APPENDIX A
PERHITUNGAN NERACA MASSA

Kapasitas Pabrik : 450000 ton/tahun
Waktu Operasi : 1 Tahun = 330 hari
1 hari = 24 jam

$$\text{Kapasitas Pabrik} : \frac{450000 \text{ ton/tahun} \times 1000 \text{ kg/ton}}{330 \text{ hari/tahun} \times 24 \text{ jam/hari}} = 56.818 \text{ kg/jam}$$

Berat Molekul

Komponen	BM	Komponen	BM
NaCl	58,5	SO3	80
H2SO4	98	MgSO4	120
HCl	36,5	Na2CO3	106
Na2SO4	142	H2O	18
CaSO4	136	Na2SO4.10H2O	322

Komposisi Bahan Baku :

A. Garam (NaCl) Dari PT. Garam

Komponen	Berat (Kg)	% Berat
NaCl	21.353,48	95,80%
CaSO4	22,29	0,10%
MgSO4	66,87	0,30%
H2O	847,01	3,80%
Total	22.289,65	100%

B. Sulfuric Acid (Petrokimia Gresik)

Komponen	Berat (Kg)	% Berat
H2SO4	19.027,47	98,00%
H2O	388,32	2,00%
Total	19.415,79	100%

Basis Salt Cake = 25.398 kg/jam
Konversi = 98% NaCl

$$\text{Mol Na2SO4} = \frac{25398 \text{ Kg/jam}}{142 \text{ kg/kmol}} = 178,9 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{Mol NaCl mula2} = \frac{178,9}{98\%} \text{ kmol/jam} \times 2 = 365 \text{ kmol/jam}$$

Perbandingan Mol NaCl : H2SO4 = 1,88 : 1 (Keyes : 472)

$$\text{Mol H2SO4 mula2} = \frac{365,0}{1,88} \text{ kmol/jam} = 194,2 \text{ kmol/jam}$$

$$2NaCl_{(s)} + H_2SO_{4(aq)} \longrightarrow Na_2SO_{4(aq)} + 2HCl_{(g)}$$

	$2NaCl_{(s)}$	$H_2SO_{4(aq)}$	$Na_2SO_{4(aq)}$	$2HCl_{(g)}$
M :	365	194,2	-	-
R :	357,7	178,9	178,9	357,7
S :	7,3	15,30	178,9	357,7

Massa NaCl awal	=	365	x	58,5	=	21.353,48	kg/jam
Massa H2SO4 awal	=	194,2	x	98	=	19.027,47	kg/jam
Massa NaCl sisa	=	7,3	x	58,5	=	427,07	kg/jam
Massa H2SO4 sisa	=	15	x	98	=	1.499,36	kg/jam
Massa HCl	=	357,7	x	36,5	=	13.056,65	kg/jam
Massa Na2SO4	=	178,9	x	142	=	25.397,87	kg/jam

1. Tangki Pengencer H2SO4

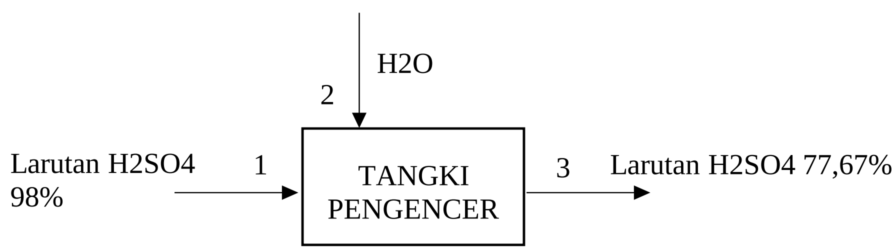
H_2SO_4 yang digunakan 60°Be (Keyes) = 77,67%

sedangkan yang tersedia di pabrik = 98%

Fungsi : Mengencerkan Larutan Asam Sulfat 98% menjadi 77,67%

Kondisi Operasi : Temperatur = 30°C

Tekanan = 1 atm



Total H2SO4 Keluar = 24498 kg/jam

Komponen	**Berat (Kg)**	**% Berat**
H2SO4	19027,47	77,67%
H2O	5470,37	22,33%
Total	24497,84	100,00%

Neraca Massa Total :

F1 + F2 = F3

F1 + F2 = 24498 Kg/jam (Pers.1)

Neraca Massa Komponen :

F1.X1 + F2.X2 = F3.X3

F1 (0,98) + F2 (0) = 24498 (77,67%)

F1 = 19416 kg/jam

substitusi F1 ke Pers. 1

F1 + F2 = 24498 Kg/jam

19416 + F2 = 24498 Kg/jam

F2 = 5082 kg/jam

Pada Aliran 1 :
Massa H2SO4 = 98% x 19416 = 19027 kg/jam
Massa H2O = 2% x 19416 = 388,3 kg/jam
Pada Aliran 2 :
Massa H2O = 5082 kg/jam

Pada Aliran 3 :
Massa H2SO4 = 77,67% x 24498 kg/jam = 19027 kg/jam
Massa H2O = 22,33% x 24498 kg/jam = 5470 kg/jam

Komponen Masuk (Kg/jam)		Komponen Keluar (Kg/jam)	
H2SO4 Feed	19027,47	H2SO4 Larutan	19027,47
H2O Feed	388,32	H2O Larutan	5470,37
	19415,79		24497,84
Penambahan Air Proses			
H2O	5082,05		
Total	24497,84		24497,84

2. MANHEIM FURNACE
Fungsi : Mereaksikan NaCl dengan H2SO4 membentuk HCl dan Na2SO4
Kondisi Operasi : Tekanan = 1 atm
Suhu Operasi = 843°C (Keyes: 472)

Basis Salt Cake = 25.398 kg/jam
konversi = 98%
Mol Na2SO4 = $\frac{25398 \text{ Kg/jam}}{142 \text{ kg/kmol}}$ = 178,9 kmol/jam
Mol NaCl mula2 = $\frac{178,86 \text{ kmol/jam}}{0,98}$ x 2 = 365 kmol/jam
Perbandingan Mol NaCl : H2SO4 = 1,88 : 1 (Keyes : 472)
Mol H2SO4 mula2 = $\frac{365}{1,88}$ kmol/jam = 194,2 kmol/jam

