 ukuran bola baja :

5 & 3,5 & 2,5 in (Brown : fig 37)

Asumsi berat bola baja didistribusikan sama rata menjadi 3 bagian (berdasarkan 3 ukuran)

Jadi, berat bola baja masing-masing ukuran : $\frac{13,10}{3}$ = 4,37 ton

Diameter bola baja = 5 in = 0,125 m

Jarir-jari bola baja = $\frac{0,125}{2}$ = 0,0625 m

Volume bola = (4/3) π R³ = 0,0010221 m³ = 1,0221 L
densitas bola (steel) = 4,8 gram/cm³ (Perry ed.7 Fig. 20-33)
= 4,8 kg/L

Berat(massa) Bola = 4,8 kg/L x 1,0221 L
= 4,906 kg

Berat total untuk baja ukuran 5 in = 4,37 ton
= 4366,7 kg

Jumlah baja ukuran 5 in = $\frac{4366,7}{4,906}$
= 890.021 Buah

Diameter bola baja **3,5 in = 0,0875 m**

Jarir-jari bola baja = $\frac{0,0875}{2}$ = 0,04375 m

Volume bola = (4/3) π R³ = 0,000351 m³ = 0,3506 L

densitas bola (steel) = 4,8 gram/cm³ (Perry ed.7 Fig. 20-33)

= 4,8 kg/L

Berat(massa) Bola = 4,8 kg/L x 0,3506 L

= 1,683 kg

Berat total untuk baja ukuran 3,5 in = 4,37 ton

= 4366,7 kg

Jumlah baja ukuran 3,5 in = $\frac{4366,7}{1,683}$

= 2594,814 Buah

Diameter bola baja **2,5 in = 0,0625 m**

Jarir-jari bola baja = $\frac{0,0625}{2}$ = 0,03125 m

Volume bola = (4/3) π R³ = 0,0001278 m³ = 0,1278 L

densitas bola (steel) = 4,8 gram/cm³ (Perry ed.7 Fig. 20-33)

= 4,8 kg/L

Berat(massa) Bola = 4,8 kg/L x 0,1278 L

= 0,613 kg

Berat total untuk baja ukuran 2,5 in = 4,37 ton

= 4366,7 kg

Jumlah baja ukuran 2,5 in = $\frac{4366,7}{0,613}$

= 7120,170 Buah

Perhitungan kecepatan kritis :

Nc = 76,6 / $D^{0,5}$ (Perry 7$^{ed,\ Fig.}$ 20-32)

dimana : Nc = Kecepatan kritis ; rpm

D = Diameter mill ; ft

$$Nc = \frac{76,6}{D^{0,5}}$$

$$= \frac{76,6}{5^{0,5}}$$

= 34,3 rpm

Kecepatan actual = 60 - 80% dari kecepatan kritis
ditetapkan : N = 70% Nc
= 70% x 34,3
= 24 rpm
Ditetapkan kecepatan actualnya = 24 rpm
Perhitungan power yang dibutuhkan :
Power = $D^{2,5}$ (Perry 7ed, Fig. 20-34)
= $5^{2,5}$
= 55,9017 hp

Spesifikasi :

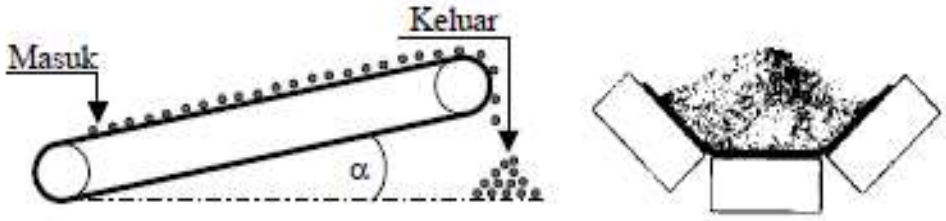
Kapasitas	=	70,99	ton/hari
Rate maksimum	=	113	ton/hari
Diameter mill	=	5	ft
Panjang mill	=	7	ft
Kecepatan putaran aktua	=	24	rpm
Power	=	56	hp
Bahan ball	=	carbon steel	
Bahan konstruksi	=	carbon steel c-283,	

Bola Baja:	Ball Charge	=	113,00	ton				
	Ukuran bola baja	=	5	&	3,5	&	2,5	in
	Jumlah bola	=	5	in	=	890	buah	
			3,5	in	=	2595	buah	
			2,5	in	=	7120	buah	

Jumlah = 1 buah

4. BELT CONVEYOR

Fungsi : Memindahkan bauksit dari Gudang penyimpanan ke Ball Mill 1
Type : Belt conveyor dengan kemiringan 45°
Dasar pemiliha : Dipilih conveyor jenis belt sesuai dengan bahan



Perhitungan :

Rate Mass = 2.810,0676 kg/jam = 2,8101 ton/jam

Berdasarkan kapasitas bahan yang masuk = 2,8101 ton/jam

Dari perry edisi 7, Tabel 21-7 dan figure 21-4 dipilih belt conveyor dengan spesifikasi sebagai berikut :

Kapasitas maksimum = 32 ton/jam

house power tiap 10ft (linier-ft) = 0,34 hp/ft

Asumsi : - Jarak belt conveyor = 30 ft

- tinggi belt = 10 ft

Slope = α

$tg\ \alpha = \frac{10}{30} = 0{,}33$ maka $\alpha = 18{,}434949\ ^\circ$

panjang belt = $\sqrt{([50]^2+[10]^2)}$ 31,6228 ft

Perhitungan power :

hp/10 ft = 0,34 hp/ ft perry edisi 7, Tabel 21-7

hp = $\frac{31{,}6227766}{10} \times 0{,}34 = 1{,}0751744$ hp

penambahan power untuk tripper = 2 hp perry edisi 7, Tabel 21-7

Power total = 1,0751744 + 2 = 3,0751744 hp

Spesifikasi Belt Conveyor-1 :

Kapasitas maksimum		=	32	ton/jam		
Belt	* width	=	14	in	=	35,56 cm
	* Trought width	=	9	in	=	22,86 cm
	* skirt seal	=	2	in	=	5,08 cm
Belt Speed	= $\frac{2{,}8101}{32} \times 100$	ft/ mir	=	8,7814612	ft/menit	
Panjang	=	32 ft				
Sudut eleva	=	18,4 °				
Power	=	3,08 hp				
Jumlah	=	1 buah				

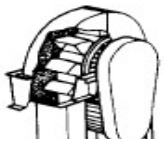
5. BUCKET ELEVATOR

Fungsi : Memindahkan bauksit dari belt conveyor ke hopper

Type : Continous Bucket Elevator.

Dasar pemilihan : Untuk memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu.

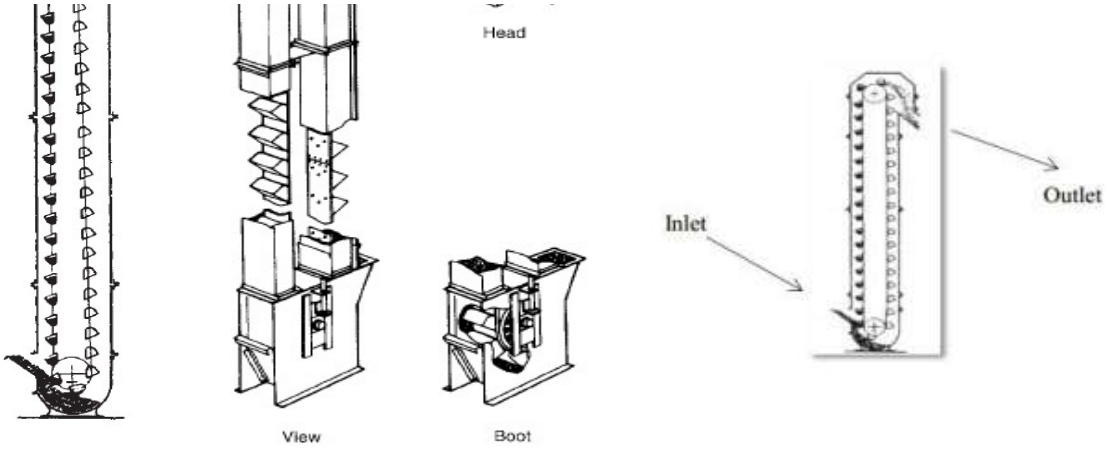




Kondisi Operasi

T = 30 °C

P = 1 atm



Perhitungan :

Rate massa = 2.957,9659 kg/jam
= 2,9580 ton/jam
ρ bahan = 179,0436803 lb/cuft

Perry 7ed. T.21-9 pg.21-16

Tinggi Bucket = 25 ft
Putaran Head Shaft (Kepala Poros) = 28 rpm
Kap. Maksimum = 35 ton/jam
Bucket linear speed = 150 ft/min
Sehingga, untuk kapasitas 2,9580 ton/jam maka :
Kecepatan Bucket Elevator : $\frac{2,9580}{35,0000} \times 150$
= 12,6769966 ft/min
Power pada head shaft = 1,8 hp
Power Tambahan = 0,06 hp tiap ft
= 0,06 x 25
= 1,5 hp
Power Total = 1,8 + 1,5
= 3,3 hp

Ukuran bucket = lebar x Proyeksi x kedalaman
= 8" x 5.5" x 7.75"
Bucket Spacing = 8 in
Efisiensi motor = 80% (Peter fig 13.38)
Maka, motor penggerak yang digunakan = 3,3 / 80 %
= 4,125 hp

Spesifikasi Bucket Elevator:
Fungsi : Memindahkan bauksit dari belt conveyor ke hopper

Type	:	Continous Bucket Elevator.	
Dasar pemilihan	:	Untuk memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu.	
Kapasitas	:	2,9580	ton/jam
Ukuran bucket	:	6 in x 4 in x 4 $^{1}/_{2}$ in	
Bucket spacing	:	12	in
Tinggi bucket	:	25,00	ft
Kecepatan bucket	:	12,7	ft/menit
Putaran head shaft	:	28	rpm
Lebar belt	:	8"	in
Power motor	:	4	hp
Jumlah	:	1	buah

6. Hopper Bauksit

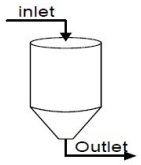
Fungsi : Menampung sementara Bauksit sebelum masuk ke dalam Reaktor 1

Type : Silinder dengan tutup bawah berbentuk conical dengan posisi vertikal

Kondisi Operasi = T = 30 °C

P = 1 atm

Waktu tinggal = 1 jam (Asumsi)



Komposisi Bahan :

Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	X Berat	ρ (gr/ml)	**(Perry 7ed. T.2-1)**
$Al_2O_3 . 2H_2O$	1828,022912	0,618	3,99	
Fe_2O_3	384,535564	0,13	5,12	
SiO_2	354,9559053	0,12	2,65	
TiO_2	35,49559053	0,012	3,84	
H_2O	354,9559053	0,132	1	
Total	2957,965877	1		

Perhitungan :

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0{,}618}{3{,}99} + \frac{0{,}13}{5{,}12} + \frac{0{,}12}{2{,}65} + \frac{0{,}012}{3{,}84} + \frac{0{,}132}{1}}$$

$$= 2{,}7725 \text{ gr/ml}$$

$$= 173{,}0869 \text{ lb/cuft}$$

Rate Massa : 2957,965877 kg/jam = 6521,2203 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} : \frac{\text{Rate Massa}}{\rho \text{ campuran}}$$

$$\text{Rate Volumetrik} : \frac{6521{,}2203 \text{ lb/jam}}{173{,}0869 \text{ lb/cuft}}$$

Rate Volumetrik = 37,6760 cuft/jam

Perencanaan Dimensi Hopper :

Asumsi : waktu tinggal = 1 jam

Bahan Masuk = 37,6760 cuft x 1 jam = 37,6760 cuft

ρ campuran = 173,0869 lb/cuft

Asumsi : V. bahan = 80% V.tangki

Volume tangki = $\frac{37,6760}{80\%}$ = 47,0950 cuft

Asumsi :

H = 1 D

α = 30 °

Vs = (π/4) x Ds^2 x Hs

= (π/4) x Ds^2 x 1 Ds

= (π/4) x $1Ds^3$

= 0,785 Ds^3

Vtutup bawa = (π Ds^3) / 24tgα (Hesse hal 92)

= $\frac{(\ 3,14 \times Ds^3\ )}{24 \times tg\ 30}$

= 0,2266 Ds^3

Vt = Vs + Vtutup bawah

47,095 = 0,785 Ds^3 + 0,2266 Ds^3

47,095 = 1,0116 Ds^3

Ds^3 = 46,554

Dt = 3,5973 ft = 43,168 in = 1,0965 m

Ht = 3,5973 ft = 43,168 in = 1,0965 m

Menentukan Ukuran Hopper dan Ketebalannya :

Tinggi conical : **(Hesse, hal 92)**

H = $\frac{tg\ \alpha \times (D-m)}{2}$ **[Hesse, pers 4-17]**

Keterangan :

α = sudut conica : 30 °

D = diameter tan : ft

m = flat spot cen : 12 in = 1 ft

maka,

h = $\frac{tg\ \alpha \times (D-m)}{2}$

h = $\frac{tg\ 30 \times 3,60 - 1}{2}$

= 0,7498 ft

Vol. conical = 0,262 x h x (D^2+D.m+m **(Hesse, pers 4-18)**

= 0,262 x 0,7498 x 17,538

= 3,4453 cuft

= 43,650 cuft

Vol. silinder = 3,14 x D² H/4
43,65 = 3,14 x D² H/4
H³ = 55,605 ft³
H = 3,8163 ft
Jadi tinggi total = 0,7498 + 3,8163 = 4,5661 ft

Tekanan bahan = $\frac{\rho \text{ campu} \times H}{144}$

= $\frac{173,0869 \times 4,5661}{144}$

= 5,4884 psig
Poperasi = 14,7 psig
Pdesign diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan
P desig = 1,1 x P perencanaan
= 1,1 x (14,7 + 5,4884)
= 22,207 psig

***Menentukan tebal minimum shell :**

tmin = $\frac{P \times ri}{fe - 0.6P}$ + C **(Brownell, pers. 13-1,hal 254)**

dengan :
tmin = tebal shell minimum : in
P = tekanan tangki : psi
ri = jari-jari tangki : in (1/2 D)
C = faktor korosi : (digunakan 1/8 in)
e = faktor pengelasan, digunakan dou : 0,8
f = stress allowable, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C, maka f = 12650 **(Brownell, T.13-1)**
ri = 0,5 x 3,5973
= 1,7987 ft = 21,584 in
tmin = $\frac{P \times ri}{fe - 0.6P}$ + C
= $\frac{22,207 \times 21,584}{1581,3 - 13,324} + \frac{1}{8}$
= 0,3057 in + 0,125
= 0,4307 digunak = 10/16 in

***Penentuan tebal head**

Type : Single welded butt joint tanpa backing up strip dengan efisiensi 70%

Tebal tutup : (Brownell pg. 118 eq. 6-154)

$$th = \frac{P \times D}{2 \cos \alpha \,(f.E - 0.6P)} + C$$

$$= \frac{22{,}20728 \times 43{,}17}{2 \cos 30\,(12650 \times 70\% - 0{,}6 \times 22{,}207)} + \frac{1}{8}$$

$$= \frac{958{,}64597}{15314{,}231} + 0$$

= 0,1876 in digunakan t = 4/16 in

Spesifikasi Hopper Bauksit :

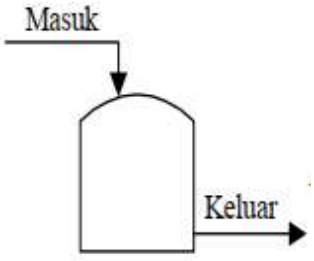
Fungsi : Menampung sementara Bauksit sebelum masuk reaktor 1

Type : Silinder dengan tutup bawah berbentuk conical dengan posisi vertikal

Kapasitas	:	2957,9659
Diameter Tangki	:	3,5973 ft
Tinggi Tangki	:	4,5661 ft
Tebal shell	:	10/16 in
Diameter atas conical	:	3,5973 ft
Diameter bawah conical	:	1 ft
Tinggi conical	:	0,7498 ft
Cone angel	:	30˚
Tebal angle	:	4/16 in
Jumlah	:	1 buah

7 TANGKI PENYIMPANAN ASAM SULFAT

Fungsi : Untuk menyimpan Asam Sulfat (H_2SO_4) 98% dari supplier
Type : Silinder tegak dengan tutup atas dan bawah dish
Dasar Pemilihan : Umum digunakan untuk menampung larutan



Kondisi Operasi :
- Tekanan : 1 atm
- Suhu : 30 °C
- Waktu tinggal : 7 hari

Kebutuhan (H_2SO_4) = 3775,26471 kg

Perhitungan

Komposisi bahan :

Komponen	% berat	Berat (kg/jam)	Densitas (g/cm^3)	
H_2SO_4	98%	3.699,7594	1,4617	(Perry 7ed ; T. 2-101)
H_2O	2%	75,5053	0,9230	(Perry 7ed ; T. 2-28)
Total	100%	3.775,2647		

$$\text{Densitas campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \times 1 \frac{gr}{ml}$$

$$= \frac{1}{\frac{0,98}{1,4617} + \frac{0,02}{0,9230}} \times 1$$

= 1,4448 gr/ml
= 90,2010 lb/cuft

Rate massa = 3.775,2647 kg/jam
= 8.323,0618 lb/jam

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}}$$

$$= \frac{8.323,0618 \text{ lb/jam}}{90,2010 \text{ lb/cuft}}$$

= 92,2724 cuft/jam

a) Penentuan Volume Tangki

Waktu Operasi : 30 hari

Direncanakan penyimpanan untuk 30 hari proses dengan 1 tangki , sehingga (mempermudah pengeluaran dan pengisian), sehingga volume bahan adalah

$$\text{Volume bahan} = \frac{92{,}2724 \ \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times 24 \ \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 30 \ \text{hari}}{1 \ \text{tangki}}$$

$$= 66.436{,}10 \ \text{cuft}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (faktor keamanan) :

Asumsi volume bahan = 80% volume tangki

$$\text{Maka volume tangki} = \frac{66.436{,}097 \ \text{cuft}}{80\%}$$

$$= 83.045{,}122 \ \text{cuft}$$

Menentukan Dimensi Tangki

Asumsi Dimention ratio : H = D (Ulrich : T.4-27)

dipilih H/D = 2

Volume tangki = $1/4 \ \pi \ D^2 \ H$

Vs = 1/4 x 3,14 x D^2 x H

$$Vs = \frac{3{,}14}{4} D^3$$

$$Vs = 0{,}785 \ D^3$$

V tutup atas = 0,000049 Ds^3 (Brownell pg. 88)

(Torispherical)

Volume Tangki = Vs + V tutup atas

83.045,1215 = 0,785 D^3 + 0,000049 Ds^3

83.045,1215 = 0,785049 D^3

D^3 = 105783,3607 cuft

D = 47,27573681 ft

H = 47,27573681 ft

D	=	47,276	ft	H	=	47,276	ft
	=	567,309	in		=	567,309	in
	=	14,410	m		=	14,410	m

Menentukan Volume Liquid dalam Tangki

Volume Liquid = 1/4 x 3,14 x $Dliq^2$ x Hliq

66.436,10 = 0,785 $Dliq^3$

Dliq	=	43,888	ft	=	527 in
Hliq	=	43,888	ft	=	527 in

Menentukan Tebal Minimum Shell

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank

t_s P x ri + C [Brownell, pers. 13-1, hal 254]

dengan:

ts_{min} = tebal shell minimum ; in
P = tekanan tangki ; psi
ri = jari-jari tangki ; in (1/2 D)
C = faktor korosi ; in (digunakan 0,25 in)
E = faktor pengelasan, digunakan double welded, E = 0,8
f = allowable stress, bahan konstruksi stainless steel A193 grade B8,
maka f = 12.650 psi [Perry ed. 7, T.10-49]

P hidrostatis = $\rho \times \frac{g}{gc} \times$ H liq (H liq = 80% H tangki)

= 90,2010 $\frac{lbm}{cuft}$ x 1 $\frac{lbf}{lbm}$ x 37,8206 ft

= 3.411,4562 lbf/ft^2

= 23,6892 psi

P operasi = Pin - Pout + P hidrostatis

= 14,696 psi - 14,696 psi + 23,6892 psi

= 23,6892 psi

P design = P hidrostatis

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

P design = 23,6892 x 110%

= 26,0581 psi

ri = 0,5 x D

= 0,5 x 567,3088 in

= 283,6544 in

$$ts_{min} = \frac{P \times ri}{f\ E - 0{,}6\ P} + C$$

$$ts_{min} = \frac{26{,}0581 \times 283{,}6544}{f\ 0{,}8 - 0{,}6 \times 26{,}058} + 1/4$$

$$ts_{min} = \frac{7391{,}4859}{12.650 - 0{,}8 \times 15{,}6348}$$

tsmin = 0,5849 digunakan 13/16 in

Menentukan Tebal Tutup Atas

Tutup atas berbentuk standart dished head

OD = ID + 2 t_h

= 567,3088 + 2 x 7/16

= 568,184 in

rc = 284 in = 23,637868 ft

$t_h = rc - (rc^2 - (\frac{D^2}{4})^{0,5}$ (Hesse, hal 4-14)

h = 23,638 - (23,638 ² - 2.234,995 / 4) ^ 0,5

h = 24 - (558,749 - 558,74882) ^ 1

h = 24 - (0,000) ^ 1

h = 23,638 ft

Volume dishead = 1,1 x h^2 x (3 Rc - h)

= 1,1 x 559 x (71 - 23,638)

= 29.056,789 ft

Bentuk : Flanged and standart dished head

$$t = \frac{0,885 x P_d x r_c}{(f x E - 0,1 x P_d)} + C$$ (Brownell & Young pers 13.12 hal 258)

dimana:

t = tebal dinding minimum ; in

r_c = *Crown radius (in)* = jari-jari dalam

W = faktor stress intensif untuk torispherical

Pd = tekanan desain ; psia

E = faktor pengelasan, digunakan jenis *double welded butt joint.*
Nilainya = 0,8

C = faktor korosi = 0,125 in

f = allowable stress, bahan konstruksi carbon steel Sa-283 grade C
maka f = 12.650 psi [Brownell, T.13-1]

t = 0,885 x 26,0581 x 284 / 12.650 x 0,8 - 0,1 x 26,0581 + 1/8

t = 6.541,47 / 10117,39419 + 1/8

t = 0,77 in digunakan 13/16 in

Spesifikasi Tangki Penyimpanan

Fungsi : Untuk menyimpan Asam Sulfat 98% dari supplier

Type : silinder tegak, tutup bawah datar dan tutup atas berbentuk torisperical d

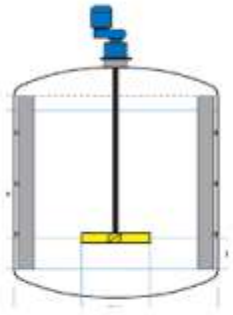
Volume tangki : 83.045,12 cuft

Diameter tangki : 47,276 ft

Tinggi tangki : 47,276 ft

Tebal tutup atas (Torispherical dished) : 13/16 in
Jumlah : 1 buah

8. TANGKI PENGENCER ASAM SULFAT



Kondisi Operasi :
- Tekanan : 1 atm
- Suhu : 30 °C
- Waktu tinggal : 1 jam

Fungsi : Mengencerkan larutan Asam Sulfat 98% sampai 77.67%
Type : Silinder tegak dengan tutup atas dan bawah eliptical dished dilengkapi pengaduk dan jaket
Dasar Pemilihan : Umum digunakan untuk mengencerkan larutan

Dimensi ratio, H/D : ditetapkan H = 2 D

Perhitungan

Komposisi Bahan :
Bahan Masuk :

Komponen	% Berat	Rate Massa (kg/jam)	ρ (gr/ml)	ρ (lb/cuft)
H_2SO_4	0,777	3699,759	1,834	114,497
H_2O	0,016	75,505	0,923	57,6229
H_2O (air proses)	0,207	1830,431	0,923	57,6229
Total		5605,696		

$$\text{Densitas campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \times 1 \frac{\text{gr}}{\text{ml}}$$

$$= \frac{1}{\frac{0,78}{1,83} + \frac{0,02}{0,9230} + \frac{0,207}{0,923}} \times 1$$

= 1,5035 gr/ml

= 93,8650 lb/cuft

Penentuan Volume Tangki :

Densitas Bahan = 93,8650 lb/cuft

Rate Bahan = 5605,696 kg/jam

= 12358,48576 lb/jam

Volumetrik Bahan = $\frac{\text{Rate Bahan}}{\rho \text{ bahan}} = \frac{12358,486}{93,8650} =$ 131,662317 cuft/jam

Direncanakan waktu operasi 1 jam dengan 1 buah tangki, sehingga :

Volume Bahan = 131,6623172 x 1

= 65,8311586 cuft

Volume bahan mengisi 80 % volume tangki

Volume Bahan = 0,8 Volume Tangki

Volume Tangki = $\frac{65,8311586}{0,8} =$ 82,288948 cuft

Vs = (π/4) x Ds^2 x Hs

Vs = (π/4) x Ds^2 x Ds

Vs = 1,57 Ds^3

Vtutup atas = 0,000067 Ds^3 (Brownell, hal 95)

Vtutup bawah = 0,000067 Ds^3 (Brownell, hal 95)

Vt = Vs + Vtutup atas + Vtutup bawah

82,288948 = 1,57 Ds^3 + 0,000067 Ds^3 + 0,000067 Ds^3

82,288948 = 1,570134 Ds^3

Ds^3 = 52,40886972 Hs = 2 Ds

Ds = 3,741774558 ft = 7,483549116 ft

= 44,90129469 in = 89,80258939 in

1,140492885 m

Tebal Shell

1. Menentukan Tinggi Liquid dalam shell :

Volume Liquid = Vs + Vtutup bawah

65,8311586 = (π/4) x h x Ds^2 + 0,000067 Ds^3

65,8311586 = 1,57 x h x 14,001 + 0,000067 x 52,388

65,8311586 = 21,98488665 h

= 0,912687769 m

2. Menentukan Tekanan Design :

Jika didalam bejana terdapat liquid, maka :

P design = Po - Pi + P hidrostatis

P design = 14,7 - 14,7 + P hidrostatis

P design = P hidrostatis

P design = ρ x g/gc x h

$= 93{,}8650 \ \frac{lbm}{cuft} \times 1 \ \frac{lbf}{lbm} \times 2{,}9944 \ ft$

$= 281{,}0678 \ \frac{lbf}{ft^2}$

= 1,952 psi

Asumsi P design 10 % lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 110% x 1,9517

= 2,14690799 psi

Dipergunakan bahan konstruksi yang terbuat dari Carbon Steel dengan spesifikasi SA 283 grade (Brownell, T13-1)

f allowable = 12650

C = 0,125 in

Sambungan las dengan type double welded butt joint

Efisiensi las, E = 0,8

ri = 0,5 x 44,901295

= 22,450647 in

Rumus tebal shell yang digunakan adalah :

$$ts_{min} = \frac{P \times ri}{f \ E - 0{,}6 \ P} + C$$ (Brownell & Young pers 13.1 hal 254)

$$t = \frac{2{,}1469 \times 22}{12.650 \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 2{,}1469} + \frac{1}{8}$$

t = 0,0047634 in + 1/8

= 0,12976 in

Diambil tebal shell = 3/16 in

3. Menentukan Tebal Tutup Atas, Elliptical

Tinggi tutup (h) = $\frac{1}{4}$ x IDs (Hesse, hal 92)

h = 0,25 x 4

h = 0,93544 ft

Volume dishead = $\pi \frac{D^3}{24}$

= 3,14 x $\frac{44,901^3}{24}$

= 11843,90725 in^3

= 6,854112989 cuft

Bentuk : Elliptical head

Tebal Standart Elliptical dished (atas) :

$$t = \frac{P\ Di}{2f\ E - 0.2P} + C$$ (Brownell & Young pers. 13.10 hal 256)

Dimana : Pd = Tekanan design psi

Di = Diameter dalam in

E = Faktor Pengelasan = 0,8

t = Tebal dinding minimal in

$$t = \frac{2,14690799 \times 44,90129469}{(2 \times 12.650 \times 0,8) - (0,2 \times 2,146908)} + \frac{1}{8}$$

= 0,00476289 + $\frac{1}{8}$

= 0,12976 in

Diambil tebal head : $\frac{3}{16}$ in

Asumsi : Tebal Tutup Atas = Tebal Tutup Bawah = $\frac{3}{16}$ in

4 Sistem Pengaduk

Jumblah Baffle = 4 buah

Jumlah Impeller (pengaduk) antara 4-16, tetapi umumnya 6 atau 8 (Mccabe 5ed pg.243)

Dipilih pengaduk type flat blade turbine dengan jumlah blade 6

a) Penentuan Dimensi Pengaduk

Tinggi bahan total, HL = 2,9943824 ft = 35,9325893 in
Diameter dalam tangki, Dt = 3,7417746 ft = 44,9012947 in
Ukuran pengaduk diambil dari Mcabe ed 5th, hal 243 :

$$\frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3} \qquad \frac{E}{D_t} = \frac{1}{3} \qquad \frac{W}{D_a} = \frac{1}{5}$$

$$\frac{L}{D_a} = \frac{1}{4} \qquad \frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \qquad \frac{H}{D_t} = 1$$

Keterangan :

D_a	=	Diameter impeller (pengaduk)
D_t	=	Diameter tangki
L	=	Panjang blade
W	=	Lebar blade
E	=	Jarak impeller (pengaduk) dari dasar tangki
J	=	Lebar baffle

Diameter impeler (Da) = 1/3 Dt = 0,333 x 3,7418
= 1,2473 ft
Lebar blade (W) = 1/5 Da = 0,200 x 1,2473
= 0,2495 ft
Panjang blade (L) = 1/4 Da = 0,250 x 1,2473
= 0,3118 ft
Jarak impeller dari dasar (E) = 1/3 Dt = 0,333 x 3,7418
= 1,247 ft
Lebar baffle (J) = 1/12 Dt = 0,083 x 3,742
= 0,3118 ft
Tebal Pengaduk = $\frac{1}{10}$ x 0,3118 = 0,031 ft

b) Penentuan Jumlah Pengaduk

Tinggi bahan total, HL = 2,9943824 ft
Diameter dalam tangki, Dt = 3,7417746 ft

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{\text{tinggi liquida x Sg}}{\text{Diameter tangki}} \qquad \text{(Dean : 389)}$$

$$Sg = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference } (H_2O)} = \frac{93{,}8650 \text{ lb/cuft}}{57{,}6229 \text{ lb/cuft}} = 1{,}6290$$

maka,

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{\text{tinggi larutan}}{\text{Diameter tangki}} \text{ x } Sg = \frac{2{,}9944 \text{ x } 1{,}6290}{3.741775}$$

= 1,3036 buah , jadi jumlah impeler sebanyak 1 buah

Jarak pengaduk = 1,5 x Da
= 1,5 x 1,2473 ft
= 1,8709 ft

c) Penentuan Power Motor

Dari Kern T.6 pg 808 didapat sg reference = 1
Dari Kern fig 14 pg 823 didapat μ reference = 1 cp

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan} \times \mu \text{ reference}}{\text{sg reference}}$$

$$= \frac{1,6290 \times 0,5000}{1}$$

1 cp = 1488,114 lbu/

= 0,814476833 cp = 0,0005473 lbu/ft s

ρ campuran = 93,8650 lb/cuft

Dari Joshi hal 415 didapat, kecepatan putaran pengadukan jenis turbin antara 200-250 m/min

Ditetapkan kecepatan pengaduk, (N) = 210 rpm = 4 rps
Putaran Pengaduk, (V) = π x N x Da (Joshi; hal.415)
= 3,14 x 210 x 1,2473
= 822,4420478 m/min

Bilangan Reynolds (Nre) :

$$NRe = \frac{\rho \times Da2 \times N}{\mu} = \frac{93,8650 \times 1,24725819 \times 4}{0,000547322}$$

= 855613,4214 (aliran turbulen)

Karena NRe > 2100, maka digunakan baffle.

Untuk NRe > 2100 diperlukan 4 buah baffle, sudut 90°. [Perry 6^{ed} : 19-8]

Perhitungan power pengaduk yang dibutuhkan :

Diperoleh nilai NRe > 10000, sehingga Np = KT

dengan:

P	=	power	; hp	
K_3	=	faktor mixer (turbin)	; 6,3	[Ludwig, vol-1 T.5 : 192]
g	=	konstanta gravitasi	; 32,3	ft/dt^2 x lb_m/lb_f
ρ	=	densitas	; lb/cuft	
N	=	kecepatan putaran impeller	; rps	
Da	=	diameter impeller	; ft	

$$P = \frac{K_3 \rho (N)^3 (Da)^5}{gc}$$ (McCabe 5ed., tabel 9.2, hal.254)

P = 6,3 x 93,8650 x 64,000 x 3,0184

$$\frac{}{32,3}$$

= 3536,743656 ft.lbf/s
= 6,430443011 hp

(Joshi : 424)

Power Losses pada Glanc 10% hp = 0,1 x 6,4304
= 0,643 hp minimum = 0,6 hp

Power input dengan gland losses = 6,4304 + 6,4304
= 12,861 hp

Transmission sistem losses 20 % = 0,2 x 12,861
= 2,5722 hp

Power Total = 12,861 + 2,5722
= 15,433 hp

Untuk 1 buah impeller, maka power input = 1 x 15,4331
= 15,433 hp

Efisiensi motor = 80%

Sehingga power motor = $\frac{15,433}{80\%}$ = 19,291 hp = 19 hp

d) Perhitungan Sistem Pendingin

Perhitungan Jaket (Kern pg.719)

Sebagai media pendingin digunakan air pendingin dengan 30 oC
untuk menjaga suhu supaya suhu dalam T. pengencer tetap 110 oC

Q Serap = 225891,0479 kkal/jam
896037,4766 Btu/jam

Suhu Bahan Masuk = 30 °C = 86 °F
Suhu Bahan Keluar = 110 °C = 230 °F
Suhu Air Pendingin Masuk = 30 °C = 86 °F
Suhu Air Pendingin Keluar = 45 °C = 113 °F

ΔT1 = 27 °F
ΔT2 = 144 °F

$$\Delta LMTD = \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \frac{\Delta t_2}{\Delta t_1}} = \frac{144 - 27}{\ln \frac{144}{27}} = 69,8934571 \text{ °F}$$

Kebutuhan Air Pendingin = 15079,60987 kg/jam
= 33244,9603 lb/jam

ρ Air pendingin = 62,43 lb/cuft = 1000 kg/m³

Rate Volumetrik = Keb. Air Pendingin
ρ Air Pendingin
= $\frac{33244,9603}{62,43}$

= 0,147921051 cuft/s

Koefisien perpindahan panas bagian luar jaket :

$$hi = 0{,}36\,(k/Di)\left[\frac{L^2\,N\,\rho}{\mu}\right]^{2/3}\left[\frac{C\,\mu}{k}\right]^{1/3}\left[\frac{\mu}{\mu w}\right]^{0{,}14}$$ (Kern pg. 718 eq. 20-1)

Keterangan :

L = Da (diameter impeler)= 1,2473 ft
N = Putaran pengaduk = 210 rpm = 12600 rph
ρ = berat jenis air = 62,43 lb/cuft
μ = 0,23 cp = 0,0949731 lb/ft jam 1 cp = 0,4129264 lbu/
k = 0,37 Btu/jam ft²(ºF/ft)
c = 1 Btu/lb ºF

$$Re\,p = \frac{[L^2\,N\,\rho]^{2/3}}{\mu}$$

$$= \frac{(\ 1{,}55565 \times 12600 \times 62{,}43\ )^{\wedge 2/3}}{0{,}5566}$$

= 20564,15133

$$\frac{[C\,\mu]\,1/3}{k} = \frac{(\ 1 \times 0{,}5566\ )\ \wedge 1/3}{0{,}37}$$

= 2,223247564

$$[\mu]\,0{,}14 = 1 \text{ (Untuk air)}$$
$$\mu\,w$$

$$hi = 0{,}36 \times \frac{0{,}37}{3{,}741774558} \times 20564{,}151 \times 2{,}22324756 \times 1$$

= 1627,5158 Btu/jam.ft.° F

Untuk air pendingin yang berada dalam jaket mengacu pada diameter dalam bejana :
hio = 100 Btu/jam.ft2° F

Menghitung Uc

$$Uc = \frac{hi \times hio}{hi + hio} = 94{,}21134106 \text{ Btu/jam.ft2° F}$$

Rd = 0,001 (Kern tabel 12. pg 845)
hd = 1/Rd = 1000
Menghitung Ud

$$Ud = \frac{Uc \times hd}{Uc + hd} = 86{,}09976658$$

A = π x Di x Hpengaduk + π x Di2

$$= 3{,}14 \times 3{,}741774558 \times \frac{4}{1{,}247} + 10{,}991$$

$= 25{,}644939$ ft²

Menentukan Tinggi Jaket

Tinggi Jaket = Tinggi Shell + Tinggi Tutup Bawah

h = 7,483549116 + 0,9354436

h = 8,418992755 ft

Asumsi :

Tebal air pendingin (s) = 2 in

Tebal jaket (tj) = 3 / 16 in

Effisiensi sambungan las (e) = 0,8

Faktor korosi © = 1 / 8

Dipergunakan bahan konstruksi yang terbuat dari carbon Steel dengan spesifikasi , SA - 283 Grade C

f all = 12650

Do (Shell) = Di + 2ts

= 44,9013 + 0,375

= 45,2763 in

Di (Jaket) = Dos + 2s

= 45,2763 + 4

= 49,2763 in

Do (Jaket) = Dij + 2tj

= 49,2763 + 0,375

= 49,6513 in

P desain jaket = Po - Pi + Ph

$= 14{,}7 - 14{,}7 + \rho \times \frac{g}{gc} \times hliq$

$= 62{,}4 \frac{lbm}{cuft} \times 1 \frac{lbf}{lbm} \times 2{,}9944$

= 186,849 lbf/ft² = 1,2975 psi

Penentuan Tebal Jaket :

Tebal Jaket berdasarkan ASME Code untuk cylindrical tank :

$$t = \frac{P \times Dij}{2fe - P} + C$$

Dimana :

Pd = Tekanan desain (psi)

Dij = Diameter dalam jaket (in)

E = Faktor Pengelasan, 0,8

t = Tebal dinding minimal (in)

$$0{,}188 = \frac{2{,}14690799 \times 49{,}276295}{(f^{2}) - (2{,}146908)} + \frac{1}{8}$$

$$0{,}063 = \frac{105{,}7916708}{1{,}6\,f - 2{,}146908}$$

$$0{,}1008\,f - 0{,}135255203 = 105{,}79167$$

f desain = 1050,8624

fall > f design

12650 1050,862361 , dipilih tebal jaket Mar-16 in

Spesifikasi Tangki Pengencer :

Tinggi bejana	:	7,4835491	ft
Diameter bejana	:	3,7417746	ft
Tebal bejana	:	3/16	in
Dimensi Tutup :			
Tebal tutup atas	:	3/16	in
Tebal tutup bawah	:	3/16	in
Tinggi tutup atas	:	0,9354436	ft
Tinggi tutup bawah	:	0,9354436	ft

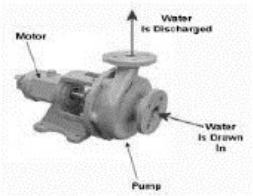
Pengaduk :

Jenis pengaduk	:	Tipe flat blade turbin dengan jumlah blade 6 buah	
Jumlah impeller	:	1	buah
Diameter impeller	:	1,2473	ft
Lebar blade	:	0,2495	ft
Panjang blade	:	0,3118	ft
Jarak impeller dari dasar	:	1,2473	ft
Lebar baffle	:	0,3118	ft
Type poros	:	Commercial hot rolled steel	
Putaran	:		rpm
Power motor	:	19,291329	hp
Tebal Jaket	:	3/16	in
Tinggi Jaket	:	8,4189928	ft
Jumlah	:	1	buah

,

9. Pompa 1

Fungsi : Memindahkan asam sulfat 98% ke Tangki Pengencer
Type : Ccentrifugal Pump



Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
H2SO4	3699,759416	98%	1,834
H2O	1905,936669	2%	1
Total	5605,696084	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0{,}98}{1{,}834} + \frac{0{,}02}{1}}$$

$$= 1{,}8039108 \text{ gr/ml}$$

$$= 112{,}61815 \text{ lb/cuft}$$

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ campuran bahan}}{\rho \text{ reference}}$$

$$= \frac{112{,}61815}{62{,}43}$$

$$= 1{,}8039$$

μ berdasarkan sg bahan :

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg reference = 1

Dari Kern fig. 14 pg. 823 didapat μ reference = 0,00085 lb/ft.s

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu \text{ reference}$$

$$= \frac{1{,}8039}{1} \times 0{,}00085$$

$$= 0{,}0015333 \text{ lb/ft s}$$

Bahan Masuk = 3775,2647 kg/jam = 8323,0618 lb/jam

Rate Volumetrik = $\frac{\text{rate massa}}{\text{densitas}}$

Rate Volumetrik = $\frac{8323,0618}{112,61815}$

Bahan Masuk : = 73,905156 cuft/jam

Rate Volumetrik = 1,2317526 cuft/min
= 0,0205292 cuft/s = 0,0005748 m^3/detik
= 9,2147411 gpm

Perhitungan diameter pipa

Asumsi aliran turbulen **Peters, 4ed, pers. 15 hal 496**

Di optimum untuk turbulen, NRe > 2100 digunakan persamaan (15) Peters:

Di optimum = 3,9 x $q_f^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$

Dengan q_f = fluid flow rate = Rate Volumetrik ; cuft/dt
= 0,0205292 cuft/s

ρ = fluid density ; lb/cuft
= 112,62 lb/cuft

Maka Di pipa optimum = 1,2541 in **Peters, 4ed, pers. 15 hal 496**

Dipilih pipa 3 in sch 40 [Mc Cabe 5ed, appendix 5]

OD = 3,5 in

ID = 3,068 in = 0,2557 ft = 0,0779 m

A = 0,0513 ft^2

Cek :

Kecepatan linier (v) = $\frac{qf}{A}$
= $\frac{0,0205}{0,0513}$
= 0,4002 ft/s

Nre = $\frac{D\ v\ \rho}{\mu}$ = $\frac{0,2557 \times 0,4002 \times 112,61815}{0,001533324}$
= 7514,5571 > 2100
(asumsi benar)

Menentukan jumlah energi yang hilang

1. Karena pipa lurus

Ditetapkan : panjang pipa lurus = 20 ft

Dari Geankoplis 5ed fig. 2.10-3 hal 88, didapat data :

Dipilih bahan pipa Galvanized Iron = 0,00015 m

maka harga e/D = 0,002

f = 0,009

2. Karena Friksi (Geankoplis T. 2.10-1 hal 93)

Taksiran panjang pipa lurus = 20 ft

- 4 elbow 90° = 4 x 35 x 0,256 = 35,84 ft

Panjang total pipa; Le = 58,144 ft

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

1 Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$f_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ (Peters&Timmerhaus, hal.484)

$$= \frac{2 \times 0{,}0090 \times 0{,}400^{\,2} \times 58{,}1440}{32{,}2 \times 0{,}2560}$$

$$= 0{,}0203 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena konstraksi dari tangki ke pipa

A1 = luas penampang tangki = 516,27 ft²

A2 = luas penampang pipa = 0,0513 ft²

Dimana A tangki > A pipa , maka

K = 0,5

α = 1 (Aliran turbulen) **(Peters&Timmerhaus, Tabel 1 hal.484)**

$$f_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{0{,}5 \times 0{,}400^{\,2}}{2 \times 1 \times 32{,}2}$$

$$= 0{,}0012 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3 Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$f_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{v_2^{\,2} - v_1^{\,2}}{2 \times \alpha \times gc}$$; ($A_1 < A_2$, maka V_1 dianggap = 0)

$$= \frac{0{,}400^{\,2} - 0}{2 \times 1 \times 32{,}2}$$

$$= 0{,}0025 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$\Sigma f = f_1 + f_2 + f_3$$

$$= 0{,}0241 \quad ft.lb_f / lb_m$$

1 atm = 14,7 psi x 144 in^2/ft^2 = 2116,8 lbf/ft^2

P_1 = P hidrostatis + 1 atm

Tinggi bahan, H = 43,8881 ft

ρ bahan = 112,6181 lb/cuft

P hidrostatis = ρ x g x H

= 112,6181 lb/cuft x 43,8881 ft

P_2 = 1 atm = 2116,8 lbf/ft^2

$\Delta P = P2 - P_1$

= 2116,8 - 4942,6 lb/ft^2

= -2825,8 lb_f/ft^2

$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{-2825,8\ lb_f/ft^2}{112,6181\ lb/cuft}$

= -25,09 ft. lbf/lbm

Z2 = 43,8881 ft

Z1 = 0 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

g kecepatan gravitasi = 32,2 ft/dt^2

gc konstanta gravitasi = 32,2 ft/dt^2 x 1 lbm/lbf

$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{0,400^2 - 0^2}{2 \times 1 \times 32,2}$

= 0,0025 $ft.lb_f / lb_m$

$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times g/gc$

$= (43,8881 - 0,0000) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lb_m/dt^2.lb_f}$

$= 43,8881 \frac{ft \cdot lb_f}{lb_m}$

Perhitungan daya pompa

Persamaan Bernoully :

$\frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} + \Sigma f = - Wf$

-25,09 + 43,8881 + 0,0025 + 0,0241 = - Wf

- Wf = 18,8228 $\frac{ft.\ lbf}{lbm}$

$hp = \frac{- Wf \times \text{flowrate (cuft/s)} \times \rho}{550}$

$= \frac{18,8228 \times 0,0205292 \times 112,61815}{550}$

= 0,0791229 hp

lish Kapasitas = 1,2317526 cuft/menit x 7,481 = 9,2147 gpm

Viskositas (μ) = 1,67358347 cp = 0,94988 cs

Effisiensi pompa = 0,45 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-37pg. 520)**

Bhp = $\frac{hp}{}$ = $\frac{0,0791229}{}$ = 0,1758 hp

Effisiensi motor = 0,8 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-38pg. 521)**

Power motor = $\frac{\text{Bhp}}{\eta \text{ motor}} = \frac{0,1758287}{0,8} =$ 0,2198 hp

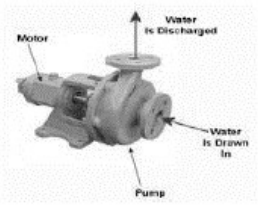
Spesifikasi Pompa 1 :

Fungsi	=	Mengalirkan asam sulfat 98% dari Tangki Penyimpanan ke Tangki
Jenis	=	Centrifugal Pump
Kapasitas	=	3775,2647 kg/jam
Effisiensi Motor	=	0,8
Power	=	0,2198 hp
Jumlah	=	1 pompa
Bahan konstruksi	=	Galvanized Iron

10. Pompa 2

Fungsi : Memindahkan asam sulfat 77.67% ke reaktor

Type : Ccentrifugal Pump



Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
H2SO4	3699,759416	0,777	1,834
H2O	1905,936669	0,223	1
Total	5605,696084	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0{,}777}{1{,}834} + \frac{0{,}223}{1}}$$

$$= 1{,}5463978 \text{ gr/ml}$$

$$= 96{,}541617 \text{ lb/cuft}$$

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ campuran bahan}}{\rho \text{ reference}}$$

$$= \frac{96{,}541617}{62{,}43}$$

$$= 1{,}5464$$

μ berdasarkan sg bahan :

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg reference = 1

Dari Kern fig. 14 pg. 823 didapat μ reference = 0,00085 lb/ft.s

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu \text{ reference}$$

$$= \frac{1{,}5464}{1} \times 0{,}00085$$

$$= 0{,}0013144 \text{ lb/ft s}$$

Bahan Masuk = 5605,6961 kg/jam = 12358,486 lb/jam

Rate Volumetrik = $\frac{\text{rate massa}}{\text{densitas}}$

Rate Volumetrik = $\frac{12358,486}{96,541617}$

Bahan Masuk : = 128,012 cuft/jam

Rate Volumetrik = 2,1335334 cuft/min
= 0,0355589 cuft/s = 0,0009956 m^3/detik
= 15,960963 gpm

Perhitungan diameter pipa

Asumsi aliran turbulen **Peters, 4ed, pers. 15 hal 496**

Di optimum untuk turbulen, NRe > 2100 digunakan persamaan (15) Peters:

Di optimum = 3,9 x $q_f^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$

Dengan q_f = fluid flow rate = Rate Volumetrik ; cuft/dt
= 0,0355589 cuft/s

ρ = fluid density ; lb/cuft
= 96,542 lb/cuft

Maka Di pipa optimum = 1,574 in **Peters, 4ed, pers. 15 hal 496**

Dipilih pipa 3 in sch 40 [Mc Cabe 5ed, appendix 5]

OD = 3,5 in

ID = 3,068 in = 0,2557 ft = 0,0779 m

A = 0,0513 ft^2

Cek :

Kecepatan linier (v) = $\frac{qf}{A}$

= $\frac{0,0356}{0,0513}$

= 0,6932 ft/s

Nre = $\frac{D\ v\ \rho}{\mu}$ = $\frac{0,2557 \times 0,6932 \times 96,541617}{0,001314438}$

= 13016,054 > 2100
(asumsi benar)

Menentukan jumlah energi yang hilang

1. Karena pipa lurus

Ditetapkan : panjang pipa lurus = 20 ft

Dari Geankoplis 5ed fig. 2.10-3 hal 88, didapat data :

Dipilih bahan pipa Galvanized Iron = 0,00015 m

maka harga e/D = 0,002

f = 0,009

2. Karena Friksi (Geankoplis T. 2.10-1 hal 93)

Taksiran panjang pipa lurus = 20 ft

- 4 elbow 90° = 4 x 35 x 0,256 = 35,84 ft

Panjang total pipa; Le = 58,144 ft

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

1 Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$f_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ (Peters&Timmerhaus, hal.484)

$$= \frac{2 \times 0{,}0090 \times 0{,}693^2 \times 58{,}1440}{32{,}2 \times 0{,}2560}$$

$$= 0{,}0610 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena konstraksi dari tangki ke pipa

A1 = luas penampang tangki = 0 ft²

A2 = luas penampang pipa = 0,0513 ft²

Dimana A tangki > A pipa , maka

K = 0,5

α = 1 (Aliran turbulen) **(Peters&Timmerhaus, Tabel 1 hal.484)**

$$f_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{0{,}5 \times 0{,}693^2}{2 \times 1 \times 32{,}2}$$

$$= 0{,}0037 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3 Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$f_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times gc}$$; ($A_1 < A_2$, maka V_1 dianggap = 0)

$$= \frac{0{,}693^2 - 0}{2 \times 1 \times 32{,}2}$$

$$= 0{,}0075 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$\Sigma f = f_1 + f_2 + f_3$$

$$= 0{,}0722 \quad ft.lb_f / lb_m$$

1 atm = 14,7 psi x 144 in^2/ft^2 = 2116,8 lbf/ft^2

P_1 = P hidrostatis + 1 atm

Tinggi bahan, H = 2,9944 ft

ρ bahan = 96,5416 lb/cuft

P hidrostatis = ρ x g x H

= 96,5416 lb/cuft x 2,9944 ft

P_2 = 1 atm = 2116,8 lbf/ft^2

$\Delta P = P2 - P_1$

= 2116,8 - 289,1 lb/ft^2

= 1827,7 lb_f/ft^2

$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1827,7 \; lb_f/ft^2}{96,5416 \; lb/cuft}$

= 18,932 ft. lbf/lbm

Z2 = 2,9944 ft

Z1 = 0 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

g kecepatan gravitasi = 32,2 ft/dt²

gc konstanta gravitasi = 32,2 ft/dt² x 1 lbm/lbf

$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{0,693^2 - 0^2}{2 \times 1 \times 32,2}$

= 0,0075 $ft.lb_f / lb_m$

$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times g/gc$

$= (2,9944 - 0,0000) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lb_m/dt^2.lb_f}$

$= 2,9944 \frac{ft \, . \, lb_f}{lb_m}$

Perhitungan daya pompa

Persamaan Bernoully :

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} + \Sigma f = - Wf$$

18,932 + 2,9944 + 0,0075 + 0,0722 = - Wf

- Wf = 22,0059 $\frac{ft. \, lbf}{lbm}$

$hp = \frac{- Wf \times \text{flowrate (cuft/s)} \times \rho}{550}$

$= \frac{22,0059 \times 0,0355589 \times 96,541617}{550}$

= 0,1373536 hp

Kapasitas = 2,1335334 cuft/menit x 7,481 = 15,961 gpm

Viskositas (μ) = 1,67358347 cp = 0,94988 cs

Effisiensi pompa = 0,45 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-37pg. 520)**

$Bhp = \frac{hp}{} = \frac{0,1373536}{} =$ 0,3052 hp

Effisiensi motor = 0,8 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-38pg. 521)**

Power motor = $\frac{\text{Bhp}}{\eta \text{ motor}} = \frac{0,3052303}{0,8} =$ 0,3815 hp

Spesifikasi Pompa 2 :

Pengenc	Fungsi	= Mengalirkan asam sulfat 77.67%dari Tangki Pengencer ke reakt reakor 1 ke reaktor 2
	Jenis	= Ccentrifugal Pump
	Kapasitas	= 5605,6961 kg/jam
	Effisiensi Motor	= 0,8
	Power	= 0,3815 hp
	Jumlah	= 1 pompa
	Bahan konstruksi	= Galvanized Iron

14 Reaktor I (R-210)

Fungsi : Mereaksikan Bauksit dengan H_2SO_4 77.67% dan menghasilkan $Al_2(SO_4)_3$

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk torispherical dishead dan tutup bawah berbentuk conical, yang dilengkapi dengan pengaduk dan jaket.

Carbon steel, SA - 283 Grade C

Bahan Konstruksi : Carbon steel, SA - 283 Grade C

Kapasitas : kg/jam

Proses Operasi : Batch dengan waktu tinggal 2 jam

Kondisi Operasi :

Suhu Operasi = 110 C = 383,15 K

Tekanan Operasi = 1 atm = 14,7 psi

Waktu Operasi = 2 jam

Dimensi Reaktor :

Dimensi Ratio, H/D ditetapkan H = 2 D

Bahan Masuk

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi(Xf)	ρ (gr/ml)
0	0	#VALUE!	3,99
0	0	#VALUE!	5,12
0	0	#VALUE!	2,65
0	0	#VALUE!	3,84
0	0	#VALUE!	1
0	0	#VALUE!	1,834
	0	#VALUE!	18,434

Perhitungan :

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{\#\#\#\#\#\#}{3{,}99} + \frac{\#\#\#\#\#\#}{5{,}12} + \frac{\#\#\#\#\#\#}{2{,}65} + \frac{\#\#\#\#\#\#}{3{,}84} + \frac{\#\#\#\#\#\#}{1} +}$$

= #VALUE! gr/ml

= #VALUE! lb/cuft

a. Penentuan Volume Tangki :

Densitas Bahan = #VALUE! lb/cuft

Rate Bahan = 0 kg/jam = 0 lb/jam

Volumetrik Baha = $\frac{\text{Rate bahan}}{\rho \text{ bahan}}$ = $\frac{0}{\text{#VALUE!}}$ = #VALUE! cuft

Direncanakan waktu operasi 2 jam dengan 1 buah tangki, sehingga :

Volume Bahan = ###### x 2 = ###### cuft

Volume bahan mengisi 80% volume tangki, sehingga volume tangk :

Volume bahan = 80% Volume Tangki

#VALUE! = 80% x Volume Tangki

Volume Tangki = #VALUE! cuft

$Vs = (\pi/4) \times Ds^2 \times Hs$

$= (\pi/4) \times Ds^2 \times 2\ Ds$

$= (\pi/4) \times 2Ds^3$

$= 1{,}57\ Ds^3$

Vtutup atas = 0,000049 Ds^3 (Brownel hal 88)

Vtutup bawah = $(\pi\ Ds^3) / 24 tg\alpha$ (Hesse hal 92)

$= \frac{(\ 3{,}14 \times Ds^3\ )}{24 \times tg\ 30}$

$= 0{,}22661\ Ds^3$

α diambil 30 sehingga :

Vt = Vs + Vtutup atas + Vtutup bawah

#VALUE! = 1,57 Ds^3 + 0,000049 Ds^3 + 0,227 Ds^3

= 1,797 Ds^3

Ds^3 = #VALUE!

Ds = #VALUE! ft = ###### in = ###### meter

Hs = #VALUE! ft = ###### in = ###### meter

b. Tebal Shell

1. Menentukan Tinggi Liquid dalam shell :

Volume liquid = Vs + Vtutup bawah

#VALUE! = $(\pi/4) \times h \times Ds^2$ + 0,2266 Ds^3

#VALUE! = 0,785 x h x ###### + 0,2266 x #VALUE!

#VALUE! = #VALUE! h + #VALUE!

#VALUE! = #VALUE! h

h = #VALUE! ft = #VALUE! m

11 Reaktor I (R-210)

Fungsi : Mereaksikan Bauksit dengan H_2SO_4 77.67%
dan menghasilkan $Al_2(SO_4)_3$

Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk torispherical dishead dan tutup bawah berbentuk conical, yang dilengkapi dengan pengaduk dan jaket.

Bahan Konstruksi : Carbon steel, SA - 283 Grade C

Kapasitas : 7952,2 kg/jam

Proses Operasi : Batch dengan waktu tinggal 2 jam

Kondisi Operasi :

Suhu Operasi = 110 C = 383,15 K

Tekanan Operasi = 1 atm = 14,7 psi

Waktu Operasi = 2 jam

Dimensi Reaktor :

Dimensi Ratio, H/D ditetapkan H = 2 D

Bahan Masuk

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi(Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2O_3 . 2H_2O$	1823,45323	0,2293023	3,99
Fe_2O_3	383,5743041	0,0482351	5,12
SiO_2	354,0685884	0,0445247	2,65
TiO_2	35,40685884	0,0044525	3,84
H_2O	1470,92744	0,1849716	1
H_2SO_4	3884,748186	0,4885137	1,834
	7952,178608	1	18,434

Perhitungan :

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}}\ 1 \text{ gr/ml} = 62,43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0,2293}{3,99} + \frac{0,0482}{5,12} + \frac{0,0445}{2,65} + \frac{0,0045}{3,84} + \frac{0,185}{1} + \frac{0,4885}{1,834}}$$

$$= 1,8650166 \text{ gr/ml}$$

$$= 116,43299 \text{ lb/cuft}$$

a. Penentuan Volume Tangki :

Densitas Bahan = 116,43299 lb/cuft

Rate Bahan = 7952,1786 kg/jam = 17494,793 lb/jam

Volumetrik Bah = $\frac{\text{Rate bahan}}{\rho \text{ bahan}} = \frac{17494,793}{116,43299} =$ 150,25633 cuft/jam

Direncanakan waktu operasi 2 jam dengan 1 buah tangki, sehingga :

Volume Bahan = 150,26 x 2 = 300,51 cuft

Volume bahan mengisi 80% volume tangki, sehingga volume tang :

Volume bahan = 80% Volume Tangki

300,5126526 = 80% x Volume Tangki

Volume Tangki = 375,64082 cuft

$Vs = (\pi/4) \times Ds^2 \times Hs$

$= (\pi/4) \times Ds^2 \times 2\,Ds$

$= (\pi/4) \times 2Ds^3$

$= 1,57\ Ds^3$

Vtutup atas = 0,000049 Ds^3 (Brownel hal 88)

Vtutup bawah = $(\pi\ Ds^3) / 24tg\alpha$ (Hesse hal 92)

$= \frac{(\ 3,14 \times Ds^3\ )}{24 \times tg\ 30}$

$= 0,22661\ Ds^3$

α diambil 30 sehingga :

Vt = Vs + Vtutup atas + Vtutup bawah

375,64082 = 1,57 Ds^3 + 0,000049 Ds^3 + 0,227 Ds^3

= 1,797 Ds^3

Ds^3 = 209,07742

Ds = 5,93 ft = 71,21 in = 1,7802 meter

Hs = 11,87 ft = 142,42 in = 3,5605 meter

b. Tebal Shell

1. Menentukan Tinggi Liquid dalam shell :

Volume liquid = Vs + Vtutup bawah

300,51265 = $(\pi/4) \times h \times Ds^2$ + 0,2266 Ds^3

300,51265 = 0,785 x h x 35,21 + 0,2266 x 209,07742

300,51265 = 27,643077 h + 47,379029

253,13362 = 27,643077 h

h = 9,1572 ft = 2,82409 m

2. Menentukan Tekanan Design :

Jika didalam bejana terdapat liquid, maka :

P design = Po - Pi + Phidrostatis

P design = 14,7 - 14,7 + Phidrostatis
P design = Phidrostatis
P design = ρ x g/gc x hliq
= 116,43299 $\frac{lbm}{cuft}$ x 1 $\frac{lbf}{lbm}$ x 9,1572 ft
= 1066,202 lbf /ft² = 7,4041805 psi

Asumsi P design 10% lebih besar untuk faktor keamanan
P design = 110% x 7,4042 psi
= 8,1446 psi
Digunakan bahan konstruksi yang terbuat dari Carbon Steel dengan spesifikasi
SA-283 Grade C **(Brownell, T. 13-1)**
Fallowable = 12650
C = 0,125 in
Sambungan las dengan type double welded butt joint
Efisiensi las, E = 0,8

r = 0,5 x 71,21
= 35,605 in
Rumus tebal shell yang digunakan adalah :

$$tmin = \frac{P \times ri}{fe - 0{,}6P} + C$$ **(Brownell & Young pers 13.1 hal 254)**

$$t = \frac{8{,}1446 \times 35{,}605}{((12650 \times 0{,}8)) - (0{,}6 \times 8{,}1446)} + \frac{1}{8}$$

t = 0,1537 in
Diambil tebal shell = $\frac{3}{16}$ in

3. Menentukan Tebal Tutup Atas, Torispherical
Tutup atas berbentuk standart dishead head
OD = ID + 2ts
= 71,21 + 2 x 0,1875
= 71,584774 in
rc = 35,604887 in = 2,9670739 ft

Tinggi tutup (h) = $rc - (rc^2 - (\frac{D^2}{4})^{0,5}$ (Hesse, hal 4-14)

h = 2,9671 - (2,9671 ² - (5²)) ^0,5

h = 1,6903 ft

Volume dishead = 1,1 x h² (3rc -h)
= 1,1 x 2,8571 x (8,9012 - 2)
= 22,662907 cuft

Bentuk : Flanged and standart dishead head

(Brownell & Young pers 13.12 hal 258)

$$t = \frac{0,885 x P_d x r_c}{(f x E - 0,1 x P_d)} + C$$

Dimana :

t_h = tebal tutup (head) shell n ; in

r_c = *radius of curfative* sama dengan Diameter ; in

= D (torisperical)

P = tekanan tangki ; psia

E = faktor pengelasan, digunakan jenis *double welded butt joint.*
Nilainya = 0,8

C = faktor korosi, 1/8 in

f = *Allowable Stress, 12650 psi* (Brownel & Young hal.251)
untuk bahan konstruksi stainless steel A193 grade B8

$$t_h = \frac{0,885 \quad (\quad 8,1446 \quad) \quad x \quad 35,6049}{12650 \quad 0,8 \quad - \quad 0,1 \quad 8,1446} = 0,125$$

t_h = 0,1503616 maka dari itu digunakan tutup dengan tebal = $\frac{3}{16}$ in

4. Menentukan Tebal Tutup bawah , Conical

$$h = \frac{tg\alpha \ x \ (\ D \ - \ m \ )}{2}$$ **(Hesse, hal 92)**

[Hesse, pers 4-17]

dimana :

D = Diameter bejana (ft)

tgα = Sudut conis 30°

m = 12 in = 1 ft **(Hesse, hal 85)**

$$h = \frac{tg \ 30 \ x \ (\ 5,9 \ - \ 1 \ )}{2}$$

h = 1,4244 ft

Volume = 0,262 x h (D² + D.m + m²)

Conical = 0,262 x 1,4244 x 42,1483
= 15,7290 cuft

(Hesse pers 4-18)

Bentuk : Standart conical dishead

$$t = \frac{P_d x D}{2\cos\alpha(fxE - 0{,}6xP_d)} + C$$ **(Brownell&Young, Pers,6-154, hal.118)**

Dimana :

Pd = Tekanan design (psi)
D = Diameter shell (in)
E = Faktor pengelasan, 0,8
t = tebal dinding minimal (in)

$$t = \frac{8{,}1446 \times 71{,}21}{2 \cos 30 ((12650 \times 0{,}8) - (0{,}6 \times 8{,}1446))} + \frac{1}{8}$$

t = 0,1581 in

Diambil tebal head = 3/16 in

c. Sistem Pengaduk

Jumlah Baffle = 4 buah

Jjumlah Impeller (Pengaduk) antara 4-16, tetapi umumnya 6 atau 8

(Mc Cabe 5ed pg. 243)

Dipilih pengaduk type flat blade turbine dengan jumlah blade 6

1. Penentuan Dimensi Pengaduk

Tinggi bahan total = 9,1572 ft = 109,88659 in
Diameter tangki = 5,9 ft = 71,21 in

Ukuran pengaduk diambil dari Mc. Cabe ed 5th, hal 243

$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{E}{Dt} = \frac{1}{3}$

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

$\frac{W}{} = \frac{1}{}$

Da 5

Keterangan :

Da = Diameter impeller (pengaduk)
Dt = Diameter tangki
L = Panjang blade
W = Lebar blade
E = Jarak Impeller (pengaduk) dari dasar tangki
J = Lebar baffle

Diameter impeller (Da) = 1/3 Dt = $\frac{1}{3}$ x 5,9
= 1,978 ft

Lebar blade (W) = 1/5 Da = $\frac{1}{5}$ x 1,978
= 0,3956 ft

Panjang blade (L) = 1/4 Da = $\frac{1}{4}$ x 1,978
= 0,4945 ft

Jarak impeller dari dasar (E) 1/3 Dt = $\frac{1}{3}$ x 5,9
= 1,978 ft

Lebar baffle (J) = 1/12 Dt = $\frac{1}{12}$ x 5,9
= 0,4945 ft

2. Penentuan Jumlah Pengaduk

Tinggi bahan total H = 9,1572 ft
Diameter dalam tangki Dt = 5,9 ft

$$sg = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference } (H_2O)}$$

$$= \frac{116,4329873 \text{ lb/cuft}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 1,8650$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{\text{tinggi bahan}}{\text{diameter tangki}} \times sg$$

$$= \frac{9,1572}{5,9} \times 1,8650$$

$$= 2,8779801$$

Jadi jumlah impeler sebanyak 3 buah

3. Penentuan Power Motor

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg referenc = 1

Dari Kern fig. 14 pg.823 didapat reference = 0,00085 lb/ft.s

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan} \times \mu \text{ reference}}{\text{sg reference}}$$

$$= \frac{1,8650 \times 0,00085}{1}$$

$$= 0,0016 \text{ lb/ft.s}$$

ρ campuran = 116,43299 lb/cuft

Dari Joshi hal 415 didapat, kecepatan putaran pengadukan jenis turbin antara 200-250 m/min

Ditetapkan kecepatan pengaduk , (N) = 130 rpm = 2,2 rps

Putaran pengaduk, (V) = π x N x Da **(Joshi; hal 415)**

= π x 130 x (2 x 0,3048)