	$2NaCl_{(s)}$	+	$H_2SO_{4(aq)}$	$\longrightarrow$	$Na_2SO_{4(aq)}$	+	$2HCl_{(g)}$
M :	365		194,2		-		-
R :	357,7		178,9		178,9		357,7
S :	7,3		15,30		178,9		357,7

Massa NaCl awal	=	365	x	58,5	=	21.353	kg/jam
Massa H2SO4 awal	=	194,2	x	98	=	19.027	kg/jam
Massa NaCl sisa	=	7,3	x	58,5	=	427,1	kg/jam
Massa H2SO4 sisa	=	15,30	x	98	=	1499	kg/jam
Massa HCl	=	357,7	x	36,5	=	13057	kg/jam
Massa Na2SO4	=	178,9	x	142	=	25398	kg/jam

Berdasarkan tititk didih komponen, H_2SO_4 terdekomposisi pada suhu 340°C

Massa H_2SO_4 yang terdekomposisi = 1499 kg/jam

mol H2SO4 yang terdekomposisi = 15,30 kmol/jam

Reaksi Terdekomposisi

	$H_2SO_{4(aq)}$ $\longrightarrow$	$SO_{3(g)}$ +	$H_2O_{(g)}$
M :	15,30		
R :	15,30	15,30	15,30
S :	0	15,30	15,30

Massa SO3 = 15,30 Kmol/jam x 80 kg/kmol = 1.224 kg/jam

Massa H2O = 15,30 kmol/jam x 18 kg/kmol = 275,4 kg/jam

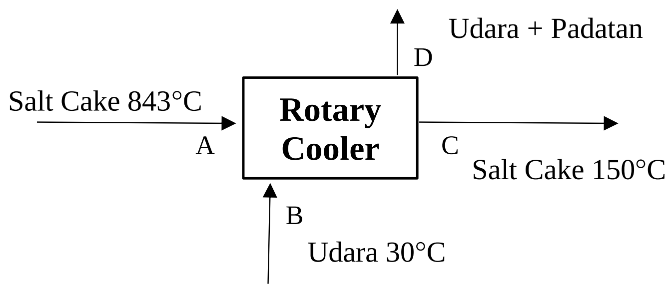
Total H2O = H2O pada garam + H2O pada H2SO4 terdekomposisi
+ H2O pada H2SO4 77,67%
= 847,0 + 275,4 + 5470
= 6593 kg/jam

Neraca Massa :

Komponen Masuk (Kg/jam)		Komponen Keluar (Kg/jam)	
Garam dari Silo		Campuran Gas Ke Coke Tower	
NaCl	21.353	HCL	13.057
CaSO4	22	SO3	1.224
MgSO4	67	H2O	6.593
H2O	847		20.873
	22.290		
Dari Tangki Pengencer		Na2SO4 ke Rotary Cooler	
H2SO4	19.027	Na2SO4	25.398
H2O	5.470	NaCl	427
	24.498	CaSO4	22
		MgSO4	67
			25.914
Total	46.787		46.787

3. ROTARY COOLER

Fungsi : Untuk mendinginkan salt dengan bantuan udara



Kondisi Operasi	**:**	Tekanan Operasi	:	1 atm
		Suhu bahan masuk	:	843 °C
		Suhu bahan keluar	:	150 °C
		Suhu udara masuk	:	30 °C

Feed Masuk :

Komponen	Berat (kg)	Fraksi Berat
Na2SO4	25398	0,98
NaCl	427	0,01648
CaSO4	22	0,00086
MgSO4	67	0,00258
	25914	1

Asumsi : Solid yang terbawa oleh udara pendingin sebesar 1%

Komposisi Solid Ke Cyclone :

Na2SO4	=	1%	x	25398	=	254,0	kg
NaCl	=	1%	x	427	=	4,3	kg
CaSO4	=	1%	x	22	=	0,2	kg
MgSO4	=	1%	x	67	=	0,7	kg

Komposisi Solid Ke Solution Tank :

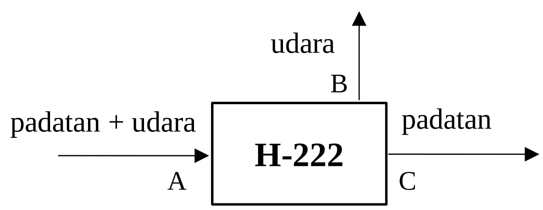
Na2SO4	=	99%	x	25398	=	25143,9	kg
NaCl	=	99%	x	427	=	422,8	kg
CaSO4	=	99%	x	22	=	22,1	kg
MgSO4	=	99%	x	67	=	66,2	kg

Neraca Massa :

Komponen Masuk (Kg/jam)		Komponen Keluar (Kg/jam)	
Produk dari Furnace		Produk atas ke Cyclone	
Na_2SO_4	25.398	Na_2SO_4	253,98
NaCl	427	NaCl	4,27
$CaSO_4$	22	$CaSO_4$	0,22
$MgSO_4$	67	$MgSO_4$	0,67
	25.914,1		259,1
		Produk Bawah ke solution tank	
		Na_2SO_4	25.143,9
		NaCl	422,80
		$CaSO_4$	22,07
		$MgSO_4$	66,20
			25.655,0
Total	25.914,1		25.914,1

4. CYCLONE (H-222)

Fungsi : untuk memisahkan udara (gas) dengan padatan



Kondisi Operasi **:** Tekanan Operasi : 1 atm

Feed Masuk :

Komponen	Berat (kg)	Fraksi Berat
Na_2SO_4	253,97866	0,980
NaCl	4,27070	0,016
$CaSO_4$	0,22290	0,001
$MgSO_4$	0,66869	0,003
	259,14	1

Asumsi : Solid yang terbawa oleh udara pendingin sebesar 1%

Komposisi Udara Keluar :