= 244,92 m/min (memenuhi)

Bilangan Reynolds (Nre)

$$N_{Re} = \frac{\rho \times Da^2 \times N}{\mu}$$

$$= \frac{116,433 \times 3,9127 \times 2}{0,0016}$$

= 658.038,194 (aliran turbulen)

Perhitungan power pengaduk yang dibutuhkan :

Diperoleh nilai N_{Re} > 10000, sehingga Np = K_T

K_T = Np = 6,300 **[Ludwig, vol-1 T.5-1, hal 301]**

$$P = \frac{K_3 N^3 Da^5 \rho}{g_c}$$ **(McCabe 5ed., tabel 9.2, hal.254)**

$$= \frac{6,300 \times 2^3 \times 1,978^5 \times 116,433}{32,2}$$

= 7.022,203 ft.lbf /s

= 12,7676 Hp

Power Losses pada Gland 10% hp = 0,10 x 12,768 **(Joshi : 424)**

= 1,2768 Hp

Diambil power = 0,500 hp

Power input dengan gland = 12,7676 + 1,2768

losses

= 14,0444 Hp

Trans. System loss 20 % = 0,20 x 14,0444
= 2,8089 Hp
Power Total = 14,044 + 2,8089
= 16,8533 Hp
Jumlah pengaduk 4,maka = 4 x 16,8533
= 67,4131 hp
Efisiensi motor = 85%
Sehingga power motor = $\frac{67,4131}{0,850}$
= 79,31 Hp ≈ 79 Hp

d. Perhitungan Sistem Pendingin
Perhitungan Jaket (Kern. 719)
Perhitungan jaket pendingin
Sebagai media pendingin digunakan air pendingin suhu = 30 °C
Untuk menjaga suhu supaya suhu dalam reaktor tetap = 110 °C
Q serap = 3.004.137,1256 Kkal/jam
= 10.013.790,4185 Btu/jam

Suhu Bahan Masuk = 30 °C = 86 °F
Suhu Bahan Keluar = 110 °C = 230 °F
Air Pendingin Masuk = 30 °C = 86 °F
Air Pendingin Keluar = 45 °C = 113 °F
ΔT1 = 27 °F
ΔT2 = 144 °F
ΔT LMTD = 69,8935 °F

Keb Air Pendingin = 200.544,5381 kg/jam
= 442.200,7064 lb/jam
ρ Air Pendingin = 62,43 lb/cuft
= 1000 kg/m³
Rate Volumetrik = $\frac{\text{Keb Air Pendingin}}{\rho \text{ Air Pendingin}}$
= $\frac{200.544,5381 \text{ kg/jam}}{1000 \text{ kg/m}^3}$
= 200,5438 m³/jam
= 1,9673 cuft/s

Koefisien perpindahan panas bagian luar jaket : **(Kern pg. 718 eq. 20-1)**

$$hc = 0,36 \left(k / Di\right) \left[L^2 N \rho \right]^{2/3} \left[C \mu \right]^{1/3} \frac{\left[\mu \right]^{0,14}}{}$$

$\frac{\mu}{k}$ $\frac{k}{\mu w}$

keterangan :

L = Da (diameter impeler) = 1,9780 ft
N = Putaran pengaduk = 130 rpm = 7800 rph
ρ = berat jenis air = 62,430 lb/cuft
μ = Viscositas larutan = 0,2300 cp
= 0,5570 lb/ft jam

C = kapasitas panas campuran (Btu/lb °F) 1 Joule = 0,000239 kkal
1 kkal/kg °C = 1 Btu/lb °F

K = 0,37 Btu/jam ft² (°F/ft)

$$Re\,p = \frac{[L^2\ N\ \rho]^{2/3}}{\mu}$$

$$= \frac{(\ 1{,}978^{\ 2} \times 7800 \times 62{,}430\ )^{2/3}}{0{,}5570}$$

$$= 27592{,}1945$$

$$\frac{[C\,\mu]^{1/3}}{k} = \frac{(\ 1{,}000 \times 0{,}5570\ )^{1/3}}{0{,}3700}$$

$$= 2{,}2237$$

$$\frac{[\mu]^{0{,}14}}{\mu w} = \frac{[\ 0{,}5570\ ]^{0.14}}{1}$$

$$= 1$$

$$hi = 0{,}36 \times \frac{0{,}370000}{5{,}9341} \times 27592{,}1945 \times 2{,}224 \times 1{,}0000$$

= 1377,258 Btu/jam.ft.°F

Untuk air pendingin yang berada dalam jaket mengacu pada diameter bejana:

hio = 100 Btu/jam.ft.°F

Menghitung Uc

$$Uc = \frac{hi \times hio}{hi + hio} = 93{,}231 \text{ Btu/jam.ft.°F}$$

Rd = 0,001 (Kern tabel 12 pg. 845)

$$hd = \frac{1}{Rd} = 1000$$

Menghitung Ud

$$Uc = \frac{Uc \times hd}{Uc + hd} = 85{,}28$$

A = phi x Di x Hpengaduk x phi/4xDi²

= 3,14 x 5,9341 x 1,9780 x 27,643

= 1018,8529 ft²

e. Menentukan Tinggi Jaket

Tinggi Jaket = Tinggi Shell + Tinggi Tutup Bawah

h = 11,868 + 1,4244

h = 13,293 ft

Asumsi :

Tebal air pendingin (s) = 2 in

Tebal jaket (tj) = 3/16 in

Effisiensi sambungan las (e) = 0,8

Faktor korosi (c) = 1/8

Ddipergunakan bahan konstruksi yang terbuat dari carbon steel dengan spesifikasi, SA-283 Grade C

f allowed = 12650

Do (shell) = Di + 2ts

= 71,21 + 2 x $\frac{3}{16}$

= 71,585 in

Di (jaket) = Dos + 2s

= 71,585 + 2 x 2

= 75,585 in

Do (jaket) = Di j + 2tj

= 75,585 + 2 x $\frac{3}{16}$

= 75,96 in

P desain jaket = Po - Pi + Ph

= 14,7 - 14,7 + ρ x g/gc x hliq

= 62,430 $\frac{lbm}{cuft}$ x 1 $\frac{lbf}{lbm}$ x 9,4946 ft

= 592,75016 lbf/ft² = 4,1163 psi

f. Penentuan Tebal Jaket

Tebal jaket berdasarkan ASME Code untuk cylindrical tank :

$$t = \frac{P \times Dij}{2fe - P} + C$$

Dimana :

Pd = Tekanan desain (psi)

Dij = Diameter dalam jaket (in)
E = faktor pengelasan = 0,8
t = Tebal dinding minimal (in)

$$0{,}1875 = \frac{4{,}1163 \times 75{,}585}{(f \times 1{,}6) - (4{,}1163)} + \frac{1}{8}$$

$$0{,}0625 = \frac{311{,}1312}{1{,}6f - 4{,}1163}$$

$$0{,}0625 \times (1{,}6f - 4{,}1163) = 311{,}1312$$

$$0{,}1f - 0{,}25727 = 311{,}1312$$

$$0{,}1f = 311{,}3884$$

$$f = 3113{,}8843$$

fallowed > fdesain
12650 > 3113,8843
dipilih tebal jaket = 3/16 in

Spesifikasi Reaktor 1 :

Nama alat : Reaktor Berpengaduk
Fungsi : Mereaksikan Bauksit dengan H_2SO_4 77,67% dan menghasilkan $Al_2(SO_4)_3$
Type : Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk torispherical dishead dan tutup bawah berbentuk conical, yang dilengkapi dengan pengaduk dan jaket
Bahan konstruksi : Carbon steel, SA-283 Grade C

Kondisi Operasi :
Suhu Operasi : 110 °C = 383,15 °K
Tekanan Operasi : 1 atm = 14,71 psi
Waktu operasi : 2 jam
Proses Operasi : Batch

Dimensi Reaktor :

Tinggi bejana : 11,868 ft
Diameter dalam bejana : 5,9 ft
Tebal bejana : 3/16 in

Dimensi Tutup

Tebal tutup atas : 3/16 in
Tebal tutup bawah : 3/16 in
Tinggi tutup atas : 1,6903 ft
Tinggi tutup bawah : 1,4244 ft

Pengaduk

Jenis pengaduk	:	Tipe flat blade turbin dengan jumlah blade 6 buah
Jumlah impeller	:	3 buah
Diameter impeller	:	1,978 ft
Lebar blade	:	0,3956 ft
Panjang blade	:	0,4945 ft
Jarak impeller dari dasar	:	1,978 ft
Lebar baffle	:	0,4945 ft
Type poros	:	Commercial hot rolled steel
Putaran	:	130 rpm
Power motor	:	79 hp
Tebal jaket	:	3/16 in
Tinggi Jaket	:	13,293 ft
Jumlah	:	1 buah

12. Reaktor 2

Fungsi : Menambahkan BaS kedalam Al2(SO4)3 untuk mereduksi Fe2(SO4)3 menjadi FeS

Type : Silinder tegak dengan tutup berbentuk torispherical dishead dan tutup bawah berbentuk conical, yang dilengkapi dengan pengaduk dan jaket

Bahan Konstruksi : Carbon steel, SA-283 Grade C

Kapasitas : 8717,8024 kg/jam

Proses operasi : Batch dengan waktu tinggal 2 jam

Kondisi Operasi :

Suhu operasi : 110 = 383,15 °K

Tekanan operasi : 1 atm = 14,696 psi

Waktu operasi : 2 jam

Dimensi Reaktor :

Dimensi Rasio, H/D ditetapkan H= 2D

Bahan Masuk

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	4157,473365	0,4768947	2,71
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	0,0167331	3,99
$Fe_2(SO_4)_3$	422,8297346	0,0485019	3,097
Fe_2O_3	214,4424103	0,0245982	5,12
SiO_2	354,0685884	0,0406144	2,65
TiO_2	35,40685884	0,0040614	3,84
H_2O	2622,081392	0,3007732	1
BaS	535,9366886	0,0614761	4,25
C	229,6871522	0,0263469	3,51
Total	8717,8024	1	

Perhitungan :

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0{,}47689}{2{,}71} + \frac{0{,}0167}{3{,}99} + \frac{0{,}0485}{3{,}097} + \frac{0{,}0246}{5{,}12} + \frac{0{,}0406}{2{,}65} + \frac{0{,}0041}{3{,}84} + \frac{0{,}30077}{1} + \frac{0{,}0615}{4{,}25} + \frac{0{,}0263}{3{,}51}}$$

= 1,85266427 gr/ml

= 115,66183 lb/cuft

a. Penentuan Volume Tangki :

Densitas Bbahan = 115,66183 lb/cuft

Rate Massa = 8717,8024 kg/jam = 19219,529 lb/cuft

Volmetrik Bahan = $\frac{\text{Rate massa}}{\rho \text{ bahan}} = \frac{19219,529}{115,66183} =$ 166,17002 cuft/jam

Direncanakan waktu operasi 2 jam dengan 1 buah tangki, sehingga

Volume Bahan = 166,170021 x 2
= 332,340 cuft

Volume bahan mengisi 80% volume tangki, sehingga volume tangki :

Volume bahan = 80% x Volume tangki
332,340 = 80% x Volume tangki
Volume tangki = 415,425 cuft

Vs = $(\pi/4)$ x Ds^2 x Hs
= $(\pi/4)$ x Ds^2 x 2 Ds
= $(\pi/4)$ x $2Ds^3$
= 1,57 Ds^3

Vtutup atas = 0,000049 Ds^3 (Brownell Hal 88)

Vtutup bawah = $(\pi\ Ds^3) / 24tg\alpha$ (Hesse hal 92)

$$= \frac{(\ 3,14 \times Ds^3\ )}{24 \times tg\ 30}$$

= 0,22661 Ds^3

α diambil 30° sehingga :

Vt = Vs + Vtutup atas + Vtutup bawah
415,425 = 1,57 Ds^3 + 0,000049 Ds^3 + 0,2266 Ds^3
= 1,7967 Ds^3

Ds^3 = 231,220871 ft^3
Ds = 6,1 ft = 73,64 in = 1,8704 m
Hs = 12,273 ft = 24,547 in = 3,7409 m

b. Tebal Shell

1. Menentukan Tinggi Liquid dalam shell :

Volume liquid = Vs + Vtutup bawah
332,34004 = $(\pi/4)$ x h x Ds^2 + 0,2266 Ds^3
332,34004 = 0,785 x h x 37,66 + 0,2266 x 231,22087
332,34004 = 29,5617457 h + 52,396957
279,94309 = 29,5617457 h
h = 9,4698 ft = 2,92048 m

2. Menentukan Tekanan Design :

Jika didalam bejana terdapat liquid, maka :

P design = Po - Pi + Phidrostatis
P design = 14,7 - 14,696 + Phidrostatis
P design = Phidrostatis

P design = ρ x g/gc x hliq

= 115,66183 $\frac{lbm}{cuft}$ x 1 $\frac{lbf}{lbm}$ x 9,4698 ft

= 1095,29153 lbf /ft² = 7,6061912 psi

Asumsi P design 10% lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 110% x 7,6062 psi

= 8,3668 psi

Digunakan bahan konstruksi yang terbuat dari Carbon Steel dengan spesifikasi SA-283 Grade C **(Brownell, T. 13-1)**

Fallowable = 12650

C = 0,125 in

Sambungan las dengan type double welded butt joint

Efisiensi las, E = 0,8

r = 0,5 x 73,64

= 36,8198 in

Rumus tebal shell yang digunakan adalah :

$$tmin = \frac{P \times ri}{fe - 0{,}6P} + C$$ **(Brownell & Young pers 13.1 hal 254)**

$$t = \frac{8{,}3668 \times 36{,}82}{((12650 \times 0{,}8)) - (0{,}6 \times 8{,}3668)} + \frac{1}{8}$$

t = 0,1555 in

Diambil tebal shell = $\frac{3}{16}$ in

3. Menentukan Tebal Tutup Atas, Torispherical

Tutup atas berbentuk standart dishead head

OD = ID + 2ts

= 73,64 + 2 x 0,1875

= 74,014606 in

rc = 36,819803 in = 3,0683169 ft

Tinggi tutup (h) = $rc - (rc^2 - (\frac{D^2}{4})^{0,5}$ (Hesse, hal 4-14)

h = 3,0683 - (3,0683 ² - (5²)) ^0,5

4

h = 1 ft

Volume dishead = 1,1 x h² (3rc -h)
= 1,1 x 2,2083 x (9,205 - 1)
= 18,750195 cuft

Bentuk : Flanged and standart dishead head

(Brownell & Young pers 13.12 hal 258)

$$t = \frac{0.885 x P_d x r_c}{(f x E - 0{,}1 x P_d)} + C$$

Dimana :

t_h = tebal tutup (head) shell m ; in

r_c = *radius of curfative* sama dengan Diameter ; in

= D (torisperical)

P = tekanan tangki ; psia

E = faktor pengelasan, digunakan jenis *double welded butt joint.*
Nilainya = 0,8

C = faktor korosi, 1/8 in

f = *Allowable Stress, 12650 psi* (Brownel & Young hal.251)
untuk bahan konstruksi stainless steel A193 grade B8

$$t_h = \frac{0{,}885 \quad (\quad 8{,}3668 \quad) \quad x \quad 36{,}8198}{12650 \quad 0{,}8 \quad - \quad 0{,}1 \quad 8{,}3668} = 0{,}125$$

t_h = 0,15194263 maka dari itu digunakan tutup dengan tebal = $\frac{3}{16}$ in

4. Menentukan Tebal Tutup bawah , Conical

$$h = \frac{tg\alpha \quad x \quad (\quad D \quad - \quad m \quad)}{2}$$

(Hesse, hal 92)
[Hesse, pers 4-17]

dimana :

D = Diameter bejana (ft)

tgα = Sudut conis 30°

m = 12 in = 1 ft **(Hesse, hal 85)**

$$h = \frac{tg \quad 30 \quad x \quad (\quad 6{,}1 \quad - \quad 1 \quad)}{2}$$

h = 1,48282 ft

Volume = 0,262 x h (D² + D.m + m²)
Conical = 0,262 x 1,4828 x 44,7949
= 17,4028 cuft

(Hesse pers 4-18)

Bentuk : Standart conical dishead

$$t = \frac{P_d x D}{2\cos\alpha(fxE - 0{,}6xP_d)} + C$$

(Brownell&Young, Pers,6-154, hal.118)

Dimana :

Pd = Tekanan design (psi)
D = Diameter shell (in)
E = Faktor pengelasan, 0,8
t = tebal dinding minimal (in)

$$t = \frac{8{,}3668 \times 73{,}64}{2\cos 30\,((12650 \times 0{,}8) - (0{,}6 \times 8{,}3668))} + \frac{1}{8}$$

t = 0,1602 in
Diambil tebal head = 3/16 in

c. Sistem Pengaduk

Jumlah Baffle = 4 buah
Jjumlah Impeller (Pengaduk) antara 4-16, tetapi umumnya 6 atau 8

(Mc Cabe 5ed pg. 243)

Dipilih pengaduk type flat blade turbine dengan jumlah blade 6

1. Penentuan Dimensi Pengaduk

Tinggi bahan total = 9,4698 ft = 113,6373 in
Diameter tangki = 6,1 ft = 73,64 in
Ukuran pengaduk diambil dari Mc. Cabe ed 5th, hal 243

$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{E}{Dt} = \frac{1}{3}$
$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$
$\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$

Keterangan :

Da = Diameter impeller (pengaduk)
Dt = Diameter tangki
L = Panjang blade
W = Lebar blade

E = Jarak Impeller (pengaduk) dari dasar tangki
J = Lebar baffle

Diameter impeller (Da) = 1/3 Dt = $\frac{1}{3}$ x 6,1
= 2,0455 ft

Lebar blade (W) = 1/5 Da = $\frac{1}{5}$ x 2,0455
= 0,4091 ft

Panjang blade (L) = 1/4 Da = $\frac{1}{4}$ x 2,0455
= 0,5114 ft

Jarak impeller dari dasar (E) = 1/3 Dt = $\frac{1}{3}$ x 6,1
= 2,0455 ft

Lebar baffle (J) = 1/12 Dt = $\frac{1}{12}$ x 6,1
0,5114 ft

2. Penentuan Jumlah Pengaduk

Tinggi bahan total H = 9,4698 ft
Diameter dalam tangki Dt = 6,1 ft

$$sg = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference } (H_2O)}$$
$$= \frac{115,6618302 \text{ lb/cuft}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$$
$$= 1,8527$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{\text{tinggi bahan}}{\text{diameter tangki}} \times sg$$
$$= \frac{9,4698}{6,1} \times 1,8527$$
$$= 2,8589475$$

Jadi jumlah impeler sebanyak 4 buah

3. Penentuan Power Motor

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg reference = 1
Dari Kern fig. 14 pg.823 didapat μ reference = 0,00085 lb/ft.s

$$\mu \text{ bahan} = \frac{sg \text{ bahan} \times \mu \text{ reference}}{sg \text{ reference}}$$
$$= \frac{1,8527 \times 0,00085}{1}$$

= 0,00157 lb/ft.s

ρ campuran = 115,66183 lb/cuft

Dari Joshi hal 415 didapat, kecepatan putaran pengadukan jenis turbin antara 200-250 m/min

Ditetapkan kecepatan pengaduk , (N) = 130 rpm = 2,2 rps

Putaran pengaduk, (V) = π x N x Da **(Joshi; hal 415)**

= π x 130 x (2,0455 x 0,3048)

= 254,50535 m/min (memenuhi)

Bilangan Reynolds (Nre)

$$N_{Re} = \frac{\rho \times Da^2 \times N}{\mu}$$

$$= \frac{115,662 \times 4,1843 \times 2}{0,0016}$$

= 699.050,923 (aliran turbulen)

Perhitungan power pengaduk yang dibutuhkan :

Diperoleh nilai N_{Re} > 10000, sehingga Np = K_T

K_T = Np = 6,300 **[Ludwig, vol-1 T.5-1, hal 301]**

$$P = \frac{K_3 N^3 Da^5 \rho}{g_c}$$ **(McCabe 5ed., tabel 9.2, hal.254)**

$$= \frac{6,300 \times 2^3 \times 2,100^5 \times 115,662}{32,2}$$

= 9.408,022 ft.lbf /s

= 17,1055 Hp

Power Losses pada Gland 10% hp = 0,10 x 17,105 **(Joshi : 424)**

= 1,7105 Hp

Diambil power = 0,500 hp

Power input dengan gland losses = 17,1055 + 1,7105

= 18,8160 Hp

Trans. System loss 20 % = 0,20 x 18,8160

= 3,7632 Hp

Power Total = 18,816 + 3,7632

= 22,5793 Hp

Jumlah pengaduk 4,maka = 4 x 22,5793

= 90,3170 hp

Efisiensi motor = 85%

Sehingga power motor = $\frac{90,3170}{0,850}$

= 106,26 Hp ≈ 106 Hp

d. Perhitungan Sistem Pendingin

Perhitungan Jaket (Kern. 719)

Perhitungan jaket pendingin

Sebagai media pendingin digunakan air pendingin suhu = 30 °C

Untuk menjaga suhu supaya suhu dalam reaktor tetap = 110 °C

Q serap = 284.097,5327 Kkal/jam

= 946.991,7755 Btu/jam

Suhu Bahan Masuk = 110 °C = 230 °F

Suhu Bahan Keluar = 110 °C = 230 °F

Air Pendingin Masuk = 30 °C = 86 °F

Air Pendingin Keluar = 45 °C = 113 °F

ΔT1 = 117 °F

ΔT2 = 144 °F

ΔT LMTD = 130,0331 °F

Keb Air Pendingin = 18.965,2489 kg/jam

= 41.818,3739 lb/jam

ρ Air Pendingin = 62,43 lb/cuft

= 1000 kg/m³

Rate Volumetrik = $\frac{\text{Keb Air Pendingin}}{\rho \text{ Air Pendingin}}$

= $\frac{18.965,2489 \text{ kg/jam}}{1000 \text{ kg/m}^3}$

= 18,9652 m³/jam

= 0,1860 cuft/s

Koefisien perpindahan panas bagian luar jaket : **(Persamaan 20-4 kern hal 722)**

$$hc = 0,87 \left(k / Di\right) \left[\frac{L^2 N \rho}{\mu}\right]^{2/3} \left[\frac{C \mu}{k}\right]^{1/3} \left[\frac{\mu}{\mu w}\right]^{0,14}$$

keterangan :

L = Da (diameter impeler) = 2,0455 ft

N = Putaran pengaduk = 130 rpm = 7800 rph

ρ = berat jenis larutan = 115,662 lb/cuft

μ = Viscositas larutan = 0.0016 lb/ft s

= 5,6692 lb/ft jam

= 2,3435 cp

C = kapasitas panas campuran (Btu/lb °F) 1 Joule = 0,000239 kkal

1 kkal/kg °C = 1 Btu/lb °F

K = konduktifitas larutan

$$Kmix = \frac{0,0677}{sg\ [\ 1 - 0,0003\ (t - 32)\ ]}$$

$$= \frac{0,0677}{1,853\ [\ 1 - 0,0003\ (\ 130 - 32\ )]}$$

= 0,0376 Btu/jam.ft.°F ***Perry ed 5 pers 3-89 hal 3-243***

$$Re\ p = \frac{[\ L^2\ N\ \rho]^{2/3}}{\mu}$$

$$= \frac{(\ 2,046^{\ 2} \times 7800 \times 115,662\ )^{2/3}}{5,6692}$$

= 4276,4516

$$\frac{[\ C\ \mu\ ]^{1/3}}{k} = \frac{(\ 1,000 \times 5,6692\ )^{1/3}}{0,0376}$$

= 47,3605

$$\frac{[\ \mu\ ]^{0,14}}{\mu w} = \frac{[\ 5,6692\ ]^{0.14}}{1}$$

= 1,2749

$$hc = 0,87 \times \frac{0,037649}{6,1366} \times 4276,4516 \times 47,361 \times 1,2749$$

= 1378,281 Btu/jam.ft.°F

Koefisien perpindahan panas bagian dalam jaket (hi) :

OD	=	1,500	in
ID	=	1,370	in
flow area (a't)	=	1,470 in^2 = 0,00095	m^2
surface per 1in ft (a)	=	0,393	ft^2

$$v = \frac{W}{\rho \times a't}$$

$$= \frac{18965,2489}{1000 \times 0.00095}$$

$= \quad 19997{,}4113 \quad m/jam$

$= \quad 5{,}5548 \quad m/s$

$= \quad 18{,}2245 \quad fps$

$hi = 2000 \ Btu/j\ ft^2\ ^oF$ **(Kern. Fig 25 halaman 835)**

$hio = hi \times \frac{ID}{OD}$

$= 2000 \times \frac{1{,}370}{1{,}500}$

$= 1826{,}7 \ Btu/j\ ft^2\ ^oF$

$Uc = \frac{hi \times hio}{hi + hio}$

$= \frac{2000 \times 1826{,}7}{2000 + 1826{,}7}$

$= 954{,}70383$

$Rd = 0{,}001$ **(Kern Tabel 12, hal 845)**

$\frac{1}{U_D} = \frac{1}{Uc} + Rd = \frac{1}{954{,}70383} + 0{,}001 = 0{,}0020474$

maka nilai dari UD $= \quad 488{,}414 \quad Btu/j\ ft^2\ ^oF$

$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{LMTD}}$

$= \frac{946.991{,}7755}{488{,}414 \times 130{,}0331}$

$= \quad 14{,}91092 \quad ft^2$

e. Menentukan Tinggi Jaket

Tinggi Jaket = Tinggi Shell + Tinggi Tutup Bawah

h = 12,273 + 1,4828

h = 13,756 ft

Asumsi :

Tebal air pendingin (s) = 2 in

Tebal jaket (tj) = 3/16 in

Effisiensi sambungan las (e) = 0,8

Faktor korosi (c) = 1/8

Ddipergunakan bahan konstruksi yang terbuat dari carbon steel dengan spesifikasi, SA-283 Grade C

f allowed = 12650

Do (shell) = Di + 2ts

= 73,64 + 2 x 3/16

= 74,0146 in

Di (jaket) = Dos + 2s

= 74,0146 + 2 x 2

= 78,0146 in

Do (jaket) = Di j + 2tj

= 78,0146 + 2 x 3/16

= 78,3896 in

P desain jaket = Po - Pi + Ph

= 14,7 - 14,7 + ρ x g/gc x hliq

= 62,43 lbm/cuft x 1 lbf/lbm x 9,8186 ft

= 612,976 lbf/ft² = 4,2568 psi

f. Penentuan Tebal Jaket

Tebal jaket berdasarkan ASME Code untuk cylindrical tank :

$$t = \frac{P \times Dij}{2fe - P} + C$$

Dimana :

Pd = Tekanan desain (psi)

Dij = Diameter dalam jaket (in)

E = faktor pengelasan = 0,8

t = Tebal dinding minimal (in)

$$0{,}1875 = \frac{4{,}25678 \times 78{,}015}{(f \; 1{,}6) - (4{,}2568)} + \frac{1}{8}$$

$$0{,}0625 = \frac{332{,}0909}{1{,}6\,f - 4{,}2568}$$

$$0{,}0625 \times (1{,}6\,f - 4{,}2568) = 332{,}0909$$

$$0{,}1\,f - 0{,}2660486 = 332{,}0909$$

$$0{,}1\,f = 332{,}3569$$

$$f = 3323{,}5693$$

fallowed > fdesain

12650 > 3323,5693

dipilih tebal jaket = 3/16 in

Spesifikasi Reaktor 2 :

Nama alat	:	Reaktor Berpengaduk
Fungsi	:	Menambahkan BaS kedalam $Al_2(SO_4)_3$ untuk mereduksi Fe2(SO4)3 menjadi FeS
Type	:	Silinder tegak dengan tutup atas berbentuk torispherical dishead dan tutup bawah berbentuk conical, yang dilengkapi dengan pengaduk dan jaket
Bahan konstruksi	:	Carbon steel, SA-283 Grade C
Kondisi Operasi	:	
Suhu Operasi	:	110 °C = 383,15 °K
Tekanan Operasi	:	1 atm = 14,71 psi
Waktu operasi	:	2 jam
Proses Operasi	:	Batch

Dimensi Reaktor :

Tinggi bejana	:	12,273 ft
Diameter dalam bejana	:	6,1 ft
Tebal bejana	:	3/16 in

Dimensi Tutup

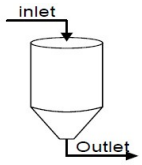
Tebal tutup atas	:	3/16 in
Tebal tutup bawah	:	3/16 in
Tinggi tutup atas	:	1,486 ft
Tinggi tutup bawah	:	1,4828 ft

Pengaduk

Jenis pengaduk	:	Tipe flat blade turbin dengan jumlah blade 6 buah
Jumlah impeller	:	4 buah
Diameter impeller	:	2,0455 ft
Lebar blade	:	0,4091 ft
Panjang blade	:	0,5114 ft
Jarak impeller dari dasar	:	2,0455 ft
Lebar baffle	:	0,5114 ft
Type poros	:	Commercial hot rolled steel
Putaran	:	130 rpm
Power motor	:	106 hp
Tebal jaket	:	3/16 in
Tinggi Jaket	:	13,756 ft
Jumlah	:	1 buah

13. Hopper BaS

Fungsi : Menampung sementara BaS sebelum masuk reaktor 2
Type : Silinder dengan tutup bawah berbentuk conical dengan posisi vertikal
Kondisi Operasi = T = 30 °C
P = 1 atm
Waktu tinggal = 2 jam (Asumsi)



Komposisi Bahan :
Bahan Masuk :
Kebutuhan BaS = 765,62384

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
BaS	535,9366886	0,7	4,25
C	229,6871522	0,3	3,51
Total	765,6238408	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan :

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0{,}7}{4{,}25} + \frac{0{,}3}{3{,}51}}$$

= 3,9971865 gr/ml
= 249,54435 lb/cuft

Rate Massa : 729,165 kg/jam = 1607,539 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} : \frac{\text{Rate Massa}}{\rho \text{ campuran}}$$

$$\text{Rate Volumetrik} : \frac{1607{,}539 \text{ lb/jam}}{249{,}54435 \text{ lb/cuft}}$$

Rate Volumetrik = 6,4419 cuft/jam

Perencanaan Dimensi Hopper :

Asumsi : waktu tinggal = 2 jam
Bahan Masuk = 6,4419 cuft x 2 jam = 12,8838 cuft
ρ campuran = 249,54435 lb/cuft

Asumsi : V. bahan = 80% V.tangki

Volume tangki = $\frac{12,8838}{80\%}$ = 16,104743 cuft

Asumsi :

H = 1 D

α = 30 °

Vs = (π/4) x Ds^2 x Hs

= (π/4) x Ds^2 x 1 Ds

= (π/4) x $1Ds^3$

= 0,785 Ds^3

Vtutup bawah = (π Ds^3) / 24tgα (Hesse hal 92)

= $\frac{(\ 3,14\ x\ Ds^3\ )}{24\ x\ tg\ 30}$

= 0,2266 Ds^3

Vt = Vs + Vtutup bawah

16,104743 = 0,785 Ds^3 + 0,2266 Ds^3

16,104743 = 1,0116 Ds^3

Ds^3 = 15,92

Ds = 2,5154 ft = 30,185 in = 0,7667 m

Hs = 2,5154 ft = 30,185 in = 0,7667 m

Menentukan Ukuran Hopper dan Ketebalannya :

Tinggi conical :

$$H = \frac{tg\ \alpha\ x\ (D-m)}{2}$$

Keterangan :

α = sudut conical : 30 °

D = diameter tangki : ft

m = flat spot center : 12 in = 1 ft

maka,

$$h = \frac{tg\ \alpha\ x\ (D-m)}{2}$$ **(Hesse, hal 92)**

[Hesse, pers 4-17]

$$h = \frac{tg\ 30\ x\ 2,52\ -\ 1}{2}$$

= 0,4375 ft

Vol. conical = 0,262 x h x (D^2+D.m+m^2) **(Hesse, pers 4-18)**

= 0,262 x 0,4375 x 9,8426

= 1,1281 cuft

Vol. silinder = 15,92 - 1,1281

= 14,792 cuft

Vol. silinder = 3,14 x D^2 H/4

14,792 = 3,14 x D^2 H/4

H^3 = 18,843 ft^3

H = 2,6608 ft

Jadi tinggi total = 0,4375 + 2,6608 = 3,0982 ft

Tekanan bahan = $\frac{\rho \text{ campuran} \times H}{144}$

= $\frac{249,54435 \times 3,0982}{144}$

= 5,3691 psig

Poperasi = 14,7 psig

Pdesign diambil 10% lebih besar dari P operasi untuk faktor keamanan

P design = 1,1 x P perencanaan

= 1,1 x (14,7 + 5,3691)

= 22,076 psi

***Menentukan tebal minimum shell :**

tmin = $\frac{P \times ri}{fe - 0.6P} + C$ **(Brownell, pers. 13-1,hal 254)**

dengan :

tmin = tebal shell minimum : in

P = tekanan tangki : psi

ri = jari-jari tangki : in (1/2 D)

C = faktor korosi : (digunakan 1/8 in)

e = faktor pengelasan, digunakan double welded : 0,8

f = stress allowable, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C, maka f = 12650 **(Brownell, T.13-1)**

ri = 0,5 x 2,5154

= 1,2577 ft = 15,092 in

tmin = $\frac{P \times ri}{fe - 0.6P} + C$

= $\frac{22,076 \times 15,092}{10120 - 13,246} + \frac{1}{8}$

= 0,0330 in + 0,125

= 0,1580 digunakan t = 3/16 in

***Penentuan tebal head**

Jenis : Conical

Type : Single welded butt joint tanpa backing up strip dengan efisiensi 70%

Tebal tutup : (Brownell pg. 118 eq. 6-154)

$$th = \frac{P \times D}{2 \cos \alpha \,(f.E - 0.6P)} + C$$

$$= \frac{22,076 \times 30,185}{2 \cos 30 \,(12650 \times 70\% - 0,6 \times 22,076)} + 1/8$$

$$= \frac{666,35867}{15314,368} + 0,125$$

= 0,1685 in digunakan t = 3/16 in

Spesifikasi Hopper BaS :