Na_2SO_4 = 1% x 253,98 = 2,5398 kg

NaCl = 1% x 4,27 = 0,0427 kg

$CaSO_4$ = 1% x 0,22 = 0,0022 kg

$MgSO_4$ = 1% x 0,67 = 0,0067 kg

Komposisi Solid Ke Solution Tank :

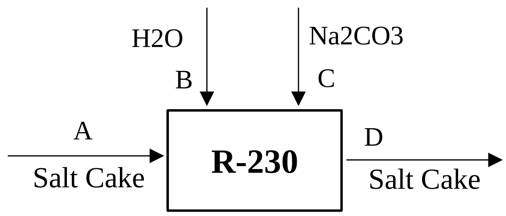
Na_2SO_4	=	99%	x	253,98	=	251,44	kg
NaCl	=	99%	x	4,27	=	4,23	kg
$CaSO_4$	=	99%	x	0,22	=	0,22	kg
$MgSO_4$	=	99%	x	0,67	=	0,66	kg

Neraca Massa :

Komponen Masuk (Kg/jam)		Komponen Keluar (Kg/jam)	
Produk dari Rotary Cooler		Produk atas ke Udara	
Na_2SO_4	253,97866	Na_2SO_4	2,5398
NaCl	4,27070	NaCl	0,0427
$CaSO_4$	0,22290	$CaSO_4$	0,0022
$MgSO_4$	0,66869	$MgSO_4$	0,0067
	259,14		2,59
		Produk Bawah ke solution tank	
		Na_2SO_4	251,44
		NaCl	4,23
		$CaSO_4$	0,22
		$MgSO_4$	0,66
			256,55
Total	259,14		259,14

5. SOLUTION TANK (R-230)

Fungsi : Untuk Mengikat Impurities



Kondisi Operasi :

Tekanan Operasi : 1 atm

Suhu Operasi : 60oC

Cycle Operasi : A. Air Proses dihangatkan dengan bantuan Steam
B. Proses Pelarutan Na2CO3 dengan air hangat
C. Penambahan Salt Cake

Feed Masuk :

Komponen	Feed Dari B-220 (kg)	Feed Dari H-221 (kg)	Feed Dari H-260 (kg)	Feed Total (kg)	Kelarutan Suhu 60oC
Na2SO4	25.143,89	251,44	11,50	25.406,83	45,3
NaCl	422,80	4,23	544,10	971,13	37,04
CaSO4	22,07	0,22		22,29	0,2047
MgSO4	66,20	0,66		66,86	53,5
H2O			131,20	131,20	
Total	25.654,95	256,55	686,80	26.598,30	

Kelarutan Na_2CO_3 = 46,4 kg/ 100kg H2O

Tinjauan Reaksi :

Mol $CaSO_4$ mula2 = $\frac{22,3 \text{ Kg}}{136 \text{ Kg/kmol}}$ = 0,16 kmol

Mol Na_2CO_3 mula2 = $\frac{1}{1}$ x 0,16 kmol = 0,16 kmol

	$CaSO_{4(aq)}$ +	$Na_2CO_{3(s)}$ →	$Na_2SO_{4(aq)}$ +	$CaCO_{3(s)}$
M :	0,16	0,16	-	-
R :	0,16	0,16	0,16	0,16
S :	0	0	0,16	0,16

Massa Na_2CO_3 mula2 = 0,16 kmol x 106 kg/kmol = 17,37 kg

Massa Na_2SO_4 = 0,16 kmol x 142 kg/kmol = 23,3 kg

Massa $CaCO_3$ = 0,16 kmol x 100 kg/kmol = 16,39 kg

Mol $MgSO_4$ mula2 = $\frac{66{,}9 \text{ Kg}}{120 \text{ Kg/kmol}}$ = 0,56 kmol

Mol Na_2CO_3 mula2 = $\frac{1}{1}$ x 0,56 kmol = 0,56 kmol

	$MgSO_{4(aq)}$ +	$Na_2CO_{3(s)}$ →	$Na_2SO_{4(aq)}$ +	$MgCO_{3(s)}$
M :	0,56	0,56	-	-
R :	0,56	0,56	0,56	0,56
S :	0	0	0,56	0,56

Massa Na_2CO_3 mula2 = 0,56 kmol x 106 kg/kmol = 59,06 kg
Massa Na_2SO_4 = 0,56 kmol x 142 kg/kmol = 79 kg
Massa $MgCO_3$ = 0,56 kmol x 84 kg/kmol = 46,8 kg

Massa Na_2CO_3 yang dibutuhkan = 76,43 kg
Massa Na_2SO_4 = 25.509 kg
Massa $CaCO_3$ terbentuk = 16,39 kg
Massa $MgCO_3$ terbentuk = 46,80 kg

Kebutuhan Air Untuk melarutkan Na2CO3

Feed Na2CO3 = 76,43 kg

Kebutuhan Air = $\frac{76{,}43 \text{ kg}}{46{,}4 \text{ Kg}}$ x 100 kg H2O = 164,7 Kg

Kebutuhan Air Untuk melarutkan Na2SO4

Na2SO4 dilarutkan hingga 32oBe (Keyes)

S.g = $\frac{145}{145 - \text{oBe}}$ = $\frac{145}{145 - 32}$ = 1,27

S.g = $\frac{\rho \text{ Na2SO4}}{\rho \text{ H2O}}$ = $\frac{\text{Kg Na2SO4/ V}}{\text{Kg H2O/ V}}$ = $\frac{\text{Kg Na2SO4}}{\text{Kg H2O}}$

Kebutuhan Air = $\frac{\text{Kg Na2SO4}}{\text{S.g}}$ = $\frac{25.509}{1{,}27}$ = 20.086 Kg

Kebutuhan Air Untuk melarutkan NaCl

Feed NaCl = 971,13 kg

Kebutuhan Air = $\frac{971{,}13 \text{ kg}}{37{,}04 \text{ Kg}}$ x 100 kg H2O = 2.622 Kg