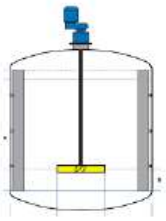
Fungsi : Menampung sementara BaS sebelum masuk reaktor 2

Type : Silinder dengan tutup bawah berbentuk conical dengan posisi vertikal

Kapasitas	:	12,8838
Diameter dalam silinder	:	2,5154 ft
Tinggi sililnder	:	3,0982 ft
Tebal shell	:	3/16 in
Diameter atas conical	:	2,5154 ft
Diameter bawah conical	:	1 ft
Tinggi conical	:	0,4375 ft
Cone angel	:	30˚
Tebal angle	:	4/16 in
Jumlah	:	1 buah

14. Tangki Penampung $Al_2(SO_4)_3$ Dari Reaktor 2

Fungsi : Untuk menampung sementara $Al_2(SO_4)_3$ dari reaktor-2
Type : Silinder tegak, tutup bawah dan tutup atas berbentuk elliptical dishead dilengkapi dengan pengaduk dan jaket



Kondisi Operasi :
T = 30 °C
P = 1 atm
Waktu tinggal = 6 jam

Dimensi rasio, H/D : H = 2D

Perhitungan :

Komposisi Bahan :

Bahan masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	4157,473365	0,4768947	2,71
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	0,0167331	3,99
Fe_2O_3	214,4424103	0,0245982	5,12
SiO_2	354,0685884	0,0406144	2,65
TiO_2	35,40685884	0,0040614	3,84
H_2O	2622,081392	0,3007732	1
FeS	186,0450832	0,0213408	4,84
$BaSO_4$	738,8949611	0,084757	4,499
S	33,82637876	0,0038801	2,046
C	229,6871522	0,0263469	3,51
Total	8717,802449	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan :

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0{,}4769}{2{,}71} + \frac{0{,}0167}{3{,}99} + \frac{0{,}0246}{5{,}12} + \frac{0{,}0406}{2{,}65} + \frac{0{,}0041}{3{,}84} + \frac{0{,}3008}{1} + \frac{0{,}0213}{4{,}84} + \frac{0{,}0848}{4{,}499} + \frac{0{,}0039}{2{,}046} + \frac{0{,}0263}{3{,}51}}$$

= 1,8699204 gr/ml
= 116,73913 lb/cuft

a. Penentuan Volume Tangki

Densintas Bahan = 116,73913 lb/cuft
Rate massa = 8717,8024 kg/jam = 19219,529 lb/jam

Volumetrik Bahan = $\frac{\text{Rate massa}}{\rho \text{ bahan}} = \frac{19219,529}{116,73913} =$ 164,63656 cuft/jam

Direncanakan waktu operasi 6 jam dengan 2 buah tangki :

Volume bahan = 164,63656 x 6 = 987,81933 cuft

Volume bahan mengisi 80% volume tangki, sehingga volume tangki :

Volume tangki = $\frac{987,81933}{80\%}$

= 1234,7742 cuft

Vs = $(\pi/4)$ x Ds^2 x Hs

= $(\pi/4)$ x Ds^2 x 2 Ds

= $(\pi/4)$ x $1Ds^3$

= 1,57 Ds^3

Vtutup atas = 0,000076 Ds^3 **(Brownell, hal 95)**

Vtutup bawah = 0,000076 Ds^3 **(Brownell, hal 95)**

Volume tangki = Vs + Vtutup atas + Vtutup bawah

1234,7742 = 1,57 Ds^3 + 0,000076 Ds^3 + 0,000076 Ds^3

1234,7742 = 1,570152 Ds^3

Ds = 9,23 ft ≈ 10 ft = 110,74 in = 3,048 m

Hs = 18,5 ft ≈ 20 ft = 221,48 in = 6,096 m

b. Tebal Shell

1. Menentukan Tinggi liquid dalam shell :

Volume liquid = Vs + Vtutup bawah

987,81933 = $(\pi/4)$ x Ds^2 x Hs + 0,000076 Ds^3

987,81933 = 0,785 x h x 85 + 0,000076 x 785,88

h = 14,776 ft = 4,5036 m

2. Menentukan Tekanan Design :

Jika didalam bejana terdapat liquid, maka:

P design = Po - Pi + Phidrostatis

P design = 14,7 - 14,7 + Phidrostatis

P design = Phidrostatis

P design = ρ x g/gc x hliq

= 116,73913 $\frac{\text{lbm}}{\text{cuft}}$ x 1 $\frac{\text{lbf}}{\text{lbm}}$ x 14,776 ft

= 1724,8866 lbf/ft^2

= 11,978 psi

Asumsi Pdesign 10% lebih besar untuk faktor keamanan

Pdesign = 110% x 11,978

= 13,176 psi

Dipergunakan bahan konstruksi yang terbuat dari Carbon Steel dengan spesifikasi SA-283 Grade C **(Brownell, T 13-1)**

Fallowable = 12650

C = 0,125 in

Sambungan las dengan type double welded butt joint

Efisiensi lass, e = 0,8

ri = 0,5 x 110,74

= 55,369 in

Rumus tebal sehll yang digunakan adalah :

$$tmin = \frac{P \times ri}{fe - 0{,}6P} + C$$ **(Brownell & Young pers 13.1 hal 254)**

$$t = \frac{13{,}176 \times 55{,}369}{((12650 \times 0{,}8) - (0{,}6 \times 13{,}176)} + \frac{1}{8}$$

t = 0,1971 in

Diambil tebal shell : 4/16 in

3. Menentukan Tebal tutup atas, Eliptical

Tutup atas berbentuk eliptical head

Tinggi tutup (h) = $\frac{1}{4}$ x IDs **(Hesse, hal 92)**

h = 0,25 x 9,23

h = 2,3071 ft

Volume dishead = $\pi D^3/24$

= 177671,77 in^3 = 56,195 in

= 4,6829 ft

= 102,82 cuft

Bentuk : Eliptical head

Tebal standart elliptical dishead (atas) :

$$t = \frac{P \times Di}{2\,f\,e - 0{,}2P} + C$$ **(Brownell & Young pers 13.10 hal 256)**

Dimana :

P = tekanan design (psi)

Di = Diameter dalam (in)

e = faktor pengelasan, e = 0,8

t = tebal dinding minimal (in)

$$t = \frac{13{,}176 \times 110{,}74}{(2 \times 12650 \times 0{,}8) - (0{,}2 \times 13{,}176)} + \frac{1}{8}$$

t = 0,1971003 in

Diambil tebal head : 4/16 in

Asumsi : Tebal tutup atas = tutup bawah = 4/16 in

c. Sistem Pengaduk

Jumlah baffle = 4 buah

Jumlah impeller (pengaduk) antara 4-16, tetapi umumnya 6 atau 8 (Mc.Cabbe 5ed pg.243)

Dipilih pengaduk type flate blade turbine dengan jumlah blade 6

1. Penentuan Diameter Pengaduk

Tinggi bahan total Htotal = 14,776 ft = 177,31 in

Diameter dalam tangki Dt = 9,23 ft = 110,74 in

Ukuran pengaduk diambil dari Mc. Cabe ed 5th, hal 243

$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{E}{Dt} = \frac{1}{3}$

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

$\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$

Keterangan :

Da = Diameter impeller (pengaduk)
Dt = Diameter tangki
L = Panjang blade
W = Lebar blade
E = Jarak Impeller (pengaduk) dari dasar tangki
J = Lebar baffle

Diameter impeller (Da) = 1/3 Dt = $\frac{1}{3}$ x 9,2

= 3,0761 ft

Lebar blade (W) = 1/5 Da = $\frac{1}{5}$ x 3,0761

= 0,6152 ft

Panjang blade (L) = 1/4 Da = $\frac{1}{4}$ x 3,0761

= 0,769 ft

Jarak impeller dari dasar (E) 1/3 Dt = $\frac{1}{3}$ x 9,2

= 3,0761 ft

Lebar baffle (J) = 1/12 Dt = $\frac{1}{12}$ x 9,2

0,769 ft

2. Penentuan Jumlah Pengaduk

Tinggi bahan total Htotal = 14,776 ft

Diameter dalam tangki Dt = 9,23 ft

$$sg = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference } (H_2O)}$$

$$= \frac{116,7391332 \text{ lb/cuft}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 1,8699$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{\text{tinggi bahan}}{\text{diameter tangki}} \times sg$$

$$= \frac{14,7756}{9,2} \times 1,8699$$

$$= 2,993977 \approx 3$$

Jadi jumlah impeler sebanyak 3 buah

3. Penentuan Power Motor

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg referenc = 1

Dari Kern fig. 14 pg.823 didapat reference = 0,00085 lb/ft.s

$$\mu \text{ bahan} = \frac{sg \text{ bahan} \times \mu \text{ reference}}{sg \text{ reference}}$$

$$= \frac{1,8699 \times 0,00085}{1}$$

$$= 0,0016 \text{ lb/ft.s}$$

ρ campuran = 116,73913 lb/cuft

Dari Joshi hal 415 didapat, kecepatan putaran pengadukan jenis turbin antara 200-250 m/min

Ditetapkan kecepatan pengaduk , (N) = 75 rpm = 1,3 rps

Putaran pengaduk, (V) = π x N x Da **(Joshi; hal 415)**

= π x 75 x (3,3 x 0,3048)

= 236,87532 m/min (memenuhi)

Bilangan Reynolds (Nre)

$$N_{Re} = \frac{\rho \times Da^2 \times N}{\mu}$$

$$= \frac{116,739 \times 10,8900 \times 1}{0,0016}$$

$$= 3.390.104,429 \text{ (aliran turbulen)}$$

Perhitungan power pengaduk yang dibutuhkan :

Diperoleh nilai N_{Re} *> 10000, sehingga Np =* K_T

K_T = Np = 6,300 **[Ludwig, vol-1 T.5-1, hal 301]**

$$P = \frac{K_3 N^3 Da^5 \rho}{g_c}$$ **(McCabe 5ed., tabel 9.2, hal.254)**

$$= \frac{6,300 \times 1^3 \times 3,300^5 \times 116,739}{32,2}$$

= 19.654,034 ft.lbf /s

= 35,7346 Hp

Power Losses pada Gland 10% hp = 0,10 x 35,735 **(Joshi : 424)**

= 3,5735 Hp

Diambil power = 0,500 hp

Power input dengan gland losses = 35,7346 + 3,5735

= 39,3081 Hp

Trans. System loss 20 % = 0,20 x 39,3081

= 7,8616 Hp

Power Total = 39,308 + 7,8616

= 47,1697 Hp

Jumlah pengaduk 3,maka = 3 x 47,1697

= 141,5090 hp

Efisiensi motor = 90%

Sehingga power motor = $\frac{141,5090}{0,900}$

= 157,23 Hp ≈ 157 Hp

d. Perhitungan Sistem Pendingin

Perhitungan Jaket (Kern pg. 719)

Sebagai media pendingin digunakan air pendingin suhu = 30 °C

Untuk menurunkan suhu tangki penyimpanan menjadi = 30 °C

Q serap = 303.951,3777 Kkal/jam

= 670.100,3258 lb/jam

Suhu Bahan Masuk	=	110	°C =	230	°F
Suhu Bahan Keluar	=	30	°C =	86	°F
Air Pendingin Masuk	=	30	°C =	86	°F
Air Pendingin Keluar	=	45	°C =	113	°F
ΔT1	=	117	°F		

ΔT2 = 0 °F
ΔT LMTD = #NUM! °F

Keb. Air pendingin = 20290,615 kg/jam
= 44733,298 lb/jam
ρ Air pendingin = 62,43 lb/cuft = 1000 kg/m³
Rate Volumetrik = Keb. Air pendingin / ρ Air pendingin
= 44733,298 / 62,43
= 716,53528 cuft/jam
= 11,942255 cuft/s

Koefisien perpindahan panas bagian luar jaket :

$$hi = 0{,}36\,(k/Di)\left[\frac{L^2 N.\rho}{\mu}\right]^{2/3}\left[\frac{C\mu}{k}\right]^{1/3}\left[\frac{\mu}{\mu w}\right]^{0{,}14}$$

(Kern pg. 718 eq. 20-1)

Keterangan :

L = Da (diameter impeler) = 3,0761 ft
N = Putaran pengaduk = 75 rpm = 4500 rph
ρ = berat jenis air = 62,43 lb/cuft
Pada suhu tangki penampung = 30°C maka,
μ = 0,85 cp = 2,057 lb/ft jam
k = 0,37 Btu/jam ft² (°F/ft)
c = 1 Btu/lb °F

$$Re\,p = \frac{[L^2 N.\rho]}{\mu}^{2/3}$$

$$= \frac{(\ 3{,}0761^{\,2} \times 4500 \times 62{,}43\ )^{2/3}}{2{,}057}$$

= 9328,953861

$$\left[\frac{C\mu}{k}\right]^{1/3} = \frac{(\ 1{,}000 \times 2{,}0570\ )^{1/3}}{0{,}3700}$$

= 3,4372

$$\frac{[\mu]}{\mu w}^{0,14} = \frac{[\ 2,0570\ ]^{0.14}}{1}$$

$$= 1$$

$$hi = 0,36 \times \frac{0,37}{9,23} \times 9328,9539 \times 3,4372 \times 1$$

$$= 512,01292 \text{ Btu/jam ft °F}$$

Untuk air pendingin yang berada dalam jaket mengacu pada diameter dalam bejana :

hio = 100 Btu/jam ft °F

Menghitung Uc

$$Uc = \frac{hi \times hio}{hi + hio}$$

$$= 83,660476 \text{ Btu/jam ft °F}$$

Rd = 0,001 (Kern T. 12 pg. 845)

$$hd = \frac{1}{Rd} = 1000$$

$$Ud = \frac{Uc \times hd}{Uc + hd}$$

$$= 77,202$$

$$A = \pi \times Di \times Hpengaduk \times \pi/4xDi^2$$

$$= 3,14 \times 9,23 \times 3,0761 \times 66,851$$

$$= 5958,7214 \text{ ft}^2$$

Menentukan Tinggi Jaket

Tinggi jaket = Tinggi Shell + Tinggi Tutup Bawah

h = 18,5 + 2,3071

h = 20,8 ft

Asumsi :

Tebal air pendingin (s) = 2 in

Tebal jaket (tj) = 3/16 in

Effisiensi sambungan las (e) = 0,8

Faktor korosi (c) = 1/8

Ddipergunakan bahan konstruksi yang terbuat dari carbon steel dengan spesifikasi, SA-283 Grade C

f allowed = 12650

$$Do\ (shell) = Di + 2ts$$

$$= 110,74 + 2 \times \frac{3}{16}$$

$$= 111,11 \text{ in}$$

$$Di\ (jaket) = Dos + 2s$$

$$= 111,11 + 2 \times 2$$

= 115,11 in

Do (jaket) = Di j + 2tj

= 115,11 + 2 x 3/16

= 115,49 in

P desain jaket = Po - Pi + Ph

= 14,7 - 14,7 + ρ x g/gc x hliq

= 62,43 lbm/cuft x 1 lbf/lbm x 14,776 ft

= 922,44 lbf/ft² = 6,4058 psi

f. Penentuan Tebal Jaket

Tebal jaket berdasarkan ASME Code untuk cylindrical tank :

$$t = \frac{P \times Dij}{2fe - P} + C$$

Dimana :

Pd = Tekanan desain (psi)

Dij = Diameter dalam jaket (in)

E = faktor pengelasan = 0,8

t = Tebal dinding minimal (in)

$$0{,}1875 = \frac{6{,}4058 \times 115{,}11}{(f \; 1{,}6) - (6{,}4058)} + \frac{1}{8}$$

$$0{,}0625 = \frac{737{,}3989}{1{,}6\,f - 6{,}4058}$$

$$0{,}0625 \times (1{,}6\,f - 6{,}4058) = 737{,}3989$$

$$0{,}1\,f - 0{,}4003639 = 737{,}3989$$

$$0{,}1\,f = 737{,}7993$$

$$f = 7377{,}993$$

fallowed > fdesain

12650 > 7377,993

dipilih tebal jaket = 3/16 in

Spesifikasi Tangki Penampung Dari Reaktor 2:

Dimensi Tangki Penampung

Tinggi bejana = 18,5 ft

Diameter dalam bejana = 9,23 ft

Tebal bejana = 4/16 in

Dimensi Tutup:

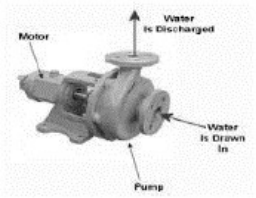
Tebal tutup atas	=	4/16 in
Tebal tutup bawah	=	4/16 in
Tinggi tutup atas	=	2,3071 ft
Tinggi tutup bawah	=	2,3071 ft

Pengaduk

Jenis pengaduk	=	Tipe flat blade turbin dengan jumlah blade 6 buah
Jumlah impeller	=	3 buah
Diameter imperller	=	3,0761 ft
Lebar blade	=	0,6152 ft
Panjang blade	=	0,769 ft
Jarak impeller dari dasar	=	3,0761 ft
Lebar baffle	=	0,769 ft
Type poros	=	Commercial hot rolled steel
Putaran	=	75 rpm
Power motor	=	157,23 hp
Tebal jaket	=	3/16 in
Tinggi Jaket	=	20,8 ft
Jumlah tangki	=	2 buah

15. Pompa 3

Fungsi : Mmemindahkan larutan produk (Al2(SO4)3) dari reaktor 1 ke reaktor 2
Type : Ccentrifugal Pump



Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	4157,473365	0,5228094	2,71
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	0,0183442	3,99
$Fe_2(SO_4)_3$	422,8297346	0,0531716	3,097
Fe_2O_3	214,4424103	0,0269665	5,12
SiO_2	354,0685884	0,0445247	2,65
TiO_2	35,40685884	0,0044525	3,84
H_2O	2622,081392	0,3297312	1
Total	7952,178608	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0{,}5228}{2{,}71} + \frac{0{,}0183}{3{,}99} + \frac{0{,}0532}{3{,}097} + \frac{0{,}027}{5{,}12} + \frac{0{,}0445}{2{,}65} + \frac{0{,}0045}{3{,}84} + \frac{0{,}3297}{1}}$$

$$= 1{,}7616668 \text{ gr/ml}$$

$$= 109{,}98086 \text{ lb/cuft}$$

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ campuran bahan}}{\rho \text{ reference}}$$

$$= \frac{109{,}98086}{62{,}43}$$

$$= 1{,}7617$$

μ berdasarkan sg bahan :

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg reference = 1

Dari Kern fig. 14 pg. 823 didapat μ reference = 0,00085 lb/ft.s

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu \text{ reference}$$

$= \frac{1,7617 \times 0,00085}{1}$

$= 0,0014974$ lb/ft s

Bahan Masuk : 7952,1786 kg/jam = 17531,612 lb/jam

Rate Volumetrik $= \frac{\text{rate massa}}{\text{densitas}}$

$= \frac{17531,612}{109,98086}$

$= 159,40602$ cuft/jam

$= 2,6567671$ cuft/min

$= 0,0442795$ cuft/s $= 0,0012398$ m^3/detik

$= 19,875274$ gpm

Perhitungan diameter pipa

Asumsi aliran turbulen **Peters, 4ed, pers. 15 hal 496**

Di optimum untuk turbulen, NRe > 2100 digunakan persamaan (15) Peters:

Di optimum $= 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13}$

Dengan: q_f = fluid flow rate ; cuft/dt

$= 0,0442795$ cuft/s

ρ = fluid density ; lb/cuft

$= 109,98086$

Maka Di pipa optimum = 1,767 in [Peters, 4ed, pers 15 hal 496]

Dipilih pipa 3 in sch 40 [Mc Cabe 5ed, appendix 5]

OD = 3,5 in

ID = 3,068 in = 0,2557 ft = 0,0779 m

A = 0,0513 ft^2

Cek :

Kecepatan linier (v) $= \frac{qf}{A}$

$= \frac{0,0443}{0,0513}$

$= 0,8631$ ft/s

$Nre = \frac{D\ v\ \rho}{\mu} = \frac{0,2557 \times 0,8631 \times 109,98086}{0,001497417}$

$= 16208,148 > 2100$ (asumsi benar)

Menentukan jumlah energi yang hilang

1. Karena pipa lurus

Ditetapkan : panjang pipa lurus = 20 ft

Dari Geankoplis 5ed fig. 2.10-3 hal 88, didapat data :

Dipilih bahan pipa Galvanized Iron = 0,00015 m

maka harga e/D = 0,002

f = 0,009

2. Karena Friksi (Geankoplis T. 2.10-1 hal 93)

	Taksiran panhan pipa lurus					=	20 ft
-	4 elbow 90°	=	4 x	35 x	0,256	=	35,84 ft
-	1 gate valve	=	1 x	9 x	0,256	=	2,304 ft
Panjang total pipa; Le						=	58,144 ft

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

1 Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$f_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0,009 \times 0,863^2 \times 58,1440}{32,2 \times 0,2560}$$

$$= 0,0946 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena konstraksi dari tangki ke pipa

A1 = luas penampang tangki = 27,643 ft²

A2 = luas penampang pipa = 0,0513 ft²

Dimana A tangki > A pipa , maka

K = 0,5

α = 1 (Aliran turbulen) **(Peters&Timmerhaus, Tabel 1 hal.484)**

$$f_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{0,5 \times 0,863^2}{2 \times 1 \times 32,2}$$

$$= 0,0058 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3 Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$f_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad ; (A_1 < A_2, \text{ maka } V_1 \text{ dianggap} = 0)$$

$$= \frac{0,863^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,2}$$

$$= 0,0116 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4 Friksi karena elbow 90°

$f_4 = kf \times \frac{v^2}{\quad}$ ***(Geankoplis 3 ed , pers. 2.10-17 hal 94)***

f_4 = $\frac{v^2}{2}$ Kf = 0,75

= $0,75 \times \frac{0,863^2}{2}$ ***(Geankoplis 3 ed , Tabel 2.10-1 hal 93)***

= 0,2794 $ft.lb_f / lb_m$

5 Friksi karena gate valve

f_5 = kf x $\frac{v^2}{2}$

= $0,17 \times \frac{0,863^2}{2}$

= 0,0633 $ft.lb_f / lb_m$

$\Sigma f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5$

= 0,4547 $ft.lb_f / lb_m$

1 atm = 14,7 psi x 144 in^2/ft^2 = 2116,8 lbf/ft^2

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 9,1572 ft

ρ bahan = 109,9809 lb/cuft

P hidrostatis = ρ x g x H

= 109,9809 lb/cuft x 9,1572 ft

= 1007,118 lb/ft^2

P_2 = 1 atm = 2116,8 lbf/ft^2

ΔP = P2- P_1

= 2116,8 - 1007,1 lb/ft^2

= 1109,7 lb_f/ft^2

$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1109,7 \ lb_f/ft^2}{109,9809 \ lb/cuft}$

= 10,09 ft. lbf/lbm

Z2 = 9,1572 ft

Z1 = 0 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

g kecepatan gravitasi = 32,2 ft/dt²

gc konstanta gravitasi = 32,2 ft/dt² x 1 lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{0{,}863^2 - 0^2}{2 \times 1 \times 32{,}2}$$

$$= 0{,}0116 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times g/gc$$

$$= (9{,}1572 - 0{,}0000) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lb_m/dt^2.lb_f}$$

$$= 9{,}1572 \frac{ft \,.\, lb_f}{lb_m}$$

Perhitungan daya pompa

Persamaan Bernoully :

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} + \Sigma f = - Wf$$

$$10{,}09 + 9{,}1572 + 0{,}0116 + 0{,}4547 = - Wf$$

$$- Wf = 19{,}7132 \frac{ft.\,lbf}{lbm}$$

$$hp = \frac{- Wf \times \text{flowrate (cuft/s)} \times \rho}{550}$$

$$= \frac{19{,}7132 \times 0{,}0442795 \times 109{,}98086}{550}$$

$$= 0{,}1745476 \text{ hp}$$

Kapasitas = 2,6567671 cuft/menit x 7,481 = 19,875 gpm

Viskositas (μ) = 1,67358347 cp = 0,94988 cs

Effisiensi pompa = 0,45 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-37pg. 520)**

$$Bhp = \frac{hp}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0{,}1745476}{0{,}45} = 0{,}3879 \text{ hp}$$

Effisiensi motor = 0,8 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-38pg. 521)**

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}} = \frac{0{,}3878836}{0{,}8} = 0{,}4849 \text{ hp}$$

Spesifikasi Pompa 3 :

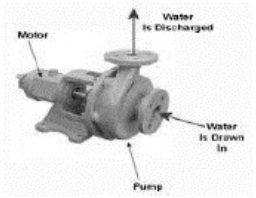
Fungsi	=	Memindahkan larutan produk ($Al_2(SO_4)_3$) dari reakor 1 ke reaktor 2
Jenis	=	Ccentrifugal Pump
Kapasitas	=	7952,1786 kg/jam
Effisiensi Motor	=	0,8
Power	=	0,4849 hp

Jumlah = 1 pompa
Bahan konstruksi = Galvanized Iron

16. POMPA 4

Fungsi : Memindahkan larutan produk $Al_2(SO_4)_3$ dari reakor 2 ke Tangki Penampungan produk $Al_2(SO_4)_3$

Type : Centrifugal Pump



Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	4157,473365	0,4768947	2,71
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	0,0167331	3,99
Fe_2O_3	214,4424103	0,0245982	5,12
SiO_2	354,0685884	0,0406144	2,65
TiO_2	35,40685884	0,0040614	3,84
H_2O	2622,081392	0,3007732	1
FeS	186,0450832	0,0213408	4,84
$BaSO_4$	738,8949611	0,084757	4,499
S	33,82637876	0,0038801	2,046
C	229,6871522	0,0263469	3,51
Total	8717,802449	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}}\ 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0{,}4769}{2{,}71} + \frac{0{,}0167}{3{,}99} + \frac{0{,}0246}{5{,}12} + \frac{0{,}0406}{2{,}65} + \frac{0{,}0041}{3{,}84} + \frac{0{,}3008}{1} + \frac{0{,}0213}{4{,}84} + \frac{0{,}0848}{4{,}499} + \frac{0{,}0039}{2{,}046} + \frac{0{,}0263}{3{,}51}}$$

$$= 1{,}8699204 \text{ gr/ml}$$

$$= 116{,}73913 \text{ lb/cuft}$$

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ campuran bahan}}{\rho \text{ reference}} = \frac{116{,}73913}{62{,}43} = 1{,}8699$$

μ berdasarkan sg bahan :

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg reference = 1

Dari Kern fig. 14 pg. 823 didapat μ reference = 0,00085 lb/ft.s

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu \text{ reference} = \frac{1{,}8699}{1} \times 0{,}00085$$

$$= 0{,}0015894 \text{ lb/ft s}$$

Bahan Masuk : 8717,8024 kg/jam = 19219,529 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{rate massa}}{\text{densitas}} = \frac{19219{,}529}{116{,}73913}$$

$$= 164{,}63656 \text{ cuft/jam}$$

$$= 2{,}7439426 \text{ cuft/min}$$

$$= 0{,}0457324 \text{ cuft/s} = 0{,}0012805 \text{ m}^3\text{/detik}$$

$$= 20{,}527435 \text{ gpm}$$

Perhitungan diameter pipa

Asumsi aliran turbulen **Peters, 4ed, pers. 15 hal 496**

Di optimum untuk turbulen, NRe > 2100 digunakan persamaan (15) Peters:

Di optimum = 3,9 x $q_f^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$

Dengan: q_f = fluid flow rate ; cuft/dt
= 0,0457324 cuft/s
ρ = fluid density ; lb/cuft
= 116,73913

Maka Di pipa optimum = 1,8068 in [Peters, 4ed, pers 15 hal 496]

Dipilih pipa 3 in sch 40 [Mc Cabe 5ed, appendix 5]

OD = 3,5 in
ID = 3,068 in = 0,2557 ft = 0,0779 m
A = 0,0513 ft^2

Cek :

Kecepatan linier (v) = $\frac{qf}{A}$

= $\frac{0,0457}{0,0513}$

= 0,8915 ft/s

Nre = $\frac{D\ v\ \rho}{\mu}$ = $\frac{0,2557 \times 0,8915 \times 116,73913}{0,001589432}$

= 16739,98 > 2100
(asumsi benar)

Menentukan jumlah energi yang hilang

1. Karena pipa lurus

Ditetapkan : panjang pipa lurus = 20 ft

Dari Geankoplis 5ed fig. 2.10-3 hal 88, didapat data :

Dipilih bahan pipa Galvanized Iron = 0,00015 m

maka harga e/D = 0,002

f = 0,009

2. Karena Friksi (Geankoplis T. 2.10-1 hal 93)

Taksiran panhan pipa lurus = 20 ft

- 4 elbow 90° = 4 x 35 x 0,256 = 35,84 ft
- 1 gate valve = 1 x 9 x 0,256 = 2,304 ft

Panjang total pipa; Le = 58,144 ft

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$f_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

2 x 0,009 x 0,891 ^{2} x 58,1440

$32,2 \quad x \quad 0,2560$

$= \quad 0,1009 \quad ft.lb_f / lb_m$

2. Friksi karena konstraksi dari tangki ke pipa

A1 = luas penampang tangki = 29,562 ft²

A2 = luas penampang pipa = 0,0513 ft²

Dimana A tangki > A pipa , maka

K = 0,5

α = 1 (Aliran turbulen) **(Peters&Timmerhaus, Tabel 1 hal.484)**

$$f_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{0,5 \times 0,891^2}{2 \times 1 \times 32,2}$$

$= 0,0062 \quad ft.lb_f / lb_m$

3 Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$f_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad ; (A_1 < A_2, \text{ maka } V_1 \text{ dianggap} = 0)$$

$$= \frac{0,891^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,2}$$

$= 0,0123 \quad ft.lb_f / lb_m$

4 Friksi karena elbow 90°

$$f_4 = kf \times \frac{v^2}{2}$$ ***(Geankoplis 3 ed , pers. 2.10-17 hal 94)***

Kf = 0,75 ***(Geankoplis 3 ed , Tabel 2.10-1 hal 93)***

$$= 0,75 \times \frac{0,891^2}{2}$$

$= 0,2980 \quad ft.lb_f / lb_m$

5 Friksi karena gate valve

$$f_5 = kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 0,17 \times \frac{0,891^2}{2}$$

$= 0,0676 \quad ft.lb_f / lb_m$

$\Sigma f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5$

$= 0{,}4850 \quad ft.lb_f / lb_m$

1 atm = 14,7 psi x 144 in^2/ft^2 = 2116,8 lbf/ft^2

P_1 = P hidrostatis + 1 atm

Tinggi bahan, H = 9,4698 ft

ρ bahan = 116,7391 lb/cuft

P hidrostatis = ρ x g x H + 1 atm

= 116,7391 lb/cuft x 9,4698 ft + 14,7 x 144

= 3222,293 lb/ft^2

P_2 = 1 atm = 2116,8 lbf/ft^2

$\Delta P = P2 - P_1$

= 2116,8 - 3222,3 lb/ft^2

= 1105,5 lb_f/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1105{,}5 \quad lb_f/ft^2}{116{,}7391 \quad lb/cuft}$$

= 9,4698 ft. lbf/lbm

Z2 = 9,4698 ft

Z1 = 0 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

g kecepatan gravitasi = 32,2 ft/dt^2

gc konstanta gravitasi = 32,2 ft/dt^2 x 1 lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{0{,}891^2 - 0^2}{2 \times 1 \times 32{,}2}$$

$= 0{,}0123 \quad ft.lb_f / lb_m$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times g/gc$$

$$= (\ 9{,}4698 - 0{,}0000\ ) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lb_m/dt^2.lb_f}$$

$$= 18{,}4565 \frac{ft \cdot lb_f}{lb_m}$$

Perhitungan daya pompa

Persamaan Bernoully :

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} + \Sigma f = - Wf$$

9,4698 + 18,4565 + 0,0123 + 0,4850 = - Wf

- Wf = 28,4236 ft. lbf / lbm

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate (cuft/s)} \times \rho}{550}$$

$$= \frac{28,4236 \times 0,0457324 \times 116,73913}{550}$$

= 0,2759029 hp

Kapasitas = 2,7439426 cuft/menit x 7,481 = 20,527 gpm

Viskositas (μ) = 0,001589432 lb/ ft. s

Effisiensi pompa = 0,45 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-37pg. 520)**

$$Bhp = \frac{hp}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0,2759029}{0,45} = 0,6131 \text{ hp}$$

Effisiensi motor = 0,8 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-38pg. 521)**

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}} = \frac{0,6131175}{0,8} = 0,7664 \text{ hp}$$

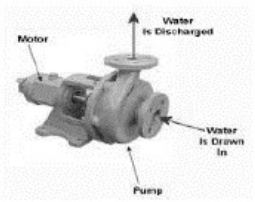
Spesifikasi Pompa 4 :

Fungsi	=	Memindahkan larutan produk $Al_2(SO_4)_3$ dari reakor 2 ke Tangki Penampungan produk $Al_2(SO_4)_3$
Jenis	=	Ccentrifugal Pump
Kapasitas	=	8717,8024 kg/jam
Effisiensi Motor	=	0,8
Power	=	0,7664 hp
Jumlah	=	1 pompa
Bahan konstruksi	=	Galvanized Iron

17. POMPA 5

Fungsi : Memindahkan larutan produk $Al_2(SO_4)_3$ dari Tangki Penampungan produk $Al_2(SO_4)_3$ ke Thickener 1

Type : Centrifugal Pump



Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)

(Perry 7ed. T.2-1)