Kebutuhan Air Untuk melarutkan CaSO4

Feed CaSO4 = 22,29 kg

Kebutuhan Air = $\frac{22{,}29 \text{ kg}}{0{,}2047 \text{ Kg}}$ x 100 kg H2O = 10.888 Kg

Kebutuhan Air Untuk melarutkan MgSO4

Feed MgSO4 = 66,86 kg

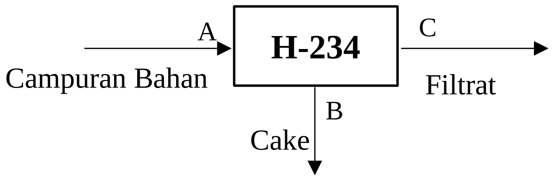
Kebutuhan Air = $\frac{66{,}86 \text{ kg}}{53{,}5 \text{ Kg}}$ x 100 kg H2O = 125 Kg

Total H2O = 164,7 + 20.086,0 + 2622 + 10.888 + 125 kg
= 33.885,38 kg

Komponen Masuk (Kg/jam)		Komponen Keluar (Kg/jam)	
Produk dari Rotary Cooler		**Produk Ke Filter Press**	
Na2SO4	25.143,89	Na2SO4	25.509,22
NaCl	422,80	NaCl	971,13
CaSO4	22,07	CaCO3	16,39
MgSO4	66,20	MgCO3	46,80
	25.654,95	H2O	34.017
Produk Dari Hoper			
Na2CO3	76,43		
Produk Dari Cyclone			
Na2SO4	251,44		
NaCl	4,23		
CaSO4	0,22		
MgSO4	0,66		
	256,55		
H2O Dari Utilitas			
H2O	33.885		
Recycle dari Centrifuge			
Na2SO4	11,5		
NaCl	544,1		
H2O	131,2		
	686,8		
Total	60.560		60.560

6. FILTER PRESS (F-234)

Fungsi : Memisahakan Cake dan Filtrat



Feed Masuk :

Komponen	Berat (Kg/jam)
Na2SO4	25.509,22
NaCl	971,13
CaCO3	16,39
MgCO3	46,80
H2O	34.016,58
Total	60.560

Bahan Bersifat Solid

Komponen	Berat (Kg/jam)
CaCO3	16,39
MgCO3	46,80
Total	63

Bahan Bersifat Liquid

Komponen	Berat (Kg/jam)
Na2SO4	25.509,22
NaCl	971,13
H2O	34.016,58
Total	60.497

Filtrat yang Terikut Cake = 2% x 60.497 = 1.210 kg/jam
Filtrat Keluar = 60.497 - 1.210 = 59.287 kg/jam

Terdiri dari :

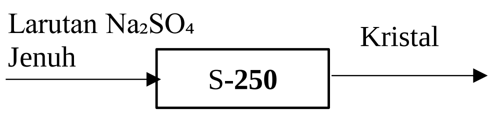
Komponen	Berat (Kg/jam)	Filtrat Terikut	Filtrat Loss
Na2SO4	25.509,22	510,2	24.999,03
NaCl	971,13	19,4	951,70
H2O	34.016,58	680,3	33.336,24
Total	60.497	1.209,9	59.287

Neraca Massa :

Komponen Masuk (Kg/jam)		Komponen Keluar (Kg/jam)	
Produk dari solution tank		**Produk Ke Crystallizer**	
Na2SO4	25.509,22	Na2SO4	24.999,03
NaCl	971,13	NaCl	951,70
CaCO3	16,39	H2O	33.336,24
MgCO3	46,80		59.286,98
H2O	34.016,58		
	60.560,11		
		Produk Ke WTP	
		Na2SO4	510,2
		NaCl	19,4
		CaCO3	16,39
		MgCO3	46,80
		H2O	680,3
			1.273,1
Total	60.560		60.560

7. CRYSTALLIZER (S-250)

Fungsi : Mengkristalkan Na2SO4 menjadi Na2SO4.10H2O



Kondisi Operasi : Tekanan Operasi = 1 atm

Feed Masuk :

Komponen	Berat (Kg/jam)
Na2SO4	24.999,03
NaCl	951,70
H2O	33.336,24
Total	59.287

Kelarutan Na2SO4 = 19,4 Kg/ 100 Kg H2O (Perry 8th)

Mol Na2SO4 mula2 = $\frac{24.999,03 \text{ kg/jam}}{142 \text{ Kg/kmol}}$ = 176,05 kmol/jam

Mol H2O mula2 = $\frac{33.336,2 \text{ kg/jam}}{18 \text{ Kg/kmol}}$ = 1.852,0 kmol/jam

	$Na_2SO_{4(aq)}$	+ $10H_2O_{(aq)}$	$\longrightarrow$ $Na_2SO_4.10H_2O_{(s)}$
M :	176,05	1.852,0	
R :	176,05	1.760,5	176,05
S :	0	91,5	176,05

Massa kristal $Na_2SO_4.10H_2O$ = 176,05 kmol/jam x 322 kg/kmol

= 56.688 kg/jam

Massa H_2O Sisa = 91,5 kmol/jam x 18 kg/kmol
= 1.647,33 kg/jam

Massa $Na_2SO_4.10H_2O$ yang tidak terkristalkan = $\frac{19,4 \text{ Kg}}{100 \text{ Kg H2O}}$ x 1.647,33 Kg/jam
= 319,58 Kg/jam

Massa $Na_2SO_4.10H_2O$ yang tidak terkristalkan, terdispersi dalam larutan dengan bentuk Na_2SO_4

Mol $Na_2SO_4.10H_2O$ yang tidak terkristalkan = $\frac{319,58 \text{ Kg/jam}}{322 \text{ Kg/Kmol}}$ = 0,99 kmol/jam

$$Na_2SO_4.10H_2O_{(aq)} \longrightarrow Na_2SO_{4(aq)} + 10H_2O_{(aq)}$$

	$Na_2SO_4.10H_2O_{(aq)}$	$Na_2SO_{4(aq)}$	$10H_2O_{(aq)}$
M :	0,99		
R :	0,99	0,99	9,92
S :	0	0,99	9,92