$Al_2(SO_4)_3$	4157,473365	0,4768947	2,71
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	0,0167331	3,99
Fe_2O_3	214,4424103	0,0245982	5,12
SiO_2	354,0685884	0,0406144	2,65
TiO_2	35,40685884	0,0040614	3,84
H_2O	2622,081392	0,3007732	1
FeS	186,0450832	0,0213408	4,84
$BaSO_4$	738,8949611	0,084757	4,499
S	33,82637876	0,0038801	2,046
C	229,6871522	0,0263469	3,51
Total	8717,802449	1	

Perhitungan

ρ campuran = $\dfrac{1}{\Sigma \dfrac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}}$ 1 gr/ml = 62,43 lb/cuft

ρ campuran = $\dfrac{1}{\dfrac{0,4769}{2,71} + \dfrac{0,0167}{3,99} + \dfrac{0,0246}{5,12} + \dfrac{0,0406}{2,65} + \dfrac{0,0041}{3,84} + \dfrac{0,3008}{1} + \dfrac{0,0213}{4,84} + \dfrac{0,0848}{4,499} + \dfrac{0,0039}{2,046} + \dfrac{0,0263}{3,51}}$

= 1,8699204 gr/ml

= 116,73913 lb/cuft

sg bahan = $\dfrac{\text{ρ campuran bahan}}{\text{ρ reference}}$

= $\dfrac{116,73913}{62,43}$

= 1,8699

μ berdasarkan sg bahan :

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg reference = 1

Dari Kern fig. 14 pg. 823 didapat μ reference = 0,00085 lb/ft.s

μ bahan = $\dfrac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}}$ x μ reference

= $\dfrac{1,8699}{1}$ x 0,00085

= 0,0015894 lb/ft s

Bahan Masuk : 8717,8024 kg/jam = 19219,529 lb/jam

Rate Volumetrik = $\dfrac{\text{rate massa}}{\text{densitas}}$

$$= \frac{19219,529}{116,73913}$$

= 164,63656 cuft/jam
= 2,7439426 cuft/min
= 0,0457324 cuft/s = 0,0012805 m^3/detik
= 20,527435 gpm

Perhitungan diameter pipa

Asumsi aliran turbulen **Peters, 4ed, pers. 15 hal 496**

Di optimum untuk turbulen, NRe > 2100 digunakan persamaan (15) Peters:

Di optimum = 3,9 x $q_f^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$

Dengan: q_f = fluid flow rate ; cuft/dt
= 0,0457324 cuft/s
ρ = fluid density ; lb/cuft
= 116,73913

Maka Di pipa optimum = 1,8068 in [Peters, 4ed, pers 15 hal 496]

Dipilih pipa 3 in sch 40 [Mc Cabe 5ed, appendix 5]

OD = 3,5 in
ID = 3,068 in = 0,2557 ft = 0,0779 m
A = 0,0513 ft^2

Cek :

Kecepatan linier (v) = $\frac{qf}{A}$

$$= \frac{0,0457}{0,0513}$$

= 0,8915 ft/s

$$Nre = \frac{D\ v\ \rho}{\mu} = \frac{0,2557 \times 0,8915 \times 116,73913}{0,001589432}$$

= 16739,98 > 2100
(asumsi benar)

Menentukan jumlah energi yang hilang

1. Karena pipa lurus

Ditetapkan : panjang pipa lurus = 20 ft

Dari Geankoplis 5ed fig. 2.10-3 hal 88, didapat data :

Dipilih bahan pipa Galvanized Iron = 0,00015 m

maka harga e/D = 0,002
f = 0,009

2. Karena Friksi (Geankoplis T. 2.10-1 hal 93)

Taksiran panhan pipa lurus = 20 ft

- 4 elbow 90° = 4 x 35 x 0,256 = 35,84 ft
- 1 gate valve = 1 x 9 x 0,256 = 2,304 ft

Panjang total pipa; Le = 58,144 ft

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$f_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0,009 \times 0,891^2 \times 58,1440}{32,2 \times 0,2560}$$

$$= 0,1009 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena konstraksi dari tangki ke pipa

A1 = luas penampang tangki = 66,851 ft²
A2 = luas penampang pipa = 0,0513 ft²
Dimana A tangki > A pipa , maka
K = 0,5
α = 1 (Aliran turbulen) **(Peters&Timmerhaus, Tabel 1 hal.484)**

$$f_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{0,5 \times 0,891^2}{2 \times 1 \times 32,2}$$

$$= 0,0062 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3 Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$f_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad ; (A_1 < A_2, \text{ maka } V_1 \text{ dianggap} = 0)$$

$$= \frac{0,891^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,2}$$

$$= 0,0123 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4 Friksi karena elbow 90°

$$f_4 = kf \times \frac{v^2}{2}$$ ***(Geankoplis 3 ed , pers. 2.10-17 hal 94)***

Kf = 0,75 ***(Geankoplis 3 ed , Tabel 2.10-1 hal 93)***

$$= 0,75 \times \frac{0,891^2}{2}$$

= 0,2980 $ft.lb_f / lb_m$

5 Friksi karena gate valve

$$f_5 = kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 0,17 \times \frac{0,891^2}{2}$$

$$= 0,0676 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$\Sigma f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5$$

$$= 0,4850 \quad ft.lb_f / lb_m$$

1 atm = 14,7 psi x 144 in^2/ft^2 = 2116,8 lbf/ft^2

P_1 = P hidrostatis + 1 atm

Tinggi bahan, H = 14,7756 ft

ρ bahan = ρ reference lb/cuft

P hidrostatis = ρ x g x H + 1 atm

= 116,7391 lb/cuft x 14,7756 ft + 14,7 x 144

= 3841,687 lb/ft^2

P_2 = 1 atm = 2116,8 lbf/ft^2

$\Delta P = P2 - P_1$

= 2116,8 - 3841,7 lb/ft^2

= 1724,9 lb_f/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1724,9 \ lb_f/ft^2}{116,7391 \ lb/cuft}$$

= 14,776 ft. lbf/lbm

Z2 = 14,7756 ft

Z1 = 0 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

g kecepatan gravitasi = 32,2 ft/dt^2

gc konstanta gravitasi = 32,2 ft/dt^2 x 1 lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{0,891^2 - 0^2}{2 \times 1 \times 32,2}$$

$$= 0,0123 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times g/gc$$

$$= (\quad 11{,}3568 \quad - \quad 0{,}0000 \quad) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lb_m/dt^2.lb_f}$$

$$= 11{,}3568 \frac{ft \,.\, lb_f}{lb_m}$$

Perhitungan daya pompa

Persamaan Bernoully :

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} + \Sigma f = - Wf$$

$$14{,}776 + 11{,}3568 + 0{,}0123 + 0{,}4850 = - Wf$$

$$- Wf = 26{,}6296 \frac{ft.\,lbf}{lbm}$$

$$hp = \frac{- Wf \times \text{flowrate (cuft/s)} \times \rho}{550}$$

$$= \frac{26{,}6296 \times 0{,}0457324 \times 116{,}73913}{550}$$

$$= 0{,}2584895 \text{ hp}$$

Kapasitas = 2,7439426 cuft/menit x 7,481 = 20,527 gpm

Viskositas (μ) = 0,001589432 lb/ ft. s

Effisiensi pompa = 0,45 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-37pg. 520)**

$$Bhp = \frac{hp}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0{,}2584895}{0{,}45} = 0{,}5744 \text{ hp}$$

Effisiensi motor = 0,8 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-38pg. 521)**

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}} = \frac{0{,}574421}{0{,}8} = 0{,}718 \text{ hp}$$

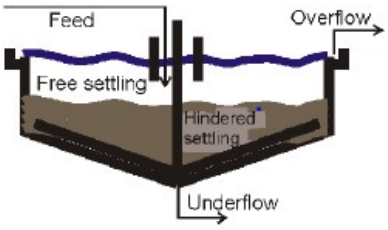
Spesifikasi Pompa 5 :

Fungsi	=	Memindahkan larutan produk $Al_2(SO_4)_3$ dari Tangki Penampungan produk $Al_2(SO_4)_3$ ke Thickener 1
Jenis	=	Ccentrifugal Pump
Kapasitas	=	8717,8024 kg/jam
Effisiensi Motor	=	0,8
Power	=	0,718 hp
Jumlah	=	1 pompa
Bahan konstruksi	=	Galvanized Iron

18. Thickener 1

Fungsi = Untuk mengendapkan impuritis yang masih terikut produk

Type = Silinder dengan tutup bawah berbentuk conical dengan posisi vertikal



Kondisi Operasi :

T = Suhu bahan 30°C

P = 1 atm

Waktu tinggal = 3 jam (Asumsi)

Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	4157,473365	0,4768947	2,71
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	0,0167331	3,99
Fe_2O_3	214,4424103	0,0245982	5,12
SiO_2	354,0685884	0,0406144	2,65
TiO_2	35,40685884	0,0040614	3,84
H_2O	2622,081392	0,3007732	1
FeS	186,0450832	0,0213408	4,84
$BaSO_4$	738,8949611	0,084757	4,499
S	33,82637876	0,0038801	2,046
C	229,6871522	0,0263469	3,51
Total	8717,802449	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0{,}4769}{2{,}71} + \frac{0{,}0167}{3{,}99} + \frac{0{,}0246}{5{,}12} + \frac{0{,}0406}{2{,}65} + \frac{0{,}0041}{3{,}84} + \frac{0{,}3008}{1} + \frac{0{,}0213}{4{,}84} + \frac{0{,}0848}{4{,}499} + \frac{0{,}0039}{2{,}046} + \frac{0{,}0263}{3{,}51}}$$

= 1,8699204 gr/ml

= 116,73913 lb/cuft

Rate Bahan = 17435,605 kg/jam = 38439,058 lb/jam

Rate Volumetrik Bahan masuk = $\frac{\text{Rate Bahan}}{\rho \text{ campuran}}$ = 329,27311 cuft/jam = 9,3239762 m³/jam

Bahan Overflow

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	3949,599697	0,6132369	2,71
H_2O	2490,977323	0,3867631	1
Total	6440,577019	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

$$\rho \text{ campuran (Overflow)} = \frac{1}{\frac{0,6132}{2,71} + \frac{0,3868}{1}}$$

$$= 1,631189 \text{ gr/ml}$$

$$= 101,83513 \text{ lb/cuft}$$

Rate Bahan (Overflow) = 12881,154 kg/jam = 28398,179 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik Overflow} = \frac{28398,179}{101,83513} = 278,86427 \text{ cuft/jam}$$

Bahan Underflow

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	207,8736683	0,0912837	2,71
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	0,0640588	3,99
Fe_2O_3	214,4424103	0,0941683	5,12
FeS	186,0450832	0,0816981	4,84
SiO_2	354,0685884	0,1554824	2,65
TiO_2	35,40685884	0,0155482	3,84
$BaSO_4$	738,8949611	0,3244716	4,499
S	33,82637876	0,0148542	2,046
C	229,6871522	0,1008627	3,51
H_2O	131,1040696	0,0575718	1
Total	2277,225429	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

$$\rho \text{ campuran (Overflow)} = \frac{1}{\frac{0,0913}{2,71} + \frac{0,0641}{3,99} + \frac{0,0942}{5,12} + \frac{0,0817}{4,84} + \frac{0,1555}{2,65} + \frac{0,0155}{3,84} + \frac{0,3245}{4,499} + \frac{0,0149}{2,046} + \frac{0,1009}{3,51} + \frac{0,0576}{1}}$$

$$= 0,1815147 \text{ gr/ml}$$

$$= 11,33196 \text{ lb/cuft}$$

Rate Bahan (Underflow) = 4554,4509 kg/jam = 10040,879 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik Underflow} = \frac{10040,879}{11,33196} = 886,06731 \text{ cuft/jam}$$

Jadi, Rate Volumetrik Bahan = Rate Volumetrik Overflow = 278,86427 cuft/jam
= 7,8965568 m³/jam

Perencanaan Dimensi Thickener :

Asumsi : Waktu tinggal 3 Jam

Volume bahan = 278,86427 cuft/jam x 3 jam = 836,59282 cuft

ρ campuran = 116,73913 lb/cuft

Dari Materi Kuliah Utilitas :

Laju alir limpahan (v) untuk partikel diskrit : 24 - 32 m³/m² hari

dipilih v = 24 m³/m² hari

Diamter pipa umpan masuk (d') = 0,5 D

Rasio Diameter dan Kedalaman Thickener = D/H = 6 - 10

dipilih D = 6H

Ratio s/s' = 3 - 4

dipilih s = 4s'

$$A = Q/v$$

$$= \frac{7,8965568\ m^3/jam}{24\ m^3/m^2\ hari} \times \frac{24\ jam}{1\ hari}$$

$$= 7,8965568\ m^2$$

$$A = (\pi/4)xd^2$$

$$7,8966 = 0,785 \times D^2$$

$$D^2 = 10,059$$

D = 3,1716 m = 10,406 ft

r = 1,5858 m = 5,2028 ft

Diameter pipa umpan masuk (d') = 0,5 D

= 1,5858 m = 5,2028 ft

Kedalaman Tangki (H) = $\frac{D}{6} = \frac{3,1716}{6} = 0,5286$ m

Asumsi = s = 2 m

s' = $\frac{s}{4} = \frac{2}{4} = 0,5$ m = 1,6404 ft

Asumsi : Tinggi cone Hc = 1/4 Hs

$Vs = \pi \times r^2 \times hs$

$Vcone = 1/3 \times \pi \times r^2 \times hc$

Volume Tangki = Vs + Vcone (tutup bawah)
Volume Bahan = $\pi \times r^2 \times hs$ + $1/3 \times \pi \times r^2 \times hc$
Volume Bahan = $\pi \times r^2 \times hs$ + $1/3 \times \pi \times r^2 \times$ 1/4 Hs
836,5928181 = 84,99783 hs + 7,0831525 hs
836,5928181 = 92,080983 hs

hs = 9,0854028 ft = 2,7692 m
hc = 2,2713507 ft = 0,6923 m

Cek Volume :

Volume Tangki = Vs + Vcone (tutup bawah)
Volume Tangki = $\pi \times r^2 \times hs$ + $1/3 \times \pi \times r^2 \times hc$
= 772,23952 + 64,353294
= 836,5928

Volume tangki < Volume Bahan agar terjadi overflow

Menentukan Ketebalan Tangki :

1. Menentukan Tekanan Design

Jika didalam bejana terdapat liquid, maka:

P design = Po - Pi + Phidrostatis
P design = 14,7 - 14,7 + Phidrostatis
P design = Phidrostatis
P design = $\rho \times g/gc \times hliq$
= 116,73913 $\frac{lbm}{cuft} \times \frac{1\ lbf}{lbm} \times$ 11,357 ft
= 1325,7776 lbf/ft²
= 9,2068 psi

Asumsi Pdesign 10% lebih besar untuk faktor keamanan

Pdesign = 110% x 9,2068
= 10,127 psi

*Menentukan tebal minimum shell :

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank :

$$tmin = \frac{P \times ri}{fe - 0{,}6P} + C$$ **(Brownell & Young pers 13.1 hal 254)**

dengan :

t min = tebal shell minimum ; in
P = tekanan tangki ;psi
ri = jari-jari tangki ;in (1/2D)
C = faktor korosi ;in (digunakan 1/8 in)
E = faktor pengelasan digunakan double welded
e = 0,8
f = stress allowable, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C, maka f = 12650 [Brownell, T. 13-1]

ri = 0,5 x 10,406 ft
= 5,2028 ft = 62,434 in

$$tmin = \frac{P \times ri}{fe - 0{,}6P} + C$$

$$= \frac{10{,}127 \times 62{,}434}{10120 - 6{,}0765} + \frac{1}{8}$$

= 0,125016 digunakan t 3/16 in

*Penentuan tebal head :
Jenis : Conical
Typle las : Single welded butt joint tanpa backing up strip dengan effisiensi 70%
Asumsi : α = 45°
Tebal tutp :

$$t = \frac{P_d x D}{2\cos\alpha(fxE - 0{,}6xP_d)} + C$$

$$th = \frac{10{,}127467 \times 124{,}87}{2\cos 45 \ (\ 12650 \times 70\% - 0{,}6 \times 10{,}127\ )} + \frac{1}{8}$$

= 0,3271063 in digunakan 3/16 in

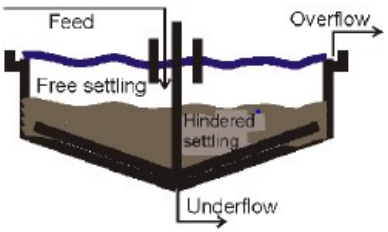
Spesifikasi Thickener 1

Fungsi = Untuk mengendapkan impuritis yang masih terikut produk
Type = Silinder dengan tutup bawah berbentuk conical dengan posisi vertikal
Kapasitas = 17435,605 kg/jam
Diameter silinder : 10,406 ft
Tinggi silinder : 5,2028 ft 1,5858
Tebal shell : 3/16 in

Tinggi conical : 2,2714 ft 0,6923
Cone angel : 45°
Tebal angle : 3/16 in
Bahan Konstruksi : Carbon Steel SA-283 grade C
Jumlah : 1 buah

19. Thickener 2

Fungsi = Untuk mencuci slurry yang keluar dari Thickener 1
Type = Silinder dengan tutup bawah berbentuk conical dengan posisi vertikal



Kondisi Operasi :
T = Suhu bahan 30°C
P = 1 atm
Waktu tinggal = 3 jam (Asumsi)

Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	207,8736683	0,0770187	2,71
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	0,0540482	3,99
Fe_2O_3	214,4424103	0,0794524	5,12
FeS	186,0450832	0,068931	4,84
SiO_2	354,0685884	0,1311849	2,65
TiO_2	35,40685884	0,0131185	3,84
$BaSO_4$	738,8949611	0,2737658	4,499
S	33,82637876	0,0125329	2,046
C	229,6871522	0,0851007	3,51
H_2O	552,8822541	0,2048468	1
Total	2699,00361	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan

ρ campuran = $\frac{1}{1}$ gr/ml = 62,43 lb/cuft

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0,077}{2,71} + \frac{0,054}{3,99} + \frac{0,0795}{5,12} + \frac{0,0689}{4,84} + \frac{0,1312}{2,65} + \frac{0,0131}{3,84} + \frac{0,2738}{4,499} + \frac{0,0125}{2,046} + \frac{0,0851}{3,51} + \frac{0,2048}{1}}$$

= 2,3769112 gr/ml

= 148,39057 lb/cuft

Rate Bahan = ######### kg/jam = 11900,609 lb/jam

Rate Volumetrik Bahan masuk = $\frac{\text{Rate Bahan}}{\rho \text{ campuran}}$ = 80,197877 cuft/jam = 2,270951 m³/jam

Bahan Overflow

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	197,4799848	0,2732462	2,71
H_2O	525,2381414	0,7267538	1
Total	722,7181263	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

$$\rho \text{ campuran (Overflow)} = \frac{1}{\frac{0,2732}{2,71} + \frac{0,7268}{1}}$$

= 1,2083385 gr/ml

= 75,436574 lb/cuft

Rate Bahan (Overflow) = 1445,4363 kg/jam = 3186,6521 lb/jam

Rate Volumetrik Overflow = $\frac{3186,6521}{75,436574}$ = 42,2428 cuft/jam

Bahan Underflow

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	10,39368341	0,0052592	2,71
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	0,0738134	3,99
Fe_2O_3	214,4424103	0,1085078	5,12
SiO_2	354,0685884	0,1791586	4,84
TiO_2	35,40685884	0,0179159	2,65

(Perry 7ed. T.2-1)

FeS	186,0450832	0,0941388	3,84
$BaSO_4$	738,8949611	0,3738807	4,499
S	33,82637876	0,0171161	2,046
C	229,6871522	0,1162216	3,51
H_2O	27,64411271	0,0139879	1
Total	1976,285487	1	

$$\rho \text{ campuran (Underflow)} = \frac{1}{\frac{0,0053}{2,71} + \frac{0,0738}{3,99} + \frac{0,1085}{5,12} + \frac{0,1792}{4,84} + \frac{0,0179}{2,65} + \frac{0,0941}{3,84} + \frac{0,3739}{4,499} + \frac{0,0171}{2,046} + \frac{0,1162}{3,51} + \frac{0,014}{1}}$$

$$= 4,0242477 \text{ gr/ml}$$

$$= 251,23378 \text{ lb/cuft}$$

Rate Bahan (Underflow) = 3952,571 kg/jam = 8713,9565 lb/jam

Rate Volumetrik Underflow = $\frac{8713,9565}{251,23378}$ = 34,684653 cuft/jam

Jadi, Rate Volumetrik Bahan = Rate Volumetrik Overflow = 42,2428 cuft/jam

= 1,1961829 m^3/jam

Perencanaan Dimensi Thickener :

Asumsi : Waktu tinggal 3 Jam

Volume bahan = 42,2428 cuft/jam x 3 jam = 126,7284 cuft

ρ campuran = 148,39057 lb/cuft

Dari Materi Kuliah Utilitas :

Laju alir limpahan (v) untuk partikel diskrit : 24 - 32 m^3/m^2 hari

dipilih v = 24 m^3/m^2 hari

Diamter pipa umpan masuk (d') = 0,5 D

Rasio Diameter dan Kedalaman Thickener = D/H = 6 - 10

dipilih D = 6H

Ratio s/s' = 3 - 4

dipilih s = 4s'

$$A = Q/v$$

$$= \frac{1,1961829 \text{ } m^3/\text{jam}}{24 \text{ } m^3/m^2 \text{ hari}} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}}$$

$$= 1,1961829 \text{ } m^2$$

$$A = (\pi/4)xd^2$$

$$1,1962 = 0,785 \times D^2$$

$D^2 = 1{,}5238$

$D = 1{,}2344$ m $= 4{,}0499$ ft

$r = 0{,}6172$ m $= 2{,}025$ ft

Diameter pipa umpan masuk (d') = 0,5 D

$= 0{,}6172$ m $= 2{,}025$ ft

Kedalaman Tangki (H) $= \frac{D}{6} = \frac{1{,}2344}{6} = 0{,}2057$ m

Asumsi = s = 2 m

s' $= \frac{s}{4} = \frac{2}{4} = 0{,}5$ m $= 1{,}6404$ ft

Asumsi : Tinggi cone Hc = 1/4 Hs

$Vs = \pi \times r^2 \times hs$

$Vcone = 1/3 \times \pi \times r^2 \times hc$

Volume Tangki = Vs + Vcone (tutup bawah)

Volume Bahan = $\pi \times r^2 \times hs + 1/3 \times \pi \times r^2 \times hc$

Volume Bahan = $\pi \times r^2 \times hs + 1/3 \times \pi \times r^2 \times$ 1/4 Hs

126,7284008 = 12,875606 hs + 1,0729671 hs

126,7284008 = 13,948573 hs

hs = 9,0854028 ft = 2,7692 m

hc = 2,2713507 ft = 0,6923 m

Cek Volume :

Volume Tangki = Vs + Vcone (tutup bawah)

Volume Tangki = $\pi \times r^2 \times hs + 1/3 \times \pi \times r^2 \times hc$

= 116,98006 + 9,7483385

= 126,7284 cuft

Volume tangki < Volume Bahan agar terjadi overflow

Menentukan Ketebalan Tangki :

1. Menentukan Tekanan Design

Jika didalam bejana terdapat liquid, maka:

P design = Po - Pi + Phidrostatis

P design = 14,7 - 14,7 + Phidrostatis

P design = Phidrostatis

P design = ρ x g/gc x hliq

= 148,39057 $\frac{lbm}{cuft}$ x 1 $\frac{lbf}{lbm}$ x 11,357 ft

= 1685,2351 lbf/ft²

= 11,703 psi

Asumsi Pdesign 10% lebih besar untuk faktor keamanan

Pdesign = 110% x 11,703

= 12,873 psi

*Menentukan tebal minimum shell :

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank :

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fe - 0{,}6P} + C$$ **(Brownell & Young pers 13.1 hal 254)**

dengan :

t min = tebal shell minimum ; in

P = tekanan tangki ;psi

ri = jari-jari tangki ;in (1/2D)

C = faktor korosi ;in (digunakan 1/8 in)

E = faktor pengelasan digunakan double welded

e = 0,8

f = stress allowable, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C, maka f = 12650 [Brownell, T. 13-1]

ri = 0,5 x 4,0499 ft

= 2,025 ft = 24,3 in

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fe - 0{,}6P} + C$$

$$= \frac{12{,}873 \times 24{,}3}{10120 - 7{,}724} + \frac{1}{8}$$

= 0,1250524 digunakan t 3/16 in

*Penentuan tebal head :

Jenis : Conical

Typle las : Single welded butt joint tanpa backing up strip dengan

effisiensi 70%

Asumsi : α = 45°

Tebal tutp :

$$t = \frac{P_d x D}{2\cos\alpha(fxE - 0{,}6xP_d)} + C$$

$$th = \frac{12{,}873324 \times 48{,}599}{2\cos 45\ (\ 12650 \times 70\% - 0{,}6 \times 12{,}873\ )} + \frac{1}{8}$$

= 0,225007 in digunakan 3/16 in

Spesifikasi Thickener 2

Fungsi = Untuk mencuci slurry yang keluar dari Thickener 1

Type = Silinder dengan tutup bawah berbentuk conical dengan posisi vertikal

Kapasitas = ######### kg/jam

Diameter silinder : 4,0499 ft

Tinggi silinder : 2,025 ft

Tebal shell : 3/16 in

Tinggi conical : 2,2714 ft

Cone angel : 45°

Tebal angle : 3/16 in

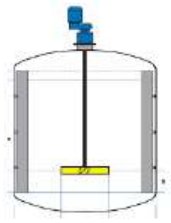
Bahan Konstruksi : Carbon Steel SA-283 grade C

Jumlah : 1 buah

20. Tangki Penampung $Al_2(SO_4)_3$ Dari Thickener

Fungsi : Untuk menampung $Al_2(SO_4)_3$ dari Thickener 1 dan Thickener 2

Type : Silinder tegak, tutup bawah dan tutup atas berbentuk elliptical dishead dilengkapi dengan pengaduk



Kondisi Operasi :

T = 30 °C

P = 1 atm

Waktu tinggal = 2 jam

Dimensi rasio, H/D : H = 2D

Perhitungan :

Komposisi Bahan :

Bahan masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	4147,079682	0,5789346	2,71
H_2O	3016,215464	0,4210654	1
Total	7163,295146	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan :

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0{,}5789}{2{,}71} + \frac{0{,}4211}{1}}$$

$$= 1{,}5755615 \text{ gr/ml}$$

$$= 98{,}362302 \text{ lb/cuft}$$

a. Perhitungan Volume Tangki

Densitas Bahan = 98,362302 lb/cuft

Rate Bahan = 14326,59 kg/jam = 31584,831 lb/jam

$$\text{Volumetrik Bahan} = \frac{\text{Rate Bahan}}{\rho \text{ campuran}} = \frac{31584{,}831}{98{,}362302}$$

$$= 321{,}10707 \text{ cuft/jam}$$

Direncanakan waktu operasi 2 jam dengan 1 buah tangki :
Volume bahan = 321,10707 x 2 = 642,21415 cuft

Volume bahan mengisi 80% volume tangki, sehingga volume tangki :

$$\text{Volume tangki} = \frac{642,21415}{80\%}$$

$$= 802,76768 \text{ cuft}$$

$$Vs = (\pi/4) \times Ds^2 \times Hs$$
$$= (\pi/4) \times Ds^2 \times 2\ Ds$$
$$= (\pi/4) \times 1Ds^3$$
$$= 1,57\ Ds^3$$

Vtutup atas = 0,000076 Ds^3 **(Brownell, hal 95)**

Vtutup bawah = 0,000076 Ds^3 **(Brownell, hal 95)**

Volume tangki = Vs + Vtutup atas + Vtutup bawah
802,76768 = 1,57 Ds^3 + 0,000076 Ds^3 + 0,000076 Ds^3
802,76768 = 1,570152 Ds^3
Ds = 7,99 ft = 95,934 in = 2,4367 m
Hs = 16,0 ft = 191,87 in = 4,8735 m

b. Tebal Shell

1. Menentukan Tinggi liquid dalam shell :

Volume liquid = Vs + Vtutup bawah
642,21415 = $(\pi/4) \times Ds^2 \times Hs$ + 0,000076 Ds^3
642,21415 = 0,785 x h x 64 + 0,000076 x 510,95
h = 12,8 ft = 3,9013 m

2. Menentukan Tekanan Design :

Jika didalam bejana terdapat liquid, maka:

P design = Po - Pi + Phidrostatis
P design = 14,7 - 14,7 + Phidrostatis
P design = Phidrostatis
P design = $\rho \times g/gc \times hliq$

$$= 98,362302 \frac{lbm}{cuft} \times 1 \frac{lbf}{lbm} \times 12,8 \text{ ft}$$
$$= 1259,0059 \text{ lbf/ft}^2$$
$$= 8,7431 \text{ psi}$$

Asumsi Pdesign 10% lebih besar untuk faktor keamanan
Pdesign = 110% x 8,7431
= 9,6174 psi

Dipergunakan bahan konstruksi yang terbuat dari Carbon Steel dengan spesifikasi SA-283 Grade C **(Brownell, T 13-1)**

Fallowable = 12650

C = 0,125 in

Sambungan las dengan type double welded butt joint

Efisiensi lass, e = 0,8

ri = 0,5 x 95,934

= 47,967 in

Rumus tebal sehll yang digunakan adalah :

$$tmin = \frac{P \times ri}{fe - 0{,}6P} + C$$ **(Brownell & Young pers 13.1 hal 254)**

$$t = \frac{9{,}6174 \times 47{,}967}{((12650 \times 0{,}8) - (0{,}6 \times 9{,}6174)} + \frac{1}{8}$$

t = 0,1706 in

Diambil tebal shell : 3/16 in

3. Menentukan Tebal tutup atas, Eliptical

Tutup atas berbentuk eliptical head

Tinggi tutup (h) = $\frac{1}{4}$ x IDs **(Hesse, hal 92)**

h = 0,25 x 7,99

h = 1,9986 ft

Volume dishead = $\pi D^3/24$

= 115515,29 in^3 = 48,683 in

= 4,0569 ft

= 66,849 cuft

Bentuk : Eliptical head

Tebal standart elliptical dishead (atas) :

$$t = \frac{P \times Di}{2 f e - 0{,}2P} + C$$ **(Brownell & Young pers 13.10 hal 256)**

Dimana :

P = tekanan design (psi)

Di = Diameter dalam (in)

e = faktor pengelasan, e = 0,8

t = tebal dinding minimal (in)

$$t = \frac{9{,}6174 \times 95{,}934}{(2 \times 12650 \times 0{,}8) - (0{,}2 \times 9{,}6174} + \frac{1}{8}$$

t = 0,1705892 in

Diambil tebal head : 3/16 in

Asumsi : Tebal tutup atas = tutup bawah = 3/16 in

c. Sistem Pengaduk

Jumlah baffle = 4 buah

Jumlah impeller (pengaduk) antara 4-16, tetapi umumnya 6 atau 8 (Mc.Cabbe 5ed pg.243)

Dipilih pengaduk type flate blade turbine dengan jumlah blade 6

1. Penentuan Diameter Pengaduk

Tinggi bahan total Htotal = 12,8 ft = 153,6 in

Diameter dalam tangki Dt = 7,99 ft = 95,934 in

Ukuran pengaduk diambil dari Mc. Cabe ed 5th, hal 243

$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{E}{Dt} = \frac{1}{3}$

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

$\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$

Keterangan :

Da = Diameter impeller (pengaduk)
Dt = Diameter tangki
L = Panjang blade
W = Lebar blade
E = Jarak Impeller (pengaduk) dari dasar tangki
J = Lebar baffle

Diameter impeller (Da) = 1/3 Dt = $\frac{1}{3}$ x 8,0

= 2,6648 ft

Lebar blade (W) = 1/5 Da = $\frac{1}{5}$ x 2,6648

= 0,533 ft

Panjang blade (L) = 1/4 Da = $\frac{1}{}$ x 2,6648

$$= \frac{4}{} = 0{,}6662 \text{ ft}$$

Jarak impeller dari dasar (E) 1/3 Dt $= \frac{1}{3} \times 8{,}0$

$= 2{,}6648$ ft

Lebar baffle (J) = 1/12 Dt $= \frac{1}{12} \times 8{,}0$

$= 0{,}6662$ ft

2. Penentuan Jumlah Pengaduk

Tinggi bahan total Htotal = 12,8 ft

Diameter dalam tangki Dt = 7,99 ft

$$sg = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference } (H_2O)}$$

$$= \frac{98{,}36230159 \text{ lb/cuft}}{62{,}43 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 1{,}5756$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{\text{tinggi bahan}}{\text{diameter tangki}} \times sg$$

$$= \frac{12{,}7997}{8{,}0} \times 1{,}5756$$

$$= 2{,}5225627 \approx 3$$

Jadi jumlah impeler sebanyak 2 buah

3. Penentuan Power Motor

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg referenc = 1

Dari Kern fig. 14 pg.823 didapat reference = 0,00085 lb/ft.s

$$\mu \text{ bahan} = \frac{sg \text{ bahan} \times \mu \text{ reference}}{sg \text{ reference}}$$

$$= \frac{1{,}5756}{1} \times 0{,}00085$$

$= 0{,}0013$ lb/ft.s

ρ campuran = 98,362302 lb/cuft

Dari Joshi hal 415 didapat, kecepatan putaran pengadukan jenis turbin antara 200-250 m/min

Ditetapkan kecepatan pengaduk , (N) = 100 rpm = 1,7 rps

Putaran pengaduk, (V) = π x N x Da **(Joshi; hal 415)**

= π x 100 x (2,6648 x 0,3

= 251,02795 m/min (memenuhi)

Bilangan Reynolds (Nre)

$$N_{Re} = \frac{\rho \times Da^2 \times N}{\mu}$$

$$= \frac{98,362 \times 10,8900 \times 2}{0,0013}$$

= 1.333.064,118 (aliran turbulen)

Perhitungan power pengaduk yang dibutuhkan :

Diperoleh nilai N_{Re} > 10000, sehingga Np = K_T

K_T = Np = 6,300 **[Ludwig, vol-1 T.5-1, hal 301]**

$$P = \frac{K_3 N^3 Da^5 \rho}{g_c}$$ **(McCabe 5ed., tabel 9.2, hal.254)**

$$= \frac{6,300 \times 2^3 \times 2,665^5 \times 98,362}{32,2}$$

= 10.601,811 ft.lbf /s

= 19,2760 Hp

Power Losses pada Gland 10% hp = 0,10 x 19,276 **(Joshi : 424)**

= 1,9276 Hp

Diambil power = 0,500 hp

Power input dengan gland losses = 19,2760 + 1,9276

= 21,2036 Hp

Trans. System loss 20 % = 0,20 x 21,2036

= 4,2407 Hp

Power Total = 21,204 + 4,2407

= 25,4443 Hp

Jumlah pengaduk 3,maka = 2 x 25,4443

= 50,8887 hp

Efisiensi motor = 85%

Sehingga power motor = $\frac{50,8887}{0,850}$

= 59,87 Hp ≈ 60 Hp

Spesifikasi Tangki Penampung Dari Thickener :

Dimensi Shell :

Diameter shell, inside	:	7,99 ft
Tinggi shell	:	15,99 ft
Tebal Shell	:	3/16 in
Tebal tutup atas (elliptical dishead)	:	3/16 in
Tebal tutup bawah (elliptical dishead)	:	3/16 in

Sistem Pengaduk

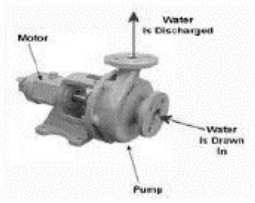
Dipakai impeler jenis turbin dengan 6 buah flat blade dengan 2 impeller

Diameter impeller	:	2,6648 ft
Panjang Blade	:	0,6662 ft
Lebar Blade	:	0,533 ft
Power Motor	:	60 hp
Bahan Konstruksi		Carbon steel SA-283 grade C (Brownell : 253)
Jumlah Tangki		1 buah

22. POMPA 6

Fungsi : Memindahkan slurry dari Thickener 1 ke Thickener 2

Type : Slurry Pump



Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	207,8736683	0,0912837	2,71
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	0,0640588	3,99
Fe_2O_3	214,4424103	0,0941683	5,12
FeS	186,0450832	0,0816981	4,84
SiO_2	354,0685884	0,1554824	2,65
TiO_2	35,40685884	0,0155482	3,84
$BaSO_4$	738,8949611	0,3244716	4,499
S	33,82637876	0,0148542	2,046

(Perry 7ed. T.2-1)

C	229,6871522	0,1008627	3,51
H_2O	131,1040696	0,0575718	1
Total	2277,225429	1	

Perhitungan :

ρ campuran = $\frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}}$ 1 gr/ml = 62,43 lb/cuft

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0,0913}{2,71} + \frac{0,0641}{3,99} + \frac{0,0942}{5,12} + \frac{0,0817}{4,84} + \frac{0,1555}{2,65} + \frac{0,0155}{3,84} + \frac{0,3245}{4,499} + \frac{0,0149}{2,046} + \frac{0,1009}{3,51} + \frac{0,0576}{1}}$$

= 3,1905952 gr/ml

= 199,18886 lb/cuft

sg bahan = $\frac{\rho \text{ campuran bahan}}{\rho \text{ reference}}$

= $\frac{199,18886}{62,43}$

= 3,1906

μ berdasarkan sg bahan :

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg reference = 1

Dari Kern fig. 14 pg. 823 didapat μ reference = 0,00085 lb/ft.s

μ bahan = $\frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}}$ x μ reference

= $\frac{3,1906}{1}$ x 0,00085

= 0,002712 lb/ft s

Bahan Masuk : 2277,2254 kg/jam = 5020,4395 lb/jam

Rate Volumetrik = $\frac{\text{rate massa}}{\text{densitas}}$

= $\frac{5020,4395}{199,18886}$

= 25,204419 cuft/jam

= 0,4200737 cuft/min

= 0,0070012 cuft/s = 0,000196 m^3/detik

= 3,142571 gpm

Perhitungan diameter pipa

Asumsi aliran turbulen **Peters, 4ed, pers. 15 hal 496**

Di optimum untuk turbulen, NRe > 2100 digunakan persamaan (15) Peters:

Di optimum = 3,9 x $q_f^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$

Dengan: q_f = fluid flow rate ; cuft/dt
= 0,0070012 cuft/s
ρ = fluid density ; lb/cuft
= 199,18886

Maka Di pipa optimum = 0,8323 in [Peters, 4ed, pers 15 hal 496]

Dipilih pipa 3 in sch 40 [Mc Cabe 5ed, appendix 5]

OD = 3,5 in
ID = 3,068 in = 0,2557 ft = 0,0779 m
A = 0,0513 ft^2

Cek :

Kecepatan linier (v) = $\frac{qf}{A}$

= $\frac{0,007}{0,0513}$

= 0,1365 ft/s

Nre = $\frac{D\ v\ \rho}{\mu}$ = $\frac{0,2557 \times 0,1365 \times 199,18886}{0,002712006}$

= 2562,7447 > 2100
(asumsi benar)

Menentukan jumlah energi yang hilang

1. Karena pipa lurus

Ditetapkan : panjang pipa lurus = 25 ft

Dari Geankoplis 5ed fig. 2.10-3 hal 88, didapat data :

Dipilih bahan pipa Galvanized Iron = 0,00015 m

maka harga e/D = 0,002

f = 0,009

2. Karena Friksi (Geankoplis T. 2.10-1 hal 93)

Taksiran panhan pipa lurus = 25 ft

- 4 elbow 90° = 4 x 35 x 0,256 = 35,84 ft
- 1 gate valve = 1 x 9 x 0,256 = 2,304 ft

Panjang total pipa; Le = 63,144 ft

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$\frac{2f \times v^2 \times Le}{}$

f_1 = $\frac{}{gc \times D}$

$$= \frac{2 \times 0{,}009 \times 0{,}136^{2} \times 63{,}1440}{32{,}2 \times 0{,}2560}$$

$$= 0{,}0026 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena konstraksi dari tangki ke pipa

A1 = luas penampang tangki = 84,998 ft²

A2 = luas penampang pipa = 0,0513 ft²

Dimana A tangki > A pipa , maka

K = 0,5

α = 1 (Aliran turbulen) **(Peters&Timmerhaus, Tabel 1 hal.484)**

$$f_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{0{,}5 \times 0{,}136^{2}}{2 \times 1 \times 32{,}2}$$

$$= 0{,}0001 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3 Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$f_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad ; (A_1 < A_2, \text{ maka } V_1 \text{ dianggap} = 0)$$

$$= \frac{0{,}136^{2} - 0}{2 \times 1 \times 32{,}2}$$

$$= 0{,}0003 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4 Friksi karena elbow 90°

$$f_4 = kf \times \frac{v^2}{2}$$ ***(Geankoplis 3 ed , pers. 2.10-17 hal 94)***

Kf = 0,75 ***(Geankoplis 3 ed , Tabel 2.10-1 hal 93)***

$$= 0{,}75 \times \frac{0{,}136^{2}}{2}$$

$$= 0{,}0070 \quad ft.lb_f / lb_m$$

5 Friksi karena gate valve

$$f_5 = kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 0{,}17 \times \frac{0{,}136^{\,2}}{2}$$

$$= 0{,}0016 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$\Sigma f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5$$

$$= 0{,}0116 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$1 \text{ atm} = 14{,}7 \text{ psi} \times 144 \text{ in}^2/\text{ft}^2 = 2116{,}8 \text{ lbf/ft}^2$$

P_1 = P hidrostatis + 1 atm

Tinggi bahan, H = 11,3568 ft

ρ bahan = 199,1889 lb/cuft

P hidrostatis = ρ x g x H + 1 atm

= 199,1889 lb/cuft x 11,3568 ft + 14,7 x 144

= 4378,939 lb/ft^2

P_2 = 1 atm = 2116,8 lbf/ft^2

ΔP = P2- P_1

= 2116,8 - 4378,9 lb/ft^2

= 2262,1 lb_f/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{2262{,}1 \quad lb_f/ft^2}{199{,}1889 \quad lb/cuft}$$

= 11,357 ft. lbf/lbm

Z2 = 11,3568 ft

Z1 = 0 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

g kecepatan gravitasi = 32,2 ft/dt^2

gc konstanta gravitasi = 32,2 ft/dt^2 x 1 lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{0{,}136^{\,2} - 0^{\,2}}{2 \times 1 \times 32{,}2}$$

$$= 0{,}0003 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times g/gc$$

$$= (11{,}3568 - 0{,}0000) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lb_m/dt^2.lb_f}$$

$$= 11{,}3568 \frac{ft \,.\, lb_f}{lb_m}$$

Perhitungan daya pompa

Persamaan Bernoully :

$$\Delta P \quad \_ \quad g \quad \Delta v^2 \quad \_ \quad Wf$$

ρ gc 2 x α x gc

11,357 + 11,3568 + 0,0003 + 0,0116 = - Wf

- Wf = 22,7254 ft. lbf / lbm

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate (cuft/s)} \times \rho}{550}$$

$$= \frac{22,7254 \times 0,0070012 \times 199,18886}{550}$$

= 0,0576219 hp

Kapasitas = 0,4200737 cuft/menit x 7,481 = 3,1426 gpm

Viskositas (μ) = 0,002712006 lb/ ft. s

Effisiensi pompa = 0,45 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-37pg. 520)**

$$Bhp = \frac{hp}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0,0576219}{0,45} = 0,128 \text{ hp}$$

Effisiensi motor = 0,8 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-38pg. 521)**

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}} = \frac{0,1280486}{0,8} = 0,1601 \text{ hp}$$

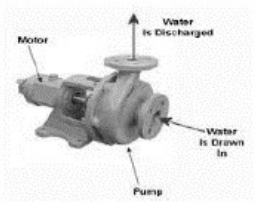
Spesifikasi Pompa 6 :

Fungsi	=	Memindahkan slurry dari Thickener 1 ke Thickener 2
Jenis	=	Slurry Pum
Kapasitas	=	2277,2254 kg/jam
Effisiensi Motor	=	0,8
Power	=	0,1601 hp
Jumlah	=	1 pompa
Bahan konstruksi	=	Galvanized Iron

23. POMPA 7

Fungsi : Memindahkan produk $Al_2(SO_4)_3$ dari Tangki Penampungan menuju Evaporator

Type : Centrifugal Pump



Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)	**(Perry 7ed. T.2-1)**
$Al_2(SO_4)_3$	4147,079682	0,5789346	2,71	
H_2O	3016,215464	0,4210654	1	
Total	7163,295146	1		

Perhitungan :

ρ campuran = $\frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}}$ 1 gr/ml = 62,43 lb/cuft

ρ campuran = $\frac{1}{\frac{0,5789}{2,71} + \frac{0,4211}{1}}$

= 1,5755615 gr/ml

= 98,362302 lb/cuft

sg bahan = $\frac{\rho \text{ campuran bahan}}{\rho \text{ reference}}$

= $\frac{98,362302}{62,43}$

= 1,5756

μ berdasarkan sg bahan :

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg reference = 1

Dari Kern fig. 14 pg. 823 didapat μ reference = 0,00085 lb/ft.s

μ bahan = $\frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}}$ x μ reference

= $\frac{1,5756}{1}$ x 0,00085

= 0,0013392 lb/ft s

Bahan Masuk : 7163,2951 kg/jam = 15792,415 lb/jam

Rate Volumetrik = $\frac{\text{rate massa}}{\text{densitas}}$

= $\frac{15792,415}{98,362302}$

= 160,55354 cuft/jam

= 2,6758923 cuft/min

= 0,0445982 cuft/s = 0,0012487 m^3/detik

= 20,01835 gpm

Perhitungan diameter pipa

Asumsi aliran turbulen **Peters, 4ed, pers. 15 hal 496**

Di optimum untuk turbulen, NRe > 2100 digunakan persamaan (15) Peters:

Di optimum = 3,9 x $q_f^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$

Dengan: q_f = fluid flow rate ; cuft/dt

= 0,0445982 cuft/s

ρ = fluid density ; lb/cuft

= 98,362302

Maka Di pipa optimum = 1,7471 in [Peters, 4ed, pers 15 hal 496]

Dipilih pipa 3 in sch 40 [Mc Cabe 5ed, appendix 5]

OD = 3,5 in

ID = 3,068 in = 0,2557 ft = 0,0779 m

A = 0,0513 ft^2

Cek :

Kecepatan linier (v) = $\frac{qf}{A}$

= $\frac{0,0446}{0,0513}$

= 0,8694 ft/s

Nre = $\frac{D\ v\ \rho}{\mu}$ = $\frac{0,2557 \times 0,8694 \times 98,362302}{0,001339227}$

= 16324,825 > 2100

(asumsi benar)

Menentukan jumlah energi yang hilang

1. Karena pipa lurus

Ditetapkan : panjang pipa lurus = 15 ft

Dari Geankoplis 5ed fig. 2.10-3 hal 88, didapat data :

Dipilih bahan pipa Galvanized Iron = 0,00015 m

maka harga e/D = 0,002
f = 0,009

2. Karena Friksi (Geankoplis T. 2.10-1 hal 93)

Taksiran panhan pipa lurus					=	15	ft
- 4 elbow 90°	=	4 x	35 x	0,256	=	35,84	ft
- 1 gate valve	=	1 x	9 x	0,256	=	2,304	ft
Panjang total pipa; Le					=	53,144	ft

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$f_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0{,}009 \times 0{,}869^2 \times 53{,}1440}{32{,}2 \times 0{,}2560}$$

$$= 0{,}0877 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena konstraksi dari tangki ke pipa

A1 = luas penampang tangki = 50,171 ft²
A2 = luas penampang pipa = 0,0513 ft²
Dimana A tangki > A pipa , maka
K = 0,5
α = 1 (Aliran turbulen) **(Peters&Timmerhaus, Tabel 1 hal.484)**

$$f_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{0{,}5 \times 0{,}869^2}{2 \times 1 \times 32{,}2}$$

$$= 0{,}0059 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3 Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$f_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \times \alpha \times gc} \quad ; (A_1 < A_2, \text{ maka } V_1 \text{ dianggap} = 0)$$

$$= \frac{0{,}869^2 - 0}{2 \times 1 \times 32{,}2}$$

$$= 0{,}0117 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4 Friksi karena elbow 90°

$f_4 = kf \times \frac{v^2}{2}$ ***(Geankoplis 3 ed, pers. 2.10-17 hal 94)***

Kf = 0,75 ***(Geankoplis 3 ed, Tabel 2.10-1 hal 93)***

$= 0,75 \times \frac{0,869^2}{2}$

$= 0,2834$ $ft.lb_f / lb_m$

5 Friksi karena gate valve

$f_5 = kf \times \frac{v^2}{2}$

$= 0,17 \times \frac{0,869^2}{2}$

$= 0,0642$ $ft.lb_f / lb_m$

$\Sigma f = f_1 + f_2 + f_3 + f_4 + f_5$

$= 0,4530$ $ft.lb_f / lb_m$

1 atm = 14,7 psi x 144 in^2/ft^2 = 2116,8 lbf/ft^2

P_1 = P hidrostatis + 1 atm

Tinggi bahan, H = 12,7997 ft

ρ bahan = 98,3623 lb/cuft

P hidrostatis = ρ x g x H + 1 atm

= 98,3623 lb/cuft x 12,7997 ft + 14,7 x 144

= 3375,806 lb/ft^2

P_2 = 1 atm = 2116,8 lbf/ft^2

$\Delta P = P2 - P_1$

= 2116,8 - 3375,8 lb/ft^2

= 1259,0 lb_f/ft^2

$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1259,0 \ lb_f/ft^2}{98,3623 \ lb/cuft}$

= 12,8 ft. lbf/lbm

Z2 = 12,7997 ft

Z1 = 0 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

g kecepatan gravitasi = 32,2 ft/dt^2

gc konstanta gravitasi = 32,2 ft/dt^2 x 1 lbm/lbf

$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{0,869^2 - 0^2}{2 \times 1 \times 32,2}$

$= 0,0117$ $ft.lb_f / lb_m$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times g/gc$$

$$= (\quad 12{,}7997 \quad - \quad 0{,}0000 \quad) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lb_m/dt^2.lb_f}$$

$$= 12{,}7997 \frac{ft \,.\, lb_f}{lb_m}$$

Perhitungan daya pompa

Persamaan Bernoully :

$$\frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} + \Sigma f = - Wf$$

$$12{,}8 + 12{,}7997 + 0{,}0117 + 0{,}4530 = - Wf$$

$$- Wf = 26{,}0641 \frac{ft.\,lbf}{lbm}$$

$$hp = \frac{- Wf \times \text{flowrate (cuft/s)} \times \rho}{550}$$

$$= \frac{26{,}0641 \times 0{,}869 \times 98{,}362302}{550}$$

$$= 4{,}0523614 \text{ hp}$$

Kapasitas = 2,6758923 cuft/menit x 7,481 = 20,018 gpm

Viskositas (μ) = 0,001339227 lb/ ft. s

Effisiensi pompa = 0,45 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-37pg. 520)**

$$Bhp = \frac{hp}{\eta \text{ pompa}} = \frac{4{,}0523614}{0{,}45} = 9{,}0052 \text{ hp}$$

Effisiensi motor = 0,8 **(Peters&Timmerhaus fig. 14-38pg. 521)**

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}} = \frac{9{,}0052475}{0{,}8} = 11{,}257 \text{ hp}$$

Spesifikasi Pompa 7 :

Fungsi : Memindahkan produk $Al_2(SO_4)_3$ dari Tangki Penampungan menuju Evaporator

Type : Centrifugal Pump

Kapasitas = 7163,2951 kg/jam

Effisiensi Motor = 0,8

Power = 11,257 hp

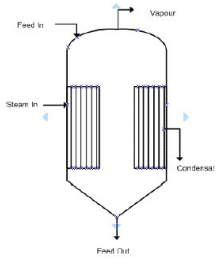
Jumlah = 1 pompa

Bahan konstruksi = Galvanized Iron

24. Evaporator

Fungsi : Memekatkan larutan $Al_2(SO_4)_3$ dari 58,79% ke 65%

Type : Standard Vertical Long Tube Evaporator



Q supply = 9869052,267 kkal/jan = 39137404,5 Btu/jam

Suhu Bahan Masuk = 30 °C = 86 °F (t1)

Suhu Bahan Keluar = 80 °C = 176 °F (t2)

Suhu Steam Masuk = 148 °C = 298,4 °F (T1)

Suhu Steam Keluar = 148 °C = 298,4 °F (T2)

Δ T1 = 212,4 °F

Δ T2 = 122,4 °F

ΔT LMTD = 163,29 °F

$$R = \frac{T1 - T2}{t2 - t1} = \frac{0}{90} = 0$$

$$S = \frac{t2 - t1}{T1 - t1} = \frac{90}{212,4} = 0,4237$$

Ft = 1 (Kern, fig. 18 pg 828)

Ketentuan ft tidak boleh kurang dari 0,7

ΔT = Ft x ΔT LMTD

= 1 x 163,29

= 163,29 °F

Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
Al2(SO4)3	4147,079682	0,5789346	2,71
H2O	3016,215464	0,4210654	1
Total	7163,295146	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan :

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}}$$ 1 gr/ml = 62,43 lb/cuft

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0,5789}{2,71} + \frac{0,4211}{1}}$$

= 1,5755615 gr/ml

= 98,362302 lb/cuft

sg bahan = $\frac{\rho \text{ campuran bahan}}{\rho \text{ reference}}$

= $\frac{98,362302}{62,43}$

= 1,5756

μ berdasarkan sg bahan :

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg reference = 1

Dari Kern fig. 14 pg. 823 didapat μ reference = 0,00085 lb/ft.s = 0,95 cp

μ bahan = $\frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}}$ x μ reference

= $\frac{1,5756}{1}$ x 0,00085

= 0,0013392 lb/ft s = 1,4967834 cp

Evaporator Termasuk Sistem Heater karena:

Hot Fluid : Steam

Cold Fluid : Aqueous Solution dimana μ bahan kurang dari 2 Cp

Sehingga didapat nilai Ud dengan range 200 - 700 $\frac{\text{BTU}}{\text{jam. ft}^2\ ^\circ\text{F}}$

(Kern Tabel 8 pg. 840)

dipilih nilai Ud = 200 $\frac{\text{BTU}}{\text{jam. ft}^2\ ^\circ\text{F}}$

Menghitung Tc dan tc :

Tc = $\frac{T1 + T2}{2}$ = 298,4 °F

tc = $\frac{t1 + t2}{2}$ = 131 °F

Digunakan 1 buah evaporator sehingga dapat dihitung :

A' = $\frac{Q}{Ud \times \Delta T}$ dimana,

A = luas perpindahan panas

Q = Q supply dari steam

Ud = Overall design coefficients

ΔT = Perubahan suhu

= $\frac{39137404,5}{200 \times 167,4}$

= 1168,9786 ft²

= 108,60167 m²

Dari Kern Tabel 10 pg. 843, didapat data :

Pipa (Tube)

OD		=	1,00	in
BWG		=	16	in
ID		=	0,87	in
Flow area per tube	(a't)	=	0,594	in²
Surface per in ft	(a")	=	0,2618	ft²

disusun = persegi (Karena bahan kental μ bahan > 1 cp)

pitch = 1,25 in

Asumsi :

Panjang tube (l) = 4 ft

$$Nt = \frac{A'}{a'' \times l}$$

$$= \frac{1168,978629}{0,2618 \times 4}$$

$$= 1116,2898 \text{ buah}$$

Harga Nt distandarkan sesuai ketetapan di tabel 9 Kern pg, 841 (pitch persegi) dan pg. 842 (pitch segitiga)

Nt = 32 buah

makan diperoleh harga Ids, ketika Nt = 32 buah dan n (passes) = 1 sebesar 10 in

Kemudian Ud dikoreksi dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Ud koreksi} = \frac{Nt}{Nt \text{ standard}} \times \text{Ud trial}$$

$$= \frac{1116,3}{32} \times 200$$

$$= 6976,8 \text{ BTU/jam. ft}^2 \text{ °F}$$

Perancangan :

Type HE : 1 - 2

Artinya :

1 lewatan pada bagian shell

2 lewatan maks pada bagian tube

Bagian Shell

Ids = 10 in = 0,8333 ft
n' = 1
B = 1- 2/10 x Ids
= 10 in

Bagian Tube

OD = 1,00 in
BWG = 16 in
ID = 0,87 in
Flow area per tube (a't) = 0,594 in²
Surface per in ft (a") = 0,2618 ft²
disusun = persegi
pitch = 1,25 in
Panjang (l) = 4 ft
n = 1
Nt = 32 buah
de = 0,99 in (Kern fig.28 pg. 838)

Evaluasi Perpindahan Panas : (Kern pg. 167-169)

***Bagian Tube (Steam)**

1. Menghitung Nre Tube

$$at = \frac{Nt \times a't}{n \times 144}$$

$$= \frac{32 \times 0,594}{1 \times 144}$$

$$= 0,132 \text{ ft²}$$

$$Gt = \frac{Wsteam}{at}$$

$$= \frac{3726,7893 \text{ lb/jam}}{0,132 \text{ ft²}}$$

$$= 28233,253 \text{ lb/jam.ft²}$$

μ steam pada Tc = 298,4 °F
μ steam = 0,014 cp (Kern fig. 15 pg. 825)
= 0,039 lb/ft.jam
ID = 0,87 in = 0,0725 ft

$$Nre\ t = \frac{Gt \times ID}{\mu\ steam}$$

$$= \frac{28233,253 \times 0,0725}{0,039}$$

$$= 52484,893$$

2. Menghitung koefisien perpindahan panas

hio = 1500 Btu/jam.ft °F (Kern pg. 164)

$$tw = tc + \frac{hio}{hio + ho}(Tc - tc)$$

$$= 131 + \frac{1500}{1500 + 23266,333}(298,4 - 131)$$

$$= 298,46057\ °F$$

***Bagian Shell ($Al_2(SO_4)_3$)**

1. Mneghitung Nre Shell

$$as = \frac{Ids \times C'' \times B}{144 \times Pt}$$

dimana C" = Pt - OD

C" = 1,25 - 1

C" = 0,25 in

$$= \frac{10 \times 0,25 \times 10}{144 \times 1,25}$$

$$= 0,1389\ ft^2$$

$$Gs = \frac{Wbahan}{as}$$

$$= \frac{15792,415\ lb/jam}{0,1388889\ ft^2}$$

$$= 113705,39\ lb/jam\ ft^2$$

μ pada tc = 131 °F

$\mu = 2 \times \mu$ air (Kern fig 14 pg.823)

= 2 x 0,55

= 1,1 cp

= 2,662 lb/ft jam

$$de = \frac{4 \times as}{\text{wetted perimeter}}$$ (Kern pg. 105 eq. 6.3)

$$= \frac{4 \times 0,1389}{Nt \times phi \times OD/12}$$

$$= 0,0663482\ ft$$

$$Nre\ s = \frac{Gs \times de}{\mu\ bahan}$$

$$= \frac{113705,39 \times 0,0663482}{2,662}$$

$$= 2834,0148$$

2. Menghitung koefisien perpindahan panas

jH = 5 (Kern fig,28 pg. 838)

pada tc = 131 °F

$k = \frac{Q \times l}{as \times tc}$ (karena tidak ada data k (Al2(SO4)3))

$= \frac{15267,804 \text{ Btu/jam} \times 4}{0,1389 \text{ ft}^2 \times 131 \text{ °F}}$

$= 3356,5859 \text{ Btu/jam ft °F}$

$\left[\frac{Cp \cdot \mu}{k}\right]^{1/3} = \frac{0,9812 \times 2,662}{3356,5859}^{1/3}$

$= 0,0919791$

$ho = jH \times \frac{[Cp \cdot \mu]}{k}^{1/3} \frac{k}{de} \times \varphi s$

$\frac{ho}{\varphi s} = 5 \times 0,092 \times \frac{3356,6}{0,0663}$

$= 23266,33257$

pada tw = 298,46057 °F

μ w = 2 x μ air (Kern fig 14 pg. 823)

= 2 x 0,2

= 0,4 cp

= 0,968 lb/ft. jam

$\varphi s = \left[\frac{\mu}{\mu w}\right]^{0,14}$

$= \left[\frac{2,662}{0,968}\right]^{0,14}$

= 1,1521435

$ho = \frac{ho}{\varphi s} \varphi s = \frac{23266,333}{1,1521435} =$ 20193,954 Btu/jam ft² °F

3. Clean Overall Coefficient (Uc)

$Uc = \frac{hio \times ho}{hio + ho}$

$= \frac{1500 \times 20193,954}{1500 + 20193,954}$

= 1396,2845 Btu/jam ft² °F

4. Design Overall Coefficient (UD)

$Ud = \frac{Q}{A \times \Delta T \text{ LMTD}}$ $A = Nt \times l \times a''$

$= 32 \times 6 \times 0,2618$

$$= \frac{2314254,742}{50,266 \times 163,29} = 50,2656 \text{ ft}^2$$

$$= 281,96085 \text{ Btu/jam ft}^2 \text{ °F}$$

5. Dirt Factor

$$Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc \times Ud}$$

$$= \frac{1396,2845 - 281,96085}{1396,2845 \times 281,96085}$$

$$= 0,003$$

Rd Ketetntuan = 0,002 (Kern Tabel 12 pg. 845)

Rd hitung > Rd ketentuan = Alat dapat digunakan

6. Pressure Drop

***Bagian Tube (Steam)**

1. Spesific Volume dari Steam

Dari Kern Tabel 7 (Temperature Table) pg. 817

Suhu steam = 148 °C = 298,4 °F

didapat spesific volume (v) = 6,648 ft²/lb

$$s = \frac{1/6,648}{62,5} = 0,0024067$$

dari Kern fig. 26 pg. 836 didapat

Nre t = 32

f = 0,00004 ft²/m²

$$\Delta Pt = \frac{1/2 \times f \times Gt^2 \times L \times n}{5,22 \times 10\text{^}10 \times ID \times s \times s \times \varphi t}$$

$$= 0,0105018 \text{ psi}$$

***Bagian Shell (Larutan Al2(SO4)3)**

$$De' = \frac{4 \times \text{flow area}}{\text{frictional wetted perimeter}} \quad \text{(Kern pg. 105 e1. 6.4)}$$

$$= \frac{4 \times as}{(Nt \times \pi \times OD) + (\pi * IDs)}$$

$$= \frac{4 \times 0{,}1389}{32 \times 3{,}14 \times 0{,}0833 + 3{,}14 \times 0{,}8333}$$

$= 0{,}0505669$ ft

dari Kern fig. 26 pg. 836 didapat

Re s' = De' x Gs x μ

$= 15305{,}778$

f = 0,0005 ft²/m²

Kern eq. 7.45 pg. 148

$$\Delta Ps = \frac{f \times Gs^2 \times Ds \times (N+1)}{5{,}22 \times 10\text{^}10 \times ID \times sg \times \varphi s}$$

$= 0{,}0013084$ psi

ΔPs < 0,2 (Memenuhi)

Pressure Drop Total = 0,0118 psi

Dimensi Evaporator :

Ketentuan : (Ulrich, pg. 94 T.4-7)

Evaporator Long Tube

Maximum Vesel :

Diameter = 4 m

Tinggi = 8 m

a. Penentuan Volume Tangki :

Densitas Bahan = 98,362302 lb/cuft

Rate Bahan = 7163,2951 kg/jam = 15792,415 lb/jam

$$\text{Rate Volmetrik Bahan} = \frac{\text{Rate Bahan}}{\text{Densitas bahan}} = \frac{15792{,}415}{98{,}362302}$$

$= 160{,}55354$ cuft/jam

Direncanakan waktu operasi 1 jam dengan 1 buah tangki, sehingga:

Volume Bahan = 160,55354 x 1 = 160,55354 cuft

Volume Tube = Jumlah Tube x Panjang Tube x Luas Tube

= Nt x L x 1/4 π OD²

= 32 x 4 x 0,0055

= 0,6977778 cuft

Volume Total = 161,25131 cuft

Volume Total mengisi 70% volume tangki

$$\text{Volume Tangki} = \frac{161,25131}{70\%}$$

= 230,35902 cuft

Asumsi = H = 2D

Vs = $(\pi/4) \times Ds^2 \times Hs$

= $(\pi/4) \times Ds^2 \times 2\,Ds$

= $(\pi/4) \times 2Ds^3$

= $1,57\ Ds^3$

Vtutup atas = $0,000076\ Ds^3$ (Brownell Hal 88)

Vtutup bawah = $(\pi\ Ds^3) / 24tg\alpha$ (Hesse hal 92)

$$= \frac{(\ 3,14 \times Ds^3\ )}{24 \times tg\ 15}$$

= $0,4883\ Ds^3$

α diambil 15° sehingga :

Vt = Vs + Vtutup atas + Vtutup bawah

230,359 = $1,57\ Ds^3 + 0,000076\ Ds^3 + 0,4883\ Ds^3$

= $2,0584\ Ds^3$

Ds = 4,8 ft = 5 ft

Hs = 9,637 ft = 10 ft

= 57,82 in = 1,4686 m

= 115,64 in = 2,9372 m

Menentukan Tebal Shell

Design tebal shell berdasarkan Tekanan Luar, karena tekanan pada evaporator vaccum

1. Menentukan Tinggi liquid dalam shell :

Volume liquid = Vs + Vtutup bawah

160,55354 = $(\pi/4) \times h \times Ds^2 + 0,4883\ Ds^3$

160,55354 = $0,785 \times h \times 23,22 + 0,4883 \times 111,9$

160,55354 = $18,224543\ h + 54,619377$

105,93416 = $18,224543\ h$

h = 5,8127 ft = 1,79264 m

2. Menentukan Tekanan Design :

Jika didalam bejana terdapat liquid, maka :

P design = Po - Pi + Phidrostatis

P design = 14,7 - 6,9 + 98,362302 lbm x 1 lbf x 5,8127 ft

cuft lbm

144

P design = 3,8295 psi

Asumsi P design 10% lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 110% x 3,8295

= 4,2124 psi

3. Asumsi

Tebal Shell (ts) = 3/16 in

Digunakan bahan konstruksi yang terbuat dari :

SA-283-54 Grade C (Brownell pg. 79 T. 5.1)

f allowable = 30000 psi

4. Diameter Bejana

Iinside diameter (Di) = 57,82 in

Outside diameter (Do) = Di + 2 x ts

= 58,195 in

Tinggi Bejana (H) = 115,64 in

H/Do = 1,9871

Do/ts = 310,37

5. Menentukan Faktor B

Brownell pf. 147 fig. 8.8

didapat nilai faktor B = 2100

6. Menghitung P allowable

$$P\ allow = \frac{B}{Do/ts}$$

= 6,7661

P allow > P design sehingga ts = 3/16 dapat digunakan

Menentukan Tebal Tutup Atas, Torispherical

Dari Brownell & Young ex. 8.10 p. 152

Do = 58,195 in

Asumsi :

Tebal tutup (th) = 3/16 in

rc = 29,097 in

$\frac{rc}{100x\ th}$ = 1,5519

Menentukan faktor B

$\frac{H}{100 \times th} = \frac{115,6391}{100 \times 0,1875} = 6,1674$

$\frac{Do}{th} = \frac{58,195}{0,1875} = 310,37$

Brownell pg. 147 fig. 8.8

didapat niai faktor B = 850

P allowable = $\frac{B}{r/th} = \frac{850}{1,5519 \times 100} = 5,4773$ psi

P allow > P design sehingga ts dapat digunakan

Menentukan Tinggi Tutup Atas

Tinggi tutup atas (h) = $r_c - (r_c^2 - (\frac{D^2}{4})^{0.5}$ **(Hesse, hal 4-14)**