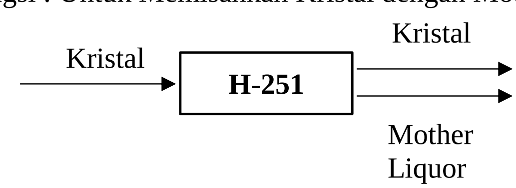
Massa Na2SO4 = 0,99 kmol/jam x 142 kg/kmol = 140,93 kg/jam
Massa H2O = 9,92 kmol/jam x 18 kg/kmol = 178,65 kg/jam

Neraca Massa :

Komponen Masuk (Kg/jam)		Komponen Keluar (Kg/jam)	
Produk dari Filter Press		**Produk Ke Centrifuge**	
Na2SO4	24.999,03	Na2SO4	140,93
NaCl	951,70	NaCl	951,70
H2O	33.336,24	H2O	1.506,40
		Na2SO4.10H2O	56.687,95
Total	59.287		59.287

8. CENTRIFUGE (H-251)

Fungsi : Untuk Memisahkan Kristal dengan Mother Liquor



Berupa Padatan :

Komponen	Berat (Kg/jam)
Na2SO4.10H2O	56.687,95

Berupa Liquid :

Komponen	Berat (Kg/jam)
Na2SO4	140,93
NaCl	951,70
H2O	1.506,40
Total	2.599,03

Asumsi Liquid Terikut Solid : 5%

Komposisi Solid Ke Ball mill :

Na_2SO_4	=	5%	x	140,93	=	7,0467
NaCl	=	5%	x	951,70	=	47,5852
H_2O	=	5%	x	1.506	=	75,3

Komposisi Liquid Keluar :

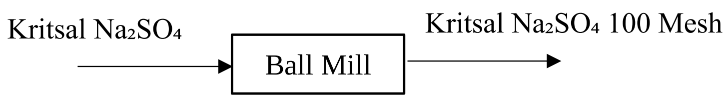
Na_2SO_4	=	95%	x	140,93	=	133,89
NaCl	=	95%	x	951,70	=	904,12
H_2O	=	95%	x	1506,40	=	1431,08

Neraca Massa :

Komponen Masuk (Kg/jam)		Komponen Keluar (Kg/jam)	
Produk dari Crystallizer		**Produk Ke Ball Mill**	
Na_2SO_4	140,93	Na_2SO_4	7,05
NaCl	951,70	NaCl	47,59
H_2O	1.506,40	H_2O	75,32
$Na_2SO_4.10H_2O$	56.687,95	$Na_2SO_4.10H_2O$	56.687,95
	59.286,98		56.818
		Recycle Ke Solution Tank	
		Na_2SO_4	133,89
		NaCl	904,12
		H_2O	1.431,08
			2.469,08
Total	59.286,98		59.286,98

9. Ball Mill (C-280)

Fungsi : Untuk Menhaluskan Produk Hingga 100 Mesh



Feed Masuk dari Centrifuge :

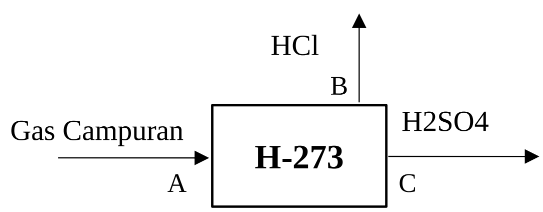
Komponen	Berat (kg)	Fraksi Berat
Na2SO4	7,05	0,00012
NaCl	47,59	0,00084
H2O	75,32	0,00133
Na2SO4.10H2O	56.687,95	0,99771
Total	56.818	1

Neraca Massa :

Komponen Masuk (Kg/jam)		Komponen Keluar (Kg/jam)	
Produk dari Centrifuge		Produk ke Tangki Glauber salt	
Na2SO4	7,05	Na2SO4	7,05
NaCl	47,59	NaCl	47,59
H2O	75,32	H2O	75,32
Na2SO4.10H2O	56.687,95	Na2SO4.10H2O	56.687,95
Total	56.818		56.818

10. COKE TOWER (D-310)

Fungsi : untuk memisahkan udara (gas) dengan padatan



Kondisi Operasi : Tekanan Operasi : 1 atm
Suhu bahan masuk : 843 °C
Suhu bahan keluar : 150 °C

Feed Masuk :

Komponen	Berat (kg)	Fraksi Berat
HCl	13.056,65	0,62552
SO3	1.223,97	0,05864
H2O	6.592,77	0,31585
Total	20.873,39	1

Mol HCl = $\frac{13.056,65 \text{ Kg/jam}}{36 \text{ Kg/kmol}}$ = 358,11 Kmol/jam

Mol SO3 = $\frac{1.224 \text{ Kg/jam}}{80 \text{ Kg/kmol}}$ = 15,30 Kmol/jam

Mol H2O = $\frac{6.592,77 \text{ Kg/jam}}{18 \text{ Kg/kmol}}$ = 366,26 Kmol/jam

Reaksi Yang Terjadi :

	$SO_{3(g)}$	+	$H_2O_{(g)}$	→	$H_2SO_{4(l)}$
M :	15,30		366,3		
R :	15,30		15,30		15,30
S :	0		351,0		15,30

Massa H2SO4 = 15,30 kmol/jam x 98 kg/kmol
= 1.499 kg/jam

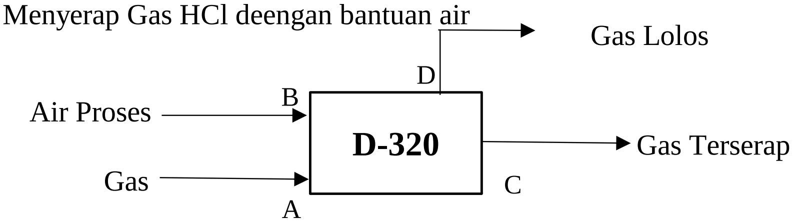
Massa H2O Sisa = 351,0 kmol/jam x 18 kg/kmol
= 6.317,37 kg/jam

Neraca Massa :

Komponen Masuk (Kg/jam)		Komponen Keluar (Kg/jam)	
Gas Campuran dari Furnace		HCl ke Absorber	
HCl	13.056,6	HCL	13.056,6
SO3	1.224,0	H2O	6.317,4
H2O	6.592,8		19.374,0
	20.873,4		
		H2SO4 ke penampung	
		H2SO4	1.499,4
Total	20.873		20.873

11. ABSORBER (D-320)

Fungsi : Menyerap Gas HCl deengan bantuan air



Feed Masuk :

Komponen	Berat (Kg)
HCL	13.056,6
H2O	6.317,4
Total	19.374,0

Kebutuhan Air Proses

Asumsi Gas yang terserap

HCl yang terserap = 95%

= 95% x 13.056,6 kg/jam = 12.403,8 kg/jam

HCl lolos = 5% x 13.056,6 kg/jam = 652,8 kg/jam

Asumsi Gas H2O terkondensasi = 95%

H2O Liquid = 95% x 6.317,4 kg/jam = 6.001,5 kg/jam

H2O Gas = 5% x 6.317,4 kg/jam = 1.387,0 kg/jam

Kelarutan HCl (30^{o}C) = $\frac{57,9 \text{ gr}}{100 \text{ gr}}$ (perry, 7th ed.)

kebutuhan air proses = 12.403,8 x $\frac{100}{57,9}$ = 21.428,0 kg/jam

Neraca Massa :

Komponen Masuk (Kg/jam)		Komponen Keluar (Kg/jam)	
Gas dari Coke Tower		HCl ke Tangki Penyimpanan	
HCl	13.056,6	HCL	12.403,8
H2O	6.317,4	H2O	26.358,1
	19.374,0		38.761,9
Penambahan Air Proses		HCl ke Udara	
H2O	21.428,0	HCl	652,8
		H2O	1.387
			2.040
Total	40.802		40.802

APPENDIX B
PERHITUNGAN NERACA PANAS

Persamaan Panas Untuk Kondisi Aliran Steady ; Q = Δ H

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

$$\Delta H = n \int_{T}^{T} (A + BT + CT^2 + DT^3) dT$$

$$= n \left[A(T - T_{reff}) + \frac{B(T^2 - T_{reff}^2)}{2} + \frac{C(T^3 - T_{reff}^3)}{3} + \frac{D(T^4 - T_{reff}^4)}{4} \right]$$

(Himmelblau, 690)

Keterangan :

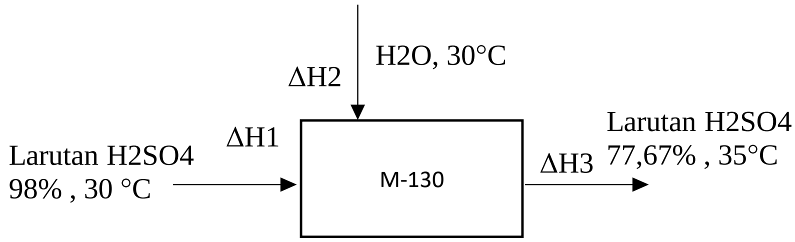
Δ H	=	Panas	,	kkal
n	=	Berat Bahan	,	kmol
Cp	=	Specific Heat	,	kkal/kmol. Kelvin
T reff	=	Suhu Refference	,	Kelvin
T	=	Suhu Bahan	,	Kelvin

Data Konstanta Cp :

Komponen	BM	A	B	C	D
NaCl	58,5	10,79	0,0042	-	-
$CaSO_4$	136	18,52	0,022	-156800	
Mg2SO4	120	26,7	-	-	-
H2SO4	98	139,1	0,1559	-	-
Na_2CO_3	106	28,9	-	-	-
Na_2SO_4	142	32,8	-	-	-
$Na_2SO_4.10\ H_2O$	322	119,8	-	-	-
SO_3	80	7,7	0,0053	0,00000083	-
HCl	36,5	6,7	0,00084	-	-
$H_2O_{(g)}$	18	33,46	0,00688	7,604E-06	-3,593E-09
$H_2O_{(l)}$	18	18,3	0,472	-0,001339	1,314E-06

(Perry 8ed, table 2-151)

1. TANGKI PENGENCER (M-130)



Entalpi Bahan Masuk :

1. Entalpi Larutan H2SO4 98% dengan suhu 30°C

Data Neraca Massa Dari Tangki Penampung (30oC) :

Komponen	Berat (Kg)	% Berat
H2SO4	19.027,47	98,00%
H2O	388,32	2,00%
Total	19.415,79	100,00%

T masuk	=	30	°C	=	303,15	°K	=	86 °F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K		77 °F
T keluar	=	35	°C	=	308,1884	°K		95,07 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2SO4 (l) $= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (139{,}1 + 15{,}59x(10^{-2})x(T))\ dT$

$= 0{,}239x \left[139{,}1(303{,}15 - 298{,}15) + \frac{15{,}59x10^{-2}(303{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}\right]$

= 222,24 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) :

$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$

$= 0{,}239x \left[18{,}3(303{,}15 - 298{,}15) + \frac{47{,}21x(10^{-2})(303{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{-133{,}9x(10^{-5})(303{,}15^3 - 298{,}15^3)}{3} + \frac{1{,}31x(10^{-9})x(303{,}15^4 - 298{,}15^4)}{4}\right]$

= 46,89 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
H2SO4	98	19.027,47	194,16	222,2357	43.148,8
H2O	18	388,32	21,57	46,8881	1.011,5
Total		19.415,79			44.160,3

2. Entalpi Larutan H2O dengan suhu 30°C

Data Neraca Massa Dari Utilitas :

Komponen	Berat (Kg)
H2O	5.082,05

T masuk = 30 °C = 303,15 °K = 86 °F
T Reff = 25 °C = 298,15 °K 77 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) :

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0{,}239x\left[18{,}3(303{,}15 - 298{,}15) + \frac{47{,}21x(10^{-2})(303{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{-133{,}9x(10^{-5})(303{,}15^3 - 298{,}15^3)}{3} + \frac{1{,}31x(10^{-9})x(303{,}15^4 - 298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 46,89 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
H2O	18	5.082,05	282,34	46,8881	13.238,2
Total		5.082,05			13.238,2