$h = 29,097 - (29^2 - (\frac{57,82^2}{4})^{0.5}$

= 25,799 in = 2,1499 ft

Menentukan Tebal Tutup Bawah, Conical

Dari Brownell & Young ex. 8.14 pg. 153

Asumsi :

α = 15°

Tebal tutuo (th) = 3/16 in

Menentukan faktor B

$l = \frac{Do/2}{\tan \alpha}$

$= \frac{29,097277}{0,267949}$

= 108,59 in

$\frac{l}{Do} = \frac{108,59}{58,195}$

= 1,866

$\frac{Do}{th} = \frac{58,195}{0,1875}$

= 310,37

Brownell pg. 147 fig. 8.8

didapat nilai faktor B = 2100

Menentukan P allowable

P allowable = $\frac{B}{Do/th} = \frac{2100}{310,37} =$ 6,7661 psi

P allow > P design sehingga ts = 3/16 dapat digunakan

Menentukan Tinggi Tutup Bawah

$$h = \frac{tg\ \alpha \times (D-,m)}{2}$$ **(Hesse, hal 92)** **[Hesse, pers 4-17]**

dimana :

D : diameter bejana (ft)

tg α : sudut conis 15°

m : 12 in = 1 ft (Hesse, hal 85)

$$h = \frac{tg\ 15 \times (4,8 - 1)}{2}$$

$$= 0,5116 \text{ ft}$$

Spesifikasi

Fungsi : Memekatkan larutan $Al_2(SO_4)_3$ dari 57,89% ke 65% dengan menguapkan air

Bentuk : Long tube evaporator dengan tutup atas flanged and standart dish head dan tutup bawah berbentuk conis

Type : Standard Vertical Long Tube Evaporator

Jenis : 1 - 2 shell dan tube evaporator

Dasar pemilihan : Sesuai untuk proses pemekatan larutan

Bagian Shell

Diameter shell	\	=	4,8183 ft
Tinggi shell		=	9,637 ft
Tebal shell		=	3/16 in

Bagian Tutup : =

Tinggi tutup atas	=	2,1499 ft
Tinggi tutup bawah	=	0,5116 ft
Tebal tutup atas	=	3/16 in
Tebal tutup bawah	=	3/16 in

Bagian Tube:

OD	=	1,00 in
BWG	=	16
ID	=	0,87 in
Flow area per tube (a't)	=	0,594 in^2
Surface per lin ft (a")	=	0,2618 ft^2

disusun	=	persegi
pitch	=	1
Panjang tube	=	4 ft
Jumlah tube	=	32 buah

Faktor Pengotor :

Rd ketentuan	=	0,002	jam ft² °F/Btu
Rd hitung	=	0,003	jam ft² °F/Btu

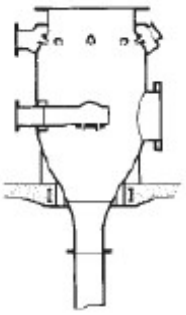
Pressure Drop :

Shell	=	0,0013084 psi
Tube	=	0,0105018 psi
Bahan Konstruksi	=	Carbon Steel SA- 203 Grade C
Jumlah Evaporator	=	1 buah

25. Barometric Condensor

Fungsi : Mengubah fase H2O(g) yang menguap dari evaporator menjadi H2O(l)

Type : Vvertical Counter Current Ccondensor



Q serap = 9127046,642 kkal/jam = 36194855,06 Btu/jam

Suhu Bahan Masuk = 80 °C = 176 °F (T1)

Suhu Bahan Keluar = 80 °C = 176 °F (T2)

Suhu C.W Masuk = 30 °C = 86 °F (t1)

Suhu C.W Keluar = 45 °C = 113 °F (t2)

Δ T1 = 63 °F

Δ T2 = 90 °F

ΔT LMTD = 75,699 °F

*Proses Isothermal (Suhu bahan masuk = suhu bahan keluar)

Ft = 1 (Kern, fig. 18 pg. 826)

ΔT = Ft x ΔT LMTD

= 1 x 75,699

= 75,70 °F

*Menghitung Suhu Tc dan tc

$Tc = \frac{T1 + T2}{2} = 176$ °F

$tc = \frac{t1 + t2}{2} = 99,5$ °F

Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
H2O(g)	775,4191503	1	1
TOTAL	775,4191503	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan :

$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}}$ 1 gr/ml = 62,43 lb/cuft

$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{1}{1}}$

= 1 gr/ml
= 62,43 lb/cuft

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ campuran bahan}}{\rho \text{ reference}}$$
$$= \frac{62,43}{62,43}$$
$$= 1$$

μ berdasarkan sg bahan :
Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg reference = 1
Dari Kern fig. 14 pg. 823 didapat μ reference = 0,95 lb/ft.s =

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu \text{ reference}$$
$$= \frac{1}{1} \times 0,95$$
$$= 0,95 \text{ cp} = 0,000638 \text{ cp}$$

Condensor Termasuk Sistem Cooler karena :
Hot Fluid : Gas
Cold Fluid : Water
Sehingga didapat nilai UD dengan range 2 - 50 $\frac{\text{BTU}}{\text{jam. ft}^2\text{. °F}}$
(Kern Tabel 8 pg. 840)
dipilih nilai UD = 15 $\frac{\text{BTU}}{\text{jam. ft}^2\text{. °F}}$
Digunakan 1 buah evaporator sehingga dapat dihitung :

$$A' = \frac{Q}{Ud \times \Delta T}$$

dimana,
A = luas perpindahan panas
Q = Q supply dari steam
Ud = Overall design coefficients
ΔT = Perubahan suhu

$$= \frac{36194855,06}{15 \times 75,70}$$
$$= 31876,044 \text{ ft}^2$$
$$= 2961,3814 \text{ m}^2$$

Dari Kern Tabel 10 pg. 843 didapat data :
Pipa (Tube)
OD = 1,25 in
BWG = 18 in
ID = 1,15 in

Flow area per tube (a't) = 1,04 in²
Surface per in ft (a") = 1,3271 ft²

disusun = segetiga (Karena bahan kental μ bahan > 1 cp)
pitch = 1,56 in
Asumsi :
Panjang tube (l) = 6 ft

$$Nt = \frac{A'}{a'' \times l} = \frac{31876,04419}{1,3271 \times 6} = 4003,2206 \text{ buah}$$

Harga Nt distandarkan sesuai ketetapan di tabel 9 Kern
pg, 841 (pitch persegi) dan pg. 842 (pitch segitiga)
Nt = 32 buah
makan diperoleh harga Ids, ketika Nt = 32 buah dan n (passes) = 1
sebesar 12 in
Kemudian Ud dikoreksi dengan menggunakan persamaan :

$$\text{Ud koreksi} = \frac{Nt}{\text{Nt standard}} \times \text{Ud trial} = \frac{4003,2}{32} \times 15 = 1876,5 \text{ BTU/jam. ft}^2 \text{ °F}$$

Perancangan :
Type HE : 1 - 2
Artinya :
1 lewatan pada bagian shell
2 lewatan maks pada bagian tube
Bagian Shell
Ids = 12 in = 1 ft
n' = 1
B = 1- 2/10 x Ids
= 12 in
Bagian Tube
OD = 1,25 in
BWG = 18 in
ID = 1,15 in
Flow area per tube (a't) = 1,04 in²
Surface per in ft (a") = 0,3271 ft²
disusun = segitiga

pitch = 1,56 in
Panjang (l) = 6 ft
n = 1
Nt = 32 buah
de = 0,91 in (Kern fig.28 pg. 838)

Evaluasi Perpindahan Panas : (Kern pg. 275)

***Bagian Tube (Cooling Water)**

1. Menghitung Nre Tube

$$at = \frac{Nt \times a't}{Nt \times 144} = \frac{32 \times 1,04}{2 \times 144} = 0,2311 \text{ ft}^2$$

$$Gt = \frac{W\text{cooling water}}{at} = \frac{1343250,7 \text{ lb/jam}}{0,2311 \text{ ft}^2} = 5812142,4 \text{ lb/jam ft}^2$$

$$\text{velocity, } v = \frac{Gt}{3600 \times \rho} = \frac{5812142,359}{3600 \times 62,43} = 25,861 \text{ fps}$$

μ pada tc = 99,5 °F
μ = 0,75 cp (Kern fig. 15 pg. 825)
= 1,815 lb/ft.jam
ID = 1,15 in = 0,0958 ft

$$\text{Nre t} = \frac{ID \times Gt}{\mu} = 306885,39$$

2. Mmenghitung Koefisien Perpindahan panas

hi = 330

$$hio = hi \times \frac{ID}{OD}$$

$$= 330 \times \frac{1,15}{1,25}$$

= 303,6

***Bagian Shell (Vapor)**

1. Menghitung Nre Shell

$$as = \frac{Ids \times C'' \times B}{144 \times Pt}$$

dimana C" = Pt - OD

C" = 1,56 - 1,25

C" = 0,31 in

$$= \frac{12 \times 0,31 \times 12}{144 \times 1,56}$$

= 0,1987 ft²

$$Gs = \frac{Wbahan}{as}$$

$$= \frac{1726,6057 \text{ lb/jam}}{0,1987179 \text{ ft}^2}$$

= 8688,7255 lb/jam ft²

$$G'' = \frac{Wbahan}{L \times Nt^{2/3}}$$ (Kern hal 266 eq. 12.43)

$$= \frac{1726,6057 \text{ lb/jam}}{6,3 \text{ ft} \times 10,079}$$

= 27,190632 lb/jam lin ft

2. Menghitung koefisien perpindahan panas

Asumsi : ho = 90 - 150 BTU/jam ft² °F

(Kondensor Vertical) (Kusnarjo)

dipilih ho = 150 BTU/jam ft² °F

$$tw = tc + \frac{ho}{hio + ho}(Tc - tc)$$

$$= 99,5 + \frac{150}{303,6 + 150}(176 - 99,5)$$

= 124,79762 °F

$$tf = \frac{Tc + tw}{}$$

$$= \frac{176 + 124,8}{2}$$

$$= 150,4 \ ^\circ F$$

Berdasarkan tf, didapat :

kf = 0,0126 BTU/jam ft² (°F/ft) (Kern, Tabel 5 pg. 802)

sf = s* = 1 (Kern, Tabel 6 pg.808)

μf = 0,35 cp (Kern fig. 14 pg. 823)

Dari fig. 12.9 Kern pg. 267 akan didapat :

ho = 130 BTU/jam ft² °F

Karena nilai ho tersebut berbeda dengan ho trial, jika berbeda t tidak boleh lebih dari 20%. Jika lebih dari 20% maka ulangi trial ho (Kusnarjo pg.36)

3. Clean Overall Coefficient (Uc)

$$Uc = \frac{hio \times ho}{hio + ho}$$

$$= \frac{303,6 \times 130}{303,6 + 130}$$

$$= 91,024 \text{ BTU/jam ft² °F}$$

4. Dirt Factor (Rd)

$$Rd = \frac{Uc - Ud \text{ koreksi}}{Uc \times Ud \text{ koreksi}}$$

$$= \frac{91,024 - 1876,5096}{91,024 \times 1876,5096}$$

$$= -0,010453 \text{ jam ft² °F/Btu}$$

Rd Ketentuan = 0,001 (Kern Tabel 12 pg. 845)

Rd Hitung > Rd Ketentuan = Alat dapat digunakan

5. Pressure Drop

***Bagian Shell (Vapor)**

Pada Tc = 176 °F

μ vapor = 0,0125 cp (Kern fig. 15 pg. 825)

= 0,0303 lb/ft jam

de = 0,91 in = 0,0758 ft

$$Nre\ s = \frac{de \times Gs}{\mu \text{ vapor}}$$

$$= \frac{0,91 \times 8688,7255}{}$$

0,03025

= 261379,84

f = 0,0005 ft²/in² (Kern fig. 29 pg. 839)

$N+1 = 12 \times \frac{l}{B}$ (Kern eq. 7.43 pg. 147)

$= 12 \times \frac{75,6}{12}$

= 75,6

Berat molekul = 18

s = 1

Ids = 1 ft

Kern eq. 12.47 pg.273

$\Delta Ps = \frac{1 \times f \times Gs^2 \times Ids\ (N+1)}{2 \times 5,22 \times 10\text{^}10 \times De \times s}$

= 3,004E-05 psi

ΔPs < 0,2 (memenuhi)

***Bagian Tube (Cooling Water)**

Dari Kern fig. 26 pg. 836

Nre t = 306885,39

f = 0,0025 ft²/in² (Kern fig. 29 pg. 839)

Kern eq. 7.45 pg. 148

$\Delta Pt = \frac{f \times Gt^2 \times L \times n}{5,22 \times 10\text{^}10 \times ID \times s \times \varphi t}$

= 8,8630806 psi

$\Delta Pr = \frac{4n}{s} \times \frac{V^2}{2g'}$

Dari Kern fig. 27 pg. 837

Gt = 5812142,4 lb/jam ft²

didapat harga $\frac{V^2}{2g'}$ = 0,001

Jadi, $\Delta Pr = \frac{4n}{s} \times \frac{V^2}{2g'}$

$\Delta Pr = \frac{4}{1} \times 0,001$

ΔPr = 0,004 psi

ΔPT total = ΔPt + ΔPr

= 8,8631 + 0,004
= 8,8671 psi

Jadi, Pi = ΔPs + ΔPT total
= 8,8671107 psi

Dimensi Condendosr :

Luas penampang (A) = π/4 D²

$$= \frac{3,14}{4} \times 12^2$$

= 113,04 in²
= 0,785 ft²

Asumsi : H = 2D
H = 24 in
H = 2 ft
H = 0,6096 m

Menentukan Tebal Shell

Design tebal shell berdasarkan Tekanan Dalam, karena tekanan baromatic condensor = 1 atm

1. Menentukan Tekanan Design

P design = Po - (Pi + rho x g/gc x hliq)

$$\text{P design} = 14,7 - 14,7 + \frac{62,43 \times 1 \times 2}{144}$$

P design = 1 psi

Asumsi P design 10% lebih besar untuk faktor keamanan :

P design = 110% x 1
= 1,1 psi

Dipergunakan bahan konstruksi yang terbuat dari Carbon Steel dengan spesifikasi SA-283 grade C (Brownell, T 13-1)

f allowable = 12650
C = 0,125 in

Sambungan las dengan type double welded butt joint

Effisiensi las, E = 0,8
ri = 0,5 x 12
= 6 in

Rumus tebal shell yang digunakan adalah :

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fe - 0{,}6P} + C$$

$$= \frac{16{,}17 \times 6}{12650 \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 16{,}17} + \frac{1}{8}$$

$$= 0{,}1346 \text{ in}$$

Diambil tebal shell : 3/16 in

Menentukan Tebal Tutup Bawah

$$h = \frac{tg\ \alpha \times (D-,m)}{2}$$ **(Hesse, hal 92)**

[Hesse, pers 4-17]

dimana :

D : diameter bejana (ft)

tg α : sudut conis 30°

m : 12 in = 1 ft (Hesse, hal 85)

$$h = \frac{tg\ 30 \times (3{,}0 - 1)}{2}$$

$$= 0{,}5774 \text{ ft}$$

Volume = 0,262 x h (D^2 +D.m + m^2)

Conical = 0,262 x 0,5774 x 13

= 1,9664541 cuft

(Hesse pers 4-18)

Bentuk : Standart conical dishead

$$t = \frac{Pd \times D}{2 \cos \alpha \times (fxe - 0{,}6Pd)} + C$$ (Brownell, Pers. 6-154, hal. 118)

Dimana :

Pd = Tekanan design (psi)

D = Diameter shell (in)

E = Faktor pengelasan 0,8

t = Tebal dinding minimal (in)

$$= \frac{1{,}1 \times 12}{2 \cos 30 \times (12650 \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 1{,}1)} + \frac{1}{8}$$

$$= 0{,}1265 \text{ in}$$

Diambil tebal head : 3/16 in

Spesifikasi Condensor :

Fungsi : : Mengubah fase H2O(g) yang menguap dari evaporator

menjadi H2O(l)

Type : : Vertical Counter Current Ccondensor

Bentuk : : Vertical dengan tutup atas flanged and standart dish head dan tutup bawah berbentuk conis

Kondisi Operasi :

Tekanan = 1 atm

Suhu = 80 °C

Bagian Shell :

Diameter shell = 1 ft

Tinggi shell = 2 ft

Tebal shell = 3/16 in

Bagian Tutup :

Tinggi tutup bawah = 0,5774 ft

Tebal tutup bawah = 3/16 in

Bagian Tube :

OD = 1,25 in

BWG = 18 in

ID = 1,15 in

Flow area per tube (a't) = 1,04 in²

Surface per in ft (a") = 0,3271 ft²

disusun = segitiga

pitch = 1,56 in

Panjang (l) = 6 ft

Nt = 32 buah

Faktor Pengotor:

Rd Ketentuan = 0,001 jam ft² °F/Btu

Rd Hitung = -0,010453 jam ft² °F/Btu

Pressure Drop :

Shell = 3,004E-05 psi

Tube = 8,8670806 psi

Bahan konstruksi = Carbon steel SA-203 Grade C

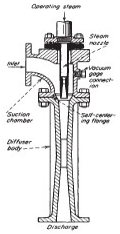
Jumlah condensor = 1 buah

26. Steam Jet Ejector

Fungsi : Untuk memvakumkan evaporator

Type : Single Stage Steam Jet Ejector

Dasar pemilihan : Kondisi vaccum cukup besar



Kondisi Operasi :

T : 80 °C = 176 °F = 353 °K

P vacum : 47,36 kPa = 0,4674 atm = 355,23 mmHg
= 13,986 inHg

(J M Smith 7ed; Steam Table App F)

P steam = 4,5 atm = 66,15 psig

Perhitungan : (Ludwig ex. 6-10 pg. 371)

Tekanan masuk = 47,36 kPa

Uap yang masuk = 7,7534083 kg/jam = 17,093397 lb/jam

(non-condensat gas)

Pemilihan Ukuran :

Ludwig fig. 6-26A pg. 373

Kebutuhan Steam = 64 lb steam / jam pada 90 psig

Ukuran Steam Jet Ejector = 2 inch S

Faktor Tekanan Steam :

Ludwig fig. 6-26B pg. 373

Pada tekanan steam (P steam) = 66,15 psig

Ukuran Steam jet ejector (F) = 1,19

Jadi, kebutuhan steam sebenarny = 76,16 lb/jam

Waktu Evakuasi :

Ludwig Tabel 6-14 pg. 379

System Volume = 54,55 cuft/lb x 17,093397 lb/jam
= 932,44478 cuft/jam

Ludwig Tabel 6-9 pg. 374

E = 1

Ludwig fig. 6-28A pg. 375

W'm = 70

W'm = F x V

$$70 = \frac{1 \text{ t}}{t} \times \frac{932{,}44}{1}$$

t = 13,321 menit

untuk mengevakuasi volume dengan 2 inch S ejector

Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk memvakumkan evaporator
Type	:	Single stage steam jet ejector
Kapasitas	:	7,7534083 kg/jam
Waktu Evakuasi	:	13,321 menit
Panjang	:	2 inch
Jumlah	:	1 buah

27. Hot Well

Fungsi : Untuk menampung kondensat dari barometic condensor dan steam jet ejector

Bentuk : Blok Terbuka

Kondisi Operasi

T : 80 °C

P : 1 atm

Perhitungan :

Rate Massa = 783,17256 kg/jam = 1726,6057 lb/jam

Waktu tinggal = 30 menit
ρ bahan (air) = 60,66 lb/cuft (Badger App 9 pg. 733)
saat suhu 80°C = 971,65188 kg/m³
Massa Bahan = 783,17256 $\frac{kg}{jam}$ x $\frac{1\ jam}{60\ menit}$ x 30 menit
= 391,58628 kg
Volume bahan = $\frac{\text{Massa bahan}}{\rho \text{ bahan (air)}}$
= $\frac{391,58628}{971,65188}$
= 0,4030109 m³
Volume bahan = 80% Volume Tangki
0,403 = 80% Volume Tangki
Volume tangki = 0,5038 m³

Asumsi : P = 2 L
H = 1 L
Jadi, Volume Tangki = P x L x H
Volume Tangki = 2L x L x 1L
0,5037636 = 2 L³
L = 0,6318275 m = 2,0729 ft
H = 0,6318275 m = 2,0729 ft
P = 1,263655 m = 4,1458 ft

Spesifikasi :

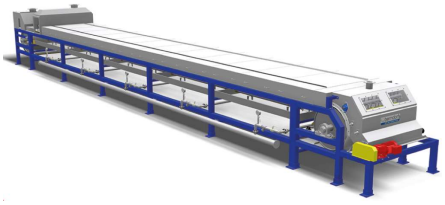
Fungsi : Untuk menampung kondensat dari barometic condensor dan steam jet ejector
Bentuk : Balok Terbuka
Kapasitas : 391,58628 kg
Ukuran Hot Well
Panjang : 4,1458 ft
lebar : 2,0729 ft
Tinggi : 2,0729 ft
Bahan konstruksi : Beton
Jumlah : 1 buah

28. Steel Belt Cooler

Fungsi : Memadatkan slurry $Al_2(SO_4)_3$ yang keluar dari evaporator

Type : Sandvik Steel Belt Cooler

Dasar pemilihan : Sesuai dengan fungsinya untuk memadatkan seluruhnya, dengan bantuan blower, air pendingin dan udara sekitar dengan sistem terbuka



Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	4147,079682	0,65	2,71
H_2O	2233,042906	0,35	1
Total	6380,122587	1	

(Perry 7ed. T.2-1)

Perhitungan :

Rate Bahan = 6380,1226 kg/jam = 14065,81 lb/jam

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62,43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0,65}{2,71} + \frac{0,35}{1}}$$

= 1,6953394 gr/ml

= 105,84004 lb/cuft

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Bahan}}{\rho \text{ campuran}} = \frac{14065,81}{105,84004} = 132,89687 \text{ cuft/jam}$$

= 2,2149478 cuft/min

= 0,0369158 cuft/s

= 16,570468 gpm

Dari Badger, Tabel 16-6

untuk ρ = 105,84004 lb/cuft bahan termasuk kelas D

bahan aluminium sulfat powder, dengan faktor material (F = 1,4 - 1,8

dipilih F = 1,4

$$\text{Power Motor} = \frac{C.\ L.\ W.\ F}{33000} \quad \text{[Badger, Tabel 16-5]}$$

Dengan : C = Kapasitas ,cuft/min

L = panjang ,ft

W = densintas bahan ,lb/cuft

F = faktor bahan

Asumsi panjang belt :

L = 30 ft

$$\text{Power Motor} = \frac{C.\ L.\ W.\ F}{33000}$$

$$= \frac{2{,}2149478 \times 30 \times 105{,}84 \times 1{,}4}{33000}$$

= 0,3 hp

Untuk power < 2 hp, maka dikalikan 2, [Badger : 713]

0,3 x 2 = 0,5967 hp

$$\text{Efisiensi motor} = \frac{0{,}5967}{80\%}$$

= 0,7459 hp

Dari Badger, fig 16-20 untuk kapasitas = 132,89687 cuft/jam
digunakan ukuran :

Diameter : 10 in
Kecepatan putaran : 12 rpm

Spesifikasi :

Kapasitas	:	132,9	cuft/jam
Panjang	:	30	ft
Diameter	:	10	in
Kecepatan putaran	:	12	rpm
Power	:	0,7459	hp
Jumlah	:	1	buah

29. Shredder (Crushing)

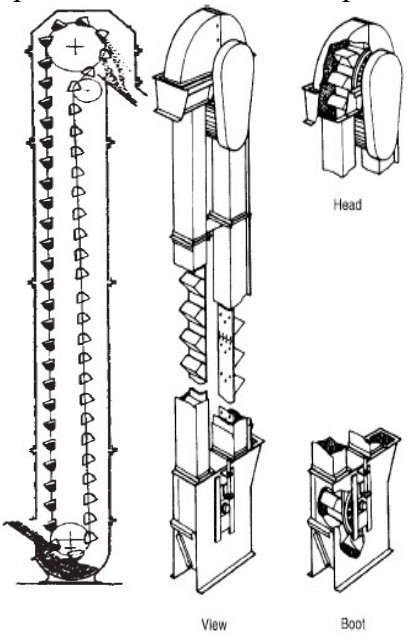
Fungsi : Memecah lempengan aluminium sulfat menjadi serpihan
Type : Signle Shaft Shredder
Dasar Pemilihan : Sesuai dengan fungsinya untuk memecah lempengan menjadi serpihan

Spesifikasi : (alibaba.com)

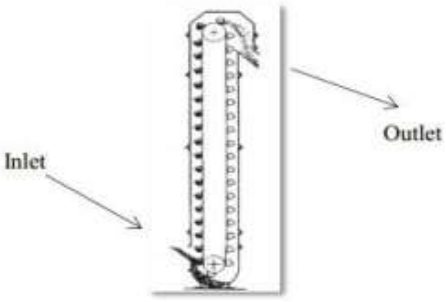
Putaran shaft	:	73 rpm
Jumlah pisau motor	:	33 buah
Jumlah pisau stator	:	6 buah
Diameter lubang saringa	:	40 mm
Power Motor	:	50 hp
Ukuran shredder		
Panjang	:	3 m
Lebar	:	2 m
Tinggi	:	2 m

30. Bucket Elevator

Fungsi : Memindahkan padatan $Al_2(SO_4)_3$ yang telah dihancurkan dari shredder ke Ball Mill untuk dihaluskan menjadi 200 mesh
Type : Continous Bucket Elevator.
Dasar pemilihan : Dapat memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu.



Kondisi Operasi
T = 30 °C
p = 1 atm



Perhitungan :

Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$. 10 H_2O	6313,1313	1	1,6544
	6313,1313		

(Data ρ dari Lange's 15 ed. T.32 pg. 3.14)

Rate massa = 6.313,1313 kg/jam
= 6,3131 ton/jam
ρ bahan = 103,28419 lb/cuft

Perry 7ed. T.21-9 pg.21-16

Tinggi Bucket = 25 ft
Putaran Head Shaft (Kepala) = 28 rpm
Kap. Maksimum = 35 ton/jam
Bucket linear speed = 150 ft/min
Sehingga, untuk kapasitas 6,3131 ton/jam maka :
Kecepatan Bucket Elevator : $\frac{6,3131}{35} \times 150$
= 27,056 ft/min
Power pada head shaft = 1,8 hp
Power Tambahan = 1,80 hp tiap ft
= 0,06 x 25
= 1,5 hp
Power Total = 1,8 + 1,5
= 3,3 hp
Ukuran bucket = lebar x Proyeksi x kedalaman
= 8" x 5.5" x 7.75"
Bucket Spacing = 8 in
Efisiensi motor = 80% (Peter fig 13.38)
Maka, motor penggerak yang digunakan = 3 / 80 %
= 4,125 hp

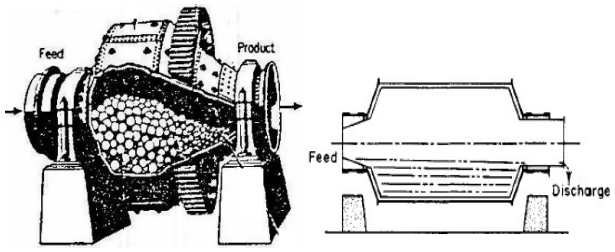
Spesifikasi Bucket Elevator:

Fungsi : Memindahkan padatan $Al_2(SO_4)_3$ yang telah dihancurkan dari shredder ke Ball Mill untuk dihaluskan menjadi 200 mesh
Type : Continous Bucket Elevator.
Dasar pemilihan : Dapat memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu.

Kapasitas	:	6,3131	ton/jam
Ukuran bucket	:	8 in x 5,5 in x 7,75 in	
Bucket spacing	:	8	in
Tinggi bucket	:	25,00	ft
Kecepatan bucket	:	27,1	ft/menit
Putaran head shaft	:	28	rpm
Lebar belt	:	8"	in
Power motor	:	4,125	hp
Jumlah	:	1	buah

31. Ball Mill

Fungsi : Menghaluskan produk sampai 200 mesh
Type : Ball Mill Grinding System, Mercy Ball Mill
Dasar pemilihan : Dipilih jenis ini karena sesuai dengan bahan dan kapasitas



Perhitungan :

Rate bahan = 6.313,131 kg/jam
= 6,313 ton/jam
= 151,515 ton/hari

Untuk produk berukuran 200 mesh denga 151,515 ton/hari

Berdasarkan rate massa (ton/hari), dari **Perry 7ed, tabel 20-16** di dapat :

Jenis Ball Mill = Marcy Ball Mills
Power = 135-150 hp dipilih 140 hp
No.Sieve = 200 mesh
Rate Maksimum = 113 ton/hari
Berat Bola Baja = 13,10 ton
Ball Mill Speed = 22,5 rpm

Ukuran Ball Mill:

Panjang Mill = 7 ft
Diameter Mill = 5,0 ft

Untuk Marcy ball mill, maka digunakan 3 ukuran bola baja :

5 & 3,5 & 2,5 in (Brown : fig 37)

Asumsi berat bola baja didistribusikan sama rata menjadi 3 bagian (berdasarkan 3 ukuran)

Jadi, berat bola baja masing-masing ukuran : $\frac{13,10}{3}$ = 4,37 ton

Diameter bola b = **5 in** = **0,125 m**

Jarir-jari bola ba = $\frac{0,125}{2}$ = 0,0625 m

Volume bola = (4/3) π R³ = 0,0010221 m³ = 1,0221 L

densitas bola (steel) = 4,8 gram/cm³ (Perry ed.7 Fig. 20-33)

= 4,8 kg/L

Berat(massa) Bola = 4,8 kg/L x 1,0221 L

= 4,906 kg

Berat total untuk baja ukuran 5 in = 4,37 ton

= 4366,7 kg

Jumlah baja ukuran 5 in = $\frac{4366,7}{4,906}$

= 890,021 Buah

Diameter bola baja 3,5 in = 0,0875 m

Jarir-jari bola baja = $\frac{0,0875}{2}$ = 0,0438 m

Volume bol = (4/3) π R³ = 0,000351 m³ = 0,3506 L

densitas bola (steel) = 4,8 gram/cm³ (Perry ed.7 Fig. 20-33)

= 4,8 kg/L

Berat(massa) Bola = 4,8 kg/lx 0,3506 L

= 1,683 kg

Berat total untuk baja ukuran 3,5 in = 4,37 ton

= 4366,7 kg

Jumlah baja ukura 3,5 in = $\frac{4366,7}{1,683}$

= 2594,814 Buah

Diameter bola baja 2,5 in = 0,0625 m

Jarir-jari bola baja = $\frac{0,0625}{2}$ = 0,03125 m

Volume bola = (4/3) π R³ = 0,0001278 m³ = 0,1278 L

densitas bola (steel) = 5 gram/cm³ (Perry ed.7 Fig. 20-33)

= 5 kg/L

Berat(massa) Bola = 4,8 kg/lx 0,1278 L

= 0,613 kg

Berat total untuk baja 2,5 in = 4,37 ton
= 4366,7 kg

Jumlah baja ukur 2,5 in = $\frac{4366,7}{0,613}$
= 7120,170 Buah

Perhitungan kecepatan kritis :

Nc = $76,6 / D^{0,5}$ (Perry 7ed, Fig. 20-32)

dimana : Nc = Kecepatan k ; rpm
D = Diameter m ; ft

$$Nc = \frac{76,6}{D^{0,5}}$$

$$= \frac{76,6}{5^{0,5}}$$

= 34,3 rpm

Kecepatan actual = 60 - 80% dari kecepatan kritis
ditetapkan : N = 60% Nc
= 60% x 34,3
= 21 rpm

Ditetapkan kecepatan actual = 21 rpm

Perhitungan power yang dibutuhkan :

Power = $D^{2,5}$ (Perry 7ed, Fig. 20-34)
= $5^{2,5}$
= 55,902 hp

Spesifikasi :

Kapasitas	=	151,52	ton/hari
Rate maksimum	=	200	ton/hari
Diameter mill	=	5	ft
Panjang mill	=	7	ft
Kecepatan putaran aktua	=	21	rpm
Power	=	56	hp
Bahan ball	=	carbon steel	
Bahan konstruksi	=	carbon steel c-283,	

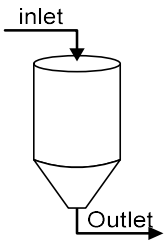
Bola Baja: Ball Charge = 113,00 ton
Ukuran bola baja = 5 & 3,5 & 2,5 in
Jumlah bola = 5 in = 890 buah
3,5 in = 2595 buah
2,5 in = 7120 buah

Jumlah = 1 buah

32. Silo Produk

Fungsi : Menampung sementara poduk, untuk kemudian diangkut ke packing

Type : Silinder dengan tutup bawah berbentuk conical dengan posisi vertical



Bahan Masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$. 10 H_2O	6313,1313	1	1,6544
	6313,1313		

(Data ρ dari Lange's 15 ed. T.32 pg. 3.14)

Rate bahan = 6.313,1313 kg/jam
= 6,3131 ton/jam
ρ bahan = 103,28419 lb/cuft

Asumsi : Waktu Tinggal = 8 jam

Rate Volumetrik = $\frac{\text{Rate bahan}}{\rho \text{ bahan}} = \frac{13918,119 \text{ lb/jam}}{103,28419 \text{ lb/cuft}}$
= 134,75556 cuft/jam
Volume Bahan = 134,75556 x 8
= 1078,0444 cuft

Volume bahan mengisi 80% volume tangki, sehingga volume tangki :

Volume Tangki = $\frac{1078,0444}{80\%}$ = 1347,5556 cuft

Penentuan dimensi silo :

Ditentukan :

α = sudut conis = 60 °
D = diameter tangki = ft
m = flat spot center = 12 in
= 1 ft

asumsi = H = 1 D
Volume tangki = 1/4 π D^2 H
1347,5556 = 0,785 x 1 x D^3
D^3 = 1716,6
Ds = 11,971 ft = 143,65 in
Hs = 11,971 ft = 143,65 in

Tinggi feed dalam tangki :

Volume feed = 1/4 π D² H

1078,0444 = 0,785 x 1 x D³

D³ = 1373,3

Ds = 11,113 ft = 133,35 in

Hs = 11,113 ft = 133,35 in

Menentukan Tebal Tutup Bawah, Conical

$$h = \frac{tg\ \alpha \times (D-m)}{2}$$ **(Hesse, hal 92)** **[Hesse, pers 4-17]**

Dimana :

D : Diameter bejana (ft)

tg α : Sudut conis 60°

m : 12 in = 1 ft (Hesse, hal 85)

$$h = \frac{tg\ 60 \times (11,971 - 1)}{2}$$

= 9,5006 ft

Volume conical = 0,262 h (D² + D.m + m²)

= 0,262 x 9,5006 x 156,26719

= 388,97302 cuft

(Hesse pers 14-8)

Bentuk : Standart conical dishead

Tinggi Tangki = Tinggi shell + Tinggi conical

= 11,971 + 9,5006

= 21,471 ft

Menentukan Tekanan Design :

P operasi = 1 atm = 14,7 psi

Pdesign = P operasi

= 14,7 psi

Asumsi P design 10% lebih besar untuk faktor keamanan

Pdesign = 110% x 14,7

= 16,17 psi

Digunakan bahan konstruksi yang terbuat dari Carbon Steel dengan spesifikasi SA 283 Grade C (Brownell, T 13-1)

f allowable = 12650

C = 0,125 in

Sambungan las dengan type double welded butt joint
Efisiensi las, E = 0,8

ri = 0,5 x 143,65 in
= 71,824 in

Rumus tebal shell yang digunakan adalah :

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fe - 0{,}6P} + C$$ (Brownell & Young pers. 13.1 hal 254)

$$t = \frac{16{,}17 \times 71{,}824}{12650 \times 0{,}8 - (0{,}6 \times 16{,}17)} + \frac{1}{8}$$

t = 0,2399 in
Diambil tebal shell : 4/16 in

***Penentuan tebal head :** (Brownell pg. 118 eq. 6-154)

Jenis : Conical
Type las : Single welded but joint tanpa backing up strip dengan efisiensi 70%

Tebal tutup

$$th = \frac{p.D}{2\cos\alpha\,(f.E - 0{,}6p)} + C$$

$$= \frac{16{,}17 \times 143{,}65}{2\cos 60\,(12650 \times 70\% - 0{,}6 \times 16{,}17)} + \frac{1}{8}$$

th = 0,3876 in digunakan 8/16 in

Spesifikasi silo :

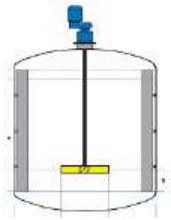
Fungsi : Menampung sementara poduk, untuk kemudian diangkut ke packing
Type : Silinder dengan tutup bawah berbentuk conical dengan posisi vertical

Kapasitas : 6313,1313 kg/jam
Diameter silinder : 11,971 ft
Tinggi silinder : 11,971 ft
Tebal shell : 4/16 in
Tinggi conical : 9,5006 ft
Cone angle : 60°
Tebal angel : 8/16 in
Jumlah : 1 buah

21. Tangki Penampung $BaSO_4$ Dari Thickener-2

Fungsi : Untuk menampung $BaSO_4$ sebagai produk samping dari Thickener 2

Type : Silinder tegak, tutup bawah dan tutup atas berbentuk elliptical dishead dilengkapi dengan pengaduk



Kondisi Operasi :

T = 30 °C

P = 1 atm

Waktu tinggal = 2 jam

Dimensi rasio, H/D : H = 2D

Perhitungan :

Komposisi Bahan :

Bahan masuk :

Komponen	Berat (kg/jam)	Fraksi (Xf)	ρ (gr/ml)
$Al_2(SO_4)_3$	10,39368341	0,0038509	2,71
$Al_2O_3 . 2H_2O$	145,8762584	0,0540482	3,99
Fe_2O_3	214,4424103	0,0794524	5,12
FeS	186,0450832	0,068931	4,84
SiO_2	354,0685884	0,1311849	2,65
TiO_2	35,40685884	0,0131185	3,84
$BaSO_4$	738,8949611	0,2737658	4,499
S	33,82637876	0,0125329	2,046
C	229,6871522	0,0851007	3,51
H_2O	27,64411271	0,0102423	1
Total	1976,28549	0,732227803	

Perhitungan :

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\Sigma \frac{fraksi\ berat}{\rho\ komponen}} \quad 1 \text{ gr/ml} = 62{,}43 \text{ lb/cuft}$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{0{,}0039}{2{,}71} + \frac{0{,}054}{3{,}99} + \frac{0{,}0795}{5{,}12} + \frac{0{,}0689}{4{,}84} + \frac{0{,}1312}{2{,}65} + \frac{0{,}0131}{3{,}84} + \frac{0{,}2738}{4{,}499} + \frac{0{,}0125}{2{,}046} + \frac{0{,}0851}{3{,}51} + \frac{0{,}0102}{1}}$$

= 5,0223383 gr/ml

= 313,54458 lb/cuft

Rate Bahan = 1976,28549 kg/jam = 4356,9783 lb/jam

Rate Volumetrik Bahan masuk = $\frac{\text{Rate Bahan}}{\rho \text{ campuran}}$ = 13,895881 cuft/jam = 0,3934875 m^3/jam

a. Perhitungan Volume Tangki

Densitas Bahan = 313,54458 lb/cuft

Rate Bahan = 1976,2855 kg/jam = 4356,9783 lb/jam

$$\text{Volumetrik Bahan} = \frac{\text{Rate Bahan}}{\rho \text{ campuran}} = \frac{4356,9783}{313,54458}$$

= 13,895881 cuft/jam

Direncanakan waktu operasi 2 jam dengan 1 buah tangki :

Volume bahan = 13,895881 x 2 = 27,791763 cuft

Volume bahan mengisi 80% volume tangki, sehingga volume tangki :

$$\text{Volume tangki} = \frac{27,791763}{80\%}$$

= 34,739703 cuft

Vs = $(\pi/4)$ x Ds^2 x Hs

= $(\pi/4)$ x Ds^2 x 2 Ds

= $(\pi/4)$ x $1Ds^3$

= 1,57 Ds^3

Vtutup atas = 0,000076 Ds^3 **(Brownell, hal 95)**

Vtutup bawah = 0,000076 Ds^3 **(Brownell, hal 95)**

Volume tangki = Vs + Vtutup atas + Vtutup bawah

34,739703 = 1,57 Ds^3 + 0,000076 Ds^3 + 0,000076 Ds^3

34,739703 = 1,570152 Ds^3

Ds = 2,81 ft = 33,688 in = 0,8557 m

Hs = 5,6 ft = 67,376 in = 1,7114 m

b. Tebal Shell

1. Menentukan Tinggi liquid dalam shell :

Volume liquid = Vs + Vtutup bawah

27,791763 = $(\pi/4)$ x Ds^2 x Hs + 0,000076 Ds^3

27,791763 = 0,785 x h x 8 + 0,000076 x 22,13

h = 4,4919 ft = 1,3691 m

2. Menentukan Tekanan Design :

Jika didalam bejana terdapat liquid, maka:

P design = Po - Pi + Phidrostatis

P design = 14,7 - 14,7 + Phidrostatis

P design = Phidrostatis

P design = ρ x g/gc x hliq

$$= 313,54458 \frac{\text{lbm}}{\text{cuft}} \times 1 \frac{\text{lbf}}{\text{lbm}} \times 4,4919 \text{ ft}$$

= 1408,4124 lbf/ft²
= 9,7806 psi

Asumsi Pdesign 10% lebih besar untuk faktor keamanan
Pdesign = 110% x 9,7806
= 10,759 psi
Dipergunakan bahan konstruksi yang terbuat dari Carbon Steel dengan spesifikasi SA-283 Grade C **(Brownell, T 13-1)**
Fallowable = 12650
C = 0,125 in
Sambungan las dengan type double welded butt joint
Efisiensi lass, e = 0,8
ri = 0,5 x 33,688
= 16,844 in
Rumus tebal sehll yang digunakan adalah :

$$tmin = \frac{P \times ri}{fe - 0{,}6P} + C$$ **(Brownell & Young pers 13.1 hal 254)**

$$t = \frac{10{,}759 \times 16{,}844}{(12650 \times 0{,}8) - (0{,}6 \times 10{,}759)} + \frac{1}{8}$$

t = 0,1429 in
Diambil tebal shell : 3/16 in

3. Menentukan Tebal tutup atas, Eliptical
Tutup atas berbentuk eliptical head
Tinggi tutup (h) = $\frac{1}{4}$ x IDs **(Hesse, hal 92)**
h = 0,25 x 2,81
h = 0,7018 ft
Volume dishead = πD³/24
= 5002,033 in³ = 17,097 in
= 1,4248 ft
= 2,8947 cuft
Bentuk : Eliptical head
Tebal standart elliptical dishead (atas) :

$$t = \frac{P \times Di}{2 f e - 0{,}2P} + C$$ **(Brownell & Young pers 13.10 hal 256)**

Dimana :
P = tekanan design (psi)
Di = Diameter dalam (in)
e = faktor pengelasan, e = 0,8
t = tebal dinding minimal (in)

$$t = \frac{10,759 \times 33,688}{(2 \times 12650 \times 0,8) - (0,2 \times 10,759)} + \frac{1}{8}$$

t = 0,142909 in

Diambil tebal head : 3/16 in

Asumsi : Tebal tutup atas = tutup bawah = 3/16 in

c. Sistem Pengaduk

Jumlah baffle = 4 buah

Jumlah impeller (pengaduk) antara 4-16, tetapi umumnya 6 atau 8 (Mc.Cabbe 5ed pg.243)

Dipilih pengaduk type flate blade turbine dengan jumlah blade 6

1. Penentuan Diameter Pengaduk

Tinggi bahan total Htotal = 4,4919 ft = 53,903 in

Diameter dalam tangki Dt = 2,81 ft = 33,688 in

Ukuran pengaduk diambil dari Mc. Cabe ed 5th, hal 243

$\frac{Da}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{E}{Dt} = \frac{1}{3}$

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

$\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$

Keterangan :

Da = Diameter impeller (pengaduk)

Dt = Diameter tangki

L = Panjang blade

W = Lebar blade

E = Jarak Impeller (pengaduk) dari dasar tangki

J = Lebar baffle

Diameter impeller (Da) = 1/3 Dt = $\frac{1}{3} \times 2,8$

= 0,9358 ft

Lebar blade (W) = 1/5 Da = $\frac{1}{5} \times 0,9358$

= 0,1872 ft

Panjang blade (L) = 1/4 Da = $\frac{1}{4} \times 0,9358$

= 0,2339 ft

Jarak impeller dari dasar (E) 1/3 Dt = $\frac{1}{3}$ x 2,8

= 0,9358 ft

Lebar baffle (J) = 1/12 Dt = $\frac{1}{12}$ x 2,8

0,2339 ft

2. Penentuan Jumlah Pengaduk

Tinggi bahan total Htotal = 4,4919 ft

Diameter dalam tangki Dt = 2,81 ft

sg = $\frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference } (H_2O)}$

= $\frac{313,5445794 \text{ lb/cuft}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$

= 5,0223

Jumlah impeller = $\frac{\text{tinggi bahan}}{\text{diameter tangki}}$ x sg

= $\frac{4,4919}{2,8}$ x 5,0223

= 8,036033 ≈ 8

Jadi jumlah impeler sebanyak 2 buah

3. Penentuan Power Motor

Dari Kern T.6 pg. 808 didapat sg referenc = 1

Dari Kern fig. 14 pg.823 didapat reference = 0,00085 lb/ft.s

μ bahan = $\frac{\text{sg bahan x μ reference}}{\text{sg reference}}$

= $\frac{5,0223 \text{ x } 0,00085}{1}$

= 0,0043 lb/ft.s

ρ campuran = 313,54458 lb/cuft

Dari Joshi hal 415 didapat, kecepatan putaran pengadukan jenis turbin antara 200-250 m/min

Ditetapkan kecepatan pengaduk , (N) = 220 rpm = 3,7 rps

Putaran pengaduk, (V) = π x N x Da **(Joshi; hal 415)**

= π x 220 x (1 x 0,3048)

= 207,24 m/min (memenuhi)

Bilangan Reynolds (Nre)

$$N_{Re} = \frac{\rho \times Da^2 \times N}{\mu}$$

$$= \frac{313{,}545 \times 10{,}8900 \times 4}{0{,}0043}$$

$$= 2.932.741{,}059 \quad \text{(aliran turbulen)}$$

Perhitungan power pengaduk yang dibutuhkan :

Diperoleh nilai N_{Re} > 10000, sehingga Np = K_T

K_T = Np = 6,300 **[Ludwig, vol-1 T.5-1, hal 301]**

$$P = \frac{K_3 N^3 Da^5 \rho}{g_c}$$ **(McCabe 5ed., tabel 9.2, hal.254)**

$$= \frac{6{,}300 \times 2^3 \times 1{,}000^5 \times 313{,}545}{32{,}2}$$

= 251,475 ft.lbf /s

= 0,4572 Hp

Power Losses pada Gland 10% hp = 0,10 x 0,457 **(Joshi : 424)**

= 0,0457 Hp

Diambil power = 0,500 hp

Power input dengan gland losses = 0,4572 + 0,0457

= 0,5029 Hp

Trans. System loss 20 % = 0,20 x 0,5029

= 0,1006 Hp

Power Total = 0,503 + 0,1006

= 0,6035 Hp

Jumlah pengaduk 3,maka = 2 x 0,6035

= 1,2071 hp

Efisiensi motor = 85%

Sehingga power motor = $\frac{1{,}2071}{0{,}850}$

= 1,42 Hp ≈ 1 Hp

Spesifikasi Tangki Penampung $BaSO_4$ Dari Thickener 2 :

Dimensi Shell :

Diameter shell, inside	:	2,81	ft
Tinggi shell	:	5,61	ft
Tebal Shell	:	3/16	in
Tebal tutup atas (elliptical dishead)	:	3/16	in
Tebal tutup bawah (elliptical dishead)	:	3/16	in

Sistem Pengaduk

Dipakai impeler jenis turbin dengan 6 buah flat blade dengan 2 impeller

Diameter impeller	:	0,9358	ft
Panjang Blade	:	0,2339	ft
Lebar Blade	:	0,1872	ft
Power Motor	:	1	hp
Bahan Konstruksi	Carbon steel SA-283 grade C (Brownell : 253)		
Jumlah Tangki	1 buah		

APPENDIX D
ANALISA EKONOMI

Kapasitas Produksi	=	50.000	ton/tahun
	=	6.313,1313	kg/jam
Waktu operasi	=	330	hari
Dengan bahan baku :			
Bauksit ($Al(OH)_3$)	=	#REF!	kg/jam
Asam Sulfat (H_2SO_4)	=	0,0000	kg/jam
Dengan Bahan Pembantu, berupa			
BaS	=	0,0000	kg/jam
Produk yang dihasilkan :			
Aluminium Sulfat $Al_2(SO_4)_3$	=	6.313,1313	kg/jam

Analisa ekonomi di dalam suatu perencanaan pabrik adalah sangat penting, karena perhitungan ekonomi ini dapat diketahui apakah pabrik yang direncanakan ini layak untuk didirikan atau tidak dalam artian feasible (memenuhi). Faktor-faktor yang perlu untuk ditinjau antara lain:

1. Laju pengembalian modal (*Return on Invesment*)
2. Lama pengembalian modal (*Pay Back Periode*)
3. Titik impas (*Break Event Point*)

Untuk meninjau faktor-faktor diatas, perlu adanya penaksiran terhadap beberapa faktor, yaitu:

1. Penaksiran modal industri (*Total Capital Investment*) yang terdiri atas:
   a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*)
   b. Modal kerja (*Working Capital Investment*)
2. Penentuan biaya produksi total (*Production Cost*) yang terdiri atas:
   a. Biaya pembuatan (*Manufacturing Cost*)
   b. Biaya pengeluaran umum (*General Expenses*)
3. Total pendapatan

1. Harga Peralatan

Harga peralatan berubah menurut waktu resmi sesuai dengan kondisi ekonomi dunia. Untuk memperkirakan harga peralatan saat ini, digunakan indeks seperti pada persamaan sebagai berikut :

$$Cp = \frac{Ip}{Io} \times Co$$

Dimana :

Cp = Harga alat pada tahun 2020
Co = Harga alat pada tahun data 2014
Ip = Cost Index pada tahun 2020
Io = Cost Index pada tahun data 2014

Perhitungan peralatan didasarkan pada cost equipment www.matche.com. Sedangkan Cost indeks didasarkan pada 'Peters and Timmerhauss 5ed Plant Design and Economic for Chemical Engineering'

Tabel D.1 Indeks harga Peralatan

Tahun	Indeks
2010	551
2011	586
2012	585
2013	567
2014	576
2015	557
2016	542
2017	562
2018	567
2019	608
2020	604

sumber: CEPCI tahun 2020 annual index

Dengan metode least square dan data-data pada tabel di atas dilakukan pendekatan atau penafsiran indeks harga peralatan pada awal tahun dimana data-data tersebut dibentuk dalam persamaan :

$$Y = a + bX$$

keterangan :

Y = indeks harga peralatan pada tahun ke-n
X = tahun ke-n

n	X	Y	X^2	Y^2	XY
1	2010	551	4.040.100	303.381	1.107.108
2	2011	586	4.044.121	343.044	1.177.843
3	2012	585	4.048.144	341.757	1.176.215
4	2013	567	4.052.169	321.829	1.141.975
5	2014	576	4.056.196	331.891	1.160.265
6	2015	557	4.060.225	310.026	1.121.952
7	2016	542	4.064.256	293.439	1.092.067
8	2017	562	4.068.289	315.956	1.133.756
9	2018	567	4.072.324	321.262	1.143.802
10	2019	608	4.076.361	369.664	1.227.552
11	2020	604	4.080.400	364.816	1.220.080
Total	22165	6304	44.662.585	3.617.067	12.702.616

Jumlah data = n = 11

Dengan menggunakan metode Least Square Pers 17-21, Peters, diperoleh:

$$\sum(\bar{x}-x)^2 = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} = 110$$

$$\sum(\bar{y}-y)^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} = 4.416{,}1$$

Pers 17-20, Peters & Timmerhauss

$$\sum(\bar{x}-x)(\bar{y}-y) = \sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n} = 257$$

$$b = \frac{\sum(\bar{x}-x)(\bar{y}-y)}{\sum(\bar{x}-x)^2} = 2{,}34$$

Rata-rata y = Sy / 11 = a = 573,08

Rata-rata x = Sx /11 = c = 2015

y = a + b (x-c)

= 573,08182 + 2,34 (x - 2015)

= 573,08182 + 2,34 x - 4707,8

= -4134,7 + 2,34 x

Dari persamaan di atas diperoleh indeks harga pada tahun 2021 sebesar

y = -4134,690909 + 2,34 x (2021)

= 587,1000

Kurs Dollar pada tahun 2021 (US $)1 = Rp 14.440

Contoh perhitungan harga peralatan http://www.kursdollar.net

1. Screw conveyor - 1

Panjang : 37 ft

Diameter : 25 in

Indeks harga tahun 2014 = 576 (US $)
Indeks harga tahun 2021 = 587,10 (US $)
Harga alat pada tahun 2014 = 3500 (US $) http://matche.com/equipcost
Harga alat pada tahun 2021 = $\frac{587,100}{576,1}$ x 3500
= 3566,83 (US $)

Tabel D.2 Harga Peralatan Proses

No	Nama Alat	Harga Unit (US $)		Jumlah Alat	Harga (US $)
		2014	2021		
1	Belt Conveyor 1	24.300	24.764	1	24.764
2	Ball Mill 1	80.000	81.528	1	81.528
3	Belt Conveyor 2	24.300	24.764	1	24.764
4	Bucket Elevator	10.800	11.006	1	11.006
5	Hopper BaS	21.400	21.809	1	21.809
6	Tangki Penyimpanan H_2SO_4 98%	48.500	49.426	1	49.426
7	Tangki Pengenceran H_2SO_4	20.000	20.382	1	20.382
8	Pompa 1	5.100	5.197	1	5.197
9	Pompa 2	5.100	5.197	1	5.197
10	Reaktor 1	69.900	71.235	1	71.235
11	Pompa 3	5.100	5.197	1	5.197
12	Hopper BaS	2.300	2.344	1	2.344
13	Reaktor 2	73.100	74.496	1	74.496
14	Pompa 4	5.100	5.197	1	5.197
15	Tangki Penampungan 1	40.000	40.764	1	40.764
16	Pompa 5	5.100	5.197	1	5.197
17	Thickener 1	20.000	20.382	1	20.382
18	Pompa 6	6.300	6.420	1	6.420
19	Thickener 2	20.000	20.382	1	20.382
20	Tangki Penampungan 2	40.000	40.764	1	40.764
21	Tangki Penampung $BaSO_4$	40.000	40.764	1	40.764

22	Pompa 7	5.100	5.197	1	5.197
23	Evaporator	61.300	62.470	1	62.470
24	Baromatic Condensor	36.000	36.687	1	36.687
25	Steel Belt Cooler	25.000	25.477	1	25.477
26	Sheredder	25.000	25.477	1	25.477
27	Ball Mill	80.000	81.528	1	81.528
28	Bucket Elevator	10.800	11.006	1	11.006
29	Belt Conveyor	24.300	24.764	1	24.764
30	Steam Jet Ejector	1.500	1.529	1	1.529
31	Hot Well	20.000	20.382	1	20.382
32	Silo Produk	18.500	18.853	1	18.853
TOTAL					890.586

Tabel D.3 Harga Peralatan Utilitas

No	Nama Alat	Harga Unit (US $)		Jumlah Alat	Harga (US $)
		2014	2021		
1	Pompa Bak Penampung Air Sungai	13.400	13.656	1	13.656
2	Pompa Koagulasi	13.400	13.656	1	13.656
3	Tangki Koagulasi	26.200	26.700	1	26.700
4	Tangki Flokulasi	33.000	33.630	1	33.630
5	Pompa Tangki Flokulasi	13.400	13.656	1	13.656
6	Clarifier	8.500	8.662	1	8.662
7	Pompa clarifier	13.400	13.656	1	13.656
8	Bak Penampung Flok	2.500	2.548	1	2.548
9	Bak Air Bersih	8.200	8.357	1	8.357
10	Pompa Cooling Tower	13.000	13.248	1	13.248
11	Sand Filter	10.700	10.904	1	10.904
12	Pompa Sand Filter	6.300	6.420	1	6.420
13	Bak Penampung Air Bersih	7.900	8.051	1	8.051
14	Pompa ke bak sanitasi	3.200	3.261	1	3.261
15	Pompa bak air pendingin	13.000	13.248	1	13.248
16	Bak Penampung Air Sanitasi	1.500	1.529	1	1.529
17	Bak Air Pendingin	6.500	6.624	1	6.624
18	Tangki Kation Exchanger	18.500	18.853	1	18.853
19	Pompa Tangki Kation Exchanger	3.200	3.261	1	3.261
20	Tangki Anion Exchanger	17.300	17.630	1	17.630
21	Pompa Tangki Anion Exchanger	3.200	3.261	1	3.261
22	Bak Penampung Air Umpan Boiler	6.300	6.420	1	6.420
23	Boiler	85.000	86.623	1	86.623
24	Generator Set	70.000	71.337	1	71.337
25	Cooling Tower	59.700	60.840	1	60.840
26	Tangki Penyimpan Bahan Bakar	12.400	12.637	1	12.637
TOTAL					478.668

Total harga peralatan = Harga peralatan proses + Harga peralatan utilitas
= $ 890.586 + $ 478.668
= $ 1.369.255 1 $ = Rp 14.264,06
= **Rp 19.531.129.397**

II. Harga Bahan Baku

1. Asam Sulfat (H_2SO_4)

Harga	=	Rp 9.000	per kg
Kebutuhan per jam	=	3.964,0288	Kg/jam
Biaya per tahun (330 hari)	=	Rp 282.555.970.120	per tahun

2. Bauksit				
Harga	=	Rp	10.412,80	per kg
Kebutuhan per jam	=		2.950,5716	kg/jam
Biaya per tahun (330 hari)	=	Rp	243.331.796.226	per tahun
3. BaS				
Harga	=	Rp	4.500,00	per kg
Kebutuhan per jam	=		765,6238	kg/jam
Biaya per tahun (330 hari)	=	Rp	27.286.833.686	per tahun
Total biaya bahan baku per tahun	=	Rp	553.174.600.032	

III. Harga Jual Produk

Aluminium Sulfat

Produk yang dihasilkan	=		50.000	Ton/tahun
	=		50.000.000	kg/tahun
Harga produk yang dihasilkan	=	Rp	15.000	/kg
Harga produk per tahun	=	Rp	750.000.000.000	per tahun

$BaSO_4$

Produk yang dihasilkan	=		1.976	kg/Jam
Harga produk yang dihasilkan	=	Rp	15.000,00	/kg
Harga produk per tahun	=	Rp	234.782.715.906	per tahun
Total Harga Jual Produk	**=**	**Rp**	**984.782.715.906**	**per tahun**

IV. Biaya Pengemasan

Produk Aluminium Sulfat

Produk yang dihasilkan	=		50.000.000,0000	Kg/tahun
Produk dikemas dalam bag	=		50	Kg
Kebutuhan bag per tahun	=		1.000.000	buah
Harga 1 bag	=	Rp	1.500	
Biaya pengemasan per tahun	=	Rp	1.500.000.000	
Biaya pendukung (10%)	=	Rp	150.000.000	
Total biaya pengemasan produk	**=**	**Rp**	**1.650.000.000**	

Produk $BaSO_4$

Produk yang dihasilkan	=		1.976,2855	Kg/Jam
Produk dikemas dalam bag	=		1	Kg
Kebutuhan bag per tahun	=		1.976	buah
Harga 1 bag	=	Rp	1.500	
Biaya pengemasan per tahun	=	Rp	2.964.428	
Biaya pendukung (10%)	=	Rp	296.443	
Total biaya pengemasan produk	**=**	**Rp**	**3.260.871**	
Total seluruh biaya pengemasan produk	**=**	**Rp**	**1.653.260.871**	

V. Gaji Karyawan

Jabatan	Gaji/orang/bulan	Jumlah	Gaji/bulan
Direktur Utama	Rp 40.000.000	1	Rp 40.000.000
Staff Ahli	Rp 18.000.000	2	Rp 36.000.000
Direktur Admin. & Keuangan	Rp 25.000.000	1	Rp 25.000.000
Direktur Teknik & Proses	Rp 25.000.000	1	Rp 25.000.000
Kepala Bagian Keuangan	Rp 10.000.000	1	Rp 10.000.000
Kepala Bagian Pemasaran	Rp 10.000.000	1	Rp 10.000.000
Kepala Bagian Umum	Rp 10.000.000	1	Rp 10.000.000
Kepala Bagian Produksi	Rp 10.000.000	1	Rp 10.000.000
Kepala Bagian Teknik	Rp 10.000.000	1	Rp 10.000.000
Kepala Seksi Pembelian	Rp 7.000.000	1	Rp 7.000.000
Kepala Seksi Anggaran	Rp 7.000.000	1	Rp 7.000.000
Kepala Seksi Gudang	Rp 7.000.000	1	Rp 7.000.000
Kepala Seksi Pemasaran & Penjualan	Rp 7.000.000	1	Rp 7.000.000
Kepala Seksi Keamanan	Rp 7.000.000	1	Rp 7.000.000
Kepala Seksi Administrasi	Rp 7.000.000	1	Rp 7.000.000
Kepala Seksi Personalia	Rp 7.000.000	1	Rp 7.000.000
Kepala Seksi Produksi & Proses	Rp 7.000.000	1	Rp 7.000.000
Kepala Seksi Riset & Pengembangan	Rp 7.000.000	1	Rp 7.000.000
Kepala Seksi Utilitas & Tenaga	Rp 7.000.000	1	Rp 7.000.000
Kepala Seksi Pemeliharaan & Perbaikan	Rp 7.000.000	1	Rp 7.000.000
Sekretaris Direktur	Rp 6.000.000	2	Rp 12.000.000
Karyawan Pembelian	Rp 5.000.000	3	Rp 15.000.000
Karyawan Laboratorium	Rp 5.000.000	3	Rp 15.000.000
Karyawan Gudang	Rp 4.300.000	5	Rp 21.500.000
Karyawan Pemasaran	Rp 4.300.000	5	Rp 21.500.000
Karyawan Keamanan	Rp 4.300.000	5	Rp 21.500.000
Karyawan Administrasi	Rp 5.000.000	3	Rp 15.000.000
Karyawan Personalia	Rp 5.000.000	5	Rp 25.000.000
Karyawan Produksi & Proses	Rp 6.000.000	30	Rp 180.000.000
Karyawan Riset & Pengembangan	Rp 5.000.000	6	Rp 30.000.000
Karyawan Utilitas	Rp 5.500.000	7	Rp 38.500.000
Karyawan Pemeliharaan	Rp 5.000.000	6	Rp 30.000.000
Karyawan Quality Control	Rp 5.000.000	6	Rp 30.000.000
Karyawan K3	Rp 5.000.000	6	Rp 30.000.000
Dokter	Rp 8.000.000	2	Rp 16.000.000
Perawat	Rp 4.800.000	3	Rp 14.400.000
Sopir	Rp 4.300.000	5	Rp 21.500.000
Office Boy	Rp 4.300.000	4	Rp 17.200.000
Petugas Kebersihan	Rp 4.300.000	10	Rp 43.000.000

Satpam	Rp 4.300.000	8	Rp	34.400.000
Jumlah		145	Rp	884.500.000

VI. Biaya Utilitas

a. Kebutuhan Air

1. Air Sanitasi

Kebutuhan per hari = 42,13 m^3/hari
Harga air mengolah sendiri = Rp 1.500 /m^3
Biaya pengolahan per tahun = Rp 20.854.350

2. Air Umpan Boiler

Kebutuhan air umpan boiler = 59,6134 m^3/hari
H. air boiler mengolah sendiri = Rp 1.500 /m^3
Biaya pengolahan per tahun = Rp 29.508.637

3. Air Pendingin

Kebutuhan air pendingin = 21.041,3969 m^3/hari
Harga air pendingin = Rp 1.000 /m^3
Biaya pengolahan per tahun = Rp 6.943.660.992

4. Air Proses

kebutuhan air proses = 35,0246 m^3/hari
harga air mengolah sendiri = Rp 1.500 /m^3
biaya pengolahan per tahun = Rp 17.337.155

b. Kebutuhan Penunjang Pengolahan Air

Kebutuhan $Al_2(SO_4)_3$ = 162.699,1341 kg/tahun
Harga $Al_2(SO_4)_3$ = Rp 15.000 /kg (alibaba.com)
Biaya $Al_2(SO_4)_3$ per tahun = Rp 1.301.593.073

Kebutuhan PAC = 12.203,7760 kg/tahun
Harga PAC = Rp 12.500 /kg (alibaba.com)
Biaya PAC per tahun = Rp 152.547.200

Kebutuhan resin kation = 24.491,5900 kg/tahun
Harga resin dowex = Rp 12.500 /kg (alibaba.com)
Biaya Dowex per tahun = Rp 306.144.875

Kebutuhan resin anion = 38.941,6280 kg/tahun
Harga resin dowex = Rp 27.320 /kg (alibaba.com)

Biaya APS per tahun	=	Rp	42.555.411	
Kebutuhan HCl 33%	=		3.811,7987	L/tahun
Harga HCl	=	Rp	20.000	/l (alibaba.com)
Biaya HCl per tahun	=	Rp	76.235.974	
Kebutuhan NaOH	=		1.469,4954	kg/tahun
Harga NaOH	=	Rp	25.000	/kg (PT. Miwon)
Biaya NaOH per tahun	=	Rp	36.737.385	

c. Kebutuhan Bahan Bakar (*fuel oil*)

Kebutuhan bahan bakar	=		266,7382	liter/jam
	=		2.112.566,5852	liter/tahun
Harga bahan bakar	=	Rp	14.000	/liter (solarindustrisurabaya.com)
Biaya bahan bakar per tahun	=	Rp	29.575.932.193	

d. Kebutuhan Listrik

Kebutuhan listrik	=		50,3452	kWh/jam
	=		398.734,2971	kWh/tahun
Harga listrik	=	Rp	1.445	/kWh (PLN per 2022)
Biaya listrik per tahun	=	Rp	576.051.439	

Total biaya utilitas per tahun = Rp 30.307.512.402

VII. Harga Tanah dan Bangunan

Luas tanah	=		20.000	m^2
Harga tanah per m^2	=	Rp	2500000	(urbanindo.com)
Harga tanah total	=	Rp	50.000.000.000,00	
Luas bangunan pabrik	=		5.675	m^2
Harga bangunan pabrik per m^2	=	Rp	2.250.000	(urbanindo.com)
Harga bangunan pabrik total	=	Rp	12.768.750.000	
Luas bangunan gedung	=		1.385	m^2
Harga bangunan gedung per m^2	=	Rp	2.250.000	(urbanindo.com)
Harga bangunan gedung total	=	Rp	3.116.250.000	
Harga bangunan total	=	Rp	15.885.000.000	
Total harga tanah dan bangunan	=	**Rp**	**65.885.000.000**	