Entalpi Bahan Keluar :

1. Entalpi Larutan H2SO4 77,67%

Data Neraca Massa keluar tangki pengencer :

Komponen	Berat (Kg)	% Berat
H2SO4	19.027,47	77,67%
H2O	5.470,37	22,33%
Total	24.497,84	100,00%

T Masuk = 30 °C = 303,15 °K = 86 °F
T Reff = 25 °C = 298,15 °K 77 °F
T Keluar = 35 °C = 308,19 °K 95,07 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2SO4 (l) :

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (139{,}1 + 15{,}59x(10^{-2})x(T))\ dT$$

$$= 0{,}239x \left[139{,}1(308{,}19 - 298{,}15) + \frac{15{,}59x10^{-2}(308{,}19^2 - 298{,}15^2)}{2}\right]$$

= 224,88 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) :

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

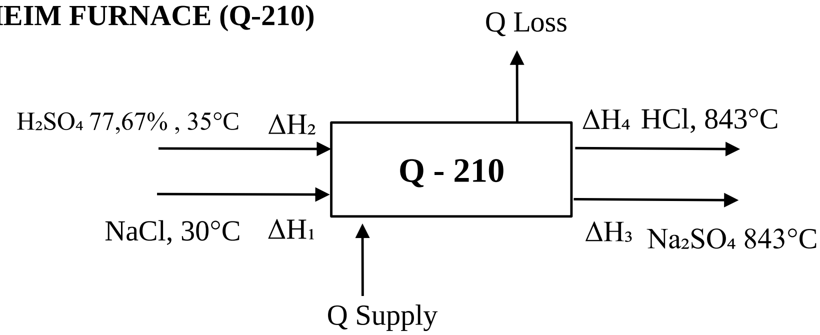
$$= 0{,}239x \left[18{,}3(308{,}19 - 303{,}15) + \frac{47{,}21x(10^{-2})(308{,}19^2 - 303{,}15^2)}{2} + \frac{-133{,}9x(10^{-5})(308{,}19^3 - 303{,}15^3)}{3} + \frac{1{,}31x(10^{-9})x(308{,}19^4 - 303{,}15^4)}{4}\right]$$

= 45,2 kkal/kmol

Komponen	**BM**	**Berat (Kg)**	**kmol**	**Cp dT (kkal/kmol)**	**Δ H (kkal)**
H2SO4	98	19.027,47	194,16	224,8833	43.662,9
H2O	18	5.470,37	303,91	45,1965	13.735,6
Total		24.497,84			57.398,5

Komponen	Masuk (kkal/jam)	Komponen	Keluar (kkal/jam)
H2SO4 98%	44.160	H2SO4 77,67%	43.662,9
Penambahan Air Proses		H2O	13.735,6
H2O	13.238,2		
Total	57.398,5		57.398,5

2. MANHEIM FURNACE (Q-210)



Kondisi Operasi :	Suhu Operasi	:	843	°C	=	1.116,2	°K
	Tekanan Operasi	:	1	atm			
	T NaCl masuk	=	30	°C	=	303,15	°K
	T H_2SO_4 masuk	=	35	°C	=	308,1884	°K
	T refference	=	25	°C	=	298,15	°K
	T Na_2SO_4 keluar	=	843	°C	=	1.116,2	°K
	T Gas keluar	=	843	°C	=	1.116,2	°K

Neraca Energi Total :

ΔH masuk + Q Supply = ΔH keluar + Q Loss + ΔH Reaksi

Entalpi Bahan Masuk :

1. Entalpi NaCl dari Silo (30°C)

T masuk = 30 °C = 303,15 °K

T reff = 25 °C = 298,15 °K

$$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT \text{ NaCl (s)} = \int_{Treff}^{T} (10{,}79 + 0{,}0042x(T)dT$$

$$= 10{,}79(303{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0042(303{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}$$

= 60,26 kkal/kmol

$$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT \text{ CaSO4 (s)} = \int_{Treff}^{T} (18{,}52 + 0{,}022(T) - 156800/(T^2))dT$$

$$= 18{,}52(303{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0022(303{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{156800}{(303{,}15 - 298{,}15)}$$

= 117 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ MgSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (26{,}7)\ dT$

$= 26{,}7(303{,}15 - 298{,}15)$

= 133,5 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) =

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0{,}239\text{x}\left[18{,}3(303{,}15 - 298{,}15) + \frac{47{,}21x(10^{-2})(303{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{-133{,}9x(10^{-5})(303{,}15^3 - 298{,}15^3)}{3} + \frac{1{,}31x(10^{-9})x(303{,}15^4 - 298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 46,89 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
NaCl	59	21.353,48	365,02	60,2637	21.997,2
CaSO4	136	22,29	0,16	116,9974	19,2
MgSO4	120	66,87	0,56	133,5	74,4
H2O	18	847,01	47,06	46,8881	2.206,4
Total		22.289,65			24.297,2

2. Entalpi Larutan H2SO4 77,67%

Data Neraca Massa keluar tangki pengencer :

Komponen	Berat (Kg)	% Berat
H2SO4	19.027,47	77,67%
H2O	5.470,37	22,33%
Total	24.497,84	100,00%

T Masuk = 35 °C = 308,1884 °K = 95,07 °F
T Reff = 25 °C = 298,15 °K 77 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2SO4 (l) $= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (139{,}1 + 15{,}59x(10^{-2})x(T))\ dT$

$= \quad 0{,}239x\left[139{,}1(308{,}188-298{,}15)+\frac{15{,}59x10^{-2}(308{,}188^2-298{,}15^2)}{2}\right]$

= 447,12 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) :

$= \quad 0{,}239x\int_{Treff}^{T}(18{,}3+47{,}21x(10^{-2})x(T)+(-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) +1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$

$= \quad 0{,}239x\left[18{,}3(308{,}188-298{,}15)+\frac{47{,}21x(10^{-2})(308{,}188^2-298{,}15^2)}{2}+\frac{-133{,}9x(10^{-5})(308{,}188^3-298{,}15^3)}{3}+\frac{1{,}31x(10^{-9})x(308{,}188^4-298{,}15^4)}{4}\right]$

= 92,1 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
H2SO4	98	19.027,47	194,16	447,1190	86.811,7
H2O	18	5.470,37	303,91	92,0846	27.985,4
Total		24.497,84			114.797,0

Total Entalpi Masuk = 24.297,2 + 114.797,0 kkal
= 139.094,2 kkal

Entalpi Bahan Keluar :

1. Entalpi Produk Salt Cake Ke Rotary Cooler Pada Suhu 843 oC

T Reff = 25 °C = 298,15 °K 77 °F
T Keluar = 843 °C = 1116,15 °K 1549 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} 32{,}8\ dT$

$= 32{,}8(1116{,}15-298{,}15)$

= 26.830,4 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T}(10{,}79+0{,}0042x(T)dT$

$= \quad 10{,}79(1116{,}15-298{,}15)+\frac{0{,}0042(1116{,}15^2-298{,}15^2)}{2}$

= 11.255,7 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ CaSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (18{,}52 + 0{,}022(T) - 156800/(T^2))dT$

$= 18{,}52(1116{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0022(1116{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{156800}{(1116{,}15 - 298{,}15)}$

= 27.489,8 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ MgSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (26{,}7)\ dT$

$= 26{,}7(1116{,}15 - 298{,}15)$

= 21.840,6 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
Na2SO4	142,00	25.397,87	178,86	26.830,4	4.798.837,3
NaCl	58,5	427,07	7,30	11.255,7	82.170,4
CaSO4	136	22,29	0,16	27.489,8	4.505,4
MgSO4	120	66,87	0,56	21.840,6	12.170,5
Total		25.914			4.897.683,6

2. Entalpi Produk Campuran Gas Ke Coke Tower Pada Suhu 843 oC

T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K	77	°F
T Keluar	=	843	°C	=	1116,15	°K	1549	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ HCl (g) $= \int_{Treff}^{T} (6{,}7 + 0{,}00084x(T)dT$

$= 6{,}7(1116{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}00084(1116{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}$

= 5.966,5 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ SO3 (g) $= \int_{Treff}^{T} (7{,}7 + 0{,}053(T) - 0{,}00000083T^2))dT$

$= 7{,}7(1116{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}053(1116.15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{0{,}00000083(1116.15^3 - 298{,}15^3)}{3}$

= 37.333,8 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) =

$$= 0,239x \int_{Treff}^{T} (18,3 + 47,21x(10^{-2})x(T) + (-133,9)x(10^{-5})x(T^2) + 1,31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0,239x\left[18,3(373,15-298,15)+\frac{47,21x(10^{-2})(373,15^2-298,15^2)}{2}+\frac{-133,9x(10^{-5})(373,15^3-298,15^3)}{3}+\frac{1,31x(10^{-9})x(373,15^4-298,15^4)}{4}\right]$$

= 454,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (g) =

$$= 0,239x \int_{Treff}^{T} (33,46+0,6880x(10^{-2})x(T)+(0,7604)x(10^{-5})x(T^2) +(-3,6)x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0,239x\left[33,46(1116,15-298,15)+\frac{0,688x(10^{-2})(1116,15^2-298,15^2)}{2}+\frac{0,7604x(10^{-5})(1116,15-298,15^3)}{3}+\frac{(-3,6)x(10^{-9})x(1116,15^4-298,15^4)}{4}\right]$$

= 7.379,5 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
HCl	36,5	13.056,65	357,72	5.966,5	2.134.313,9
SO3	80	1.223,97	15,30	37.333,8	571.192,9
H2O(l)	18	6.592,77	366,26	454,0	166.298,2
H2O(g)				7.379,5	2.702.862,8
Total		20.873			5.574.667,8

Total Entalpi Keluar = 4.897.683,6 + 5.574.667,8 kkal
= 10.472.351,5 kkal

Panas Entalpi Standart 25°C
ΔH Reaksi pada Suhu Standart :

$$\Delta HRX^{\ 298,15K} = \Delta HF^{\ 298,15K} Produk\ - \Delta HF^{\ 298,15K} Reaktan$$

Reaksi yang Terjadi :
Reaksi 1 : 2NaCl(s) + H2SO4(aq) ⟶ Na2SO4(aq) + 2HCl(g)
Reaksi 2 : H_2SO_4(g) ⟶ SO_3(g) + H_2O(g)

Komponen	ΔHf (kkal/mol)
NaCl	-98,321
H2SO4	-212,03
CaSO4	-336,58

MgSO4	-304,94
H2O(g)	-57,8
H2O(l)	-68,3174
HCl	-22,06
SO3	-94,39
Na2SO4	-330,5

(Perry 8ed, table 2-178)

Reaksi 1 : 2NaCl(s) + H2SO4(aq) ⟶ Na2SO4(s) + 2HCl(g)

Mol NaCl = 365,0168 kmol = 365.017 mol
Mol H2SO4 = 194,1578 kmol = 194.158 mol
Mol HCl = 357,7164 kmol = 357.716 mol
Mol Na2SO4 = 178,8582 kmol = 178.858 mol

ΔHf Produk = -330,5 x 178.858 + (-22,06 x 357.716)
= - 67.003.863 kkal
ΔHf Reaktan = -98,321 x 365.017 + (-212,03 x 194.158)
= - 77.056.101 kkal
ΔHRX = - 67.003.863 - - 77.056.101 kkal
= 10.052.238 kkal

Reaksi 2 : $H_2SO_4(g)$ ⟶ $SO_3(g)$ + $H_2O(g)$

Mol H2SO4 = 15,30 kmol = 15.300 mol
Mol SO3 = 15,30 kmol = 15.300 mol
Mol H2O = 15,30 kmol = 15.300 mol

ΔHf Produk = -94,39 x 15.300 + (-57,8 x 15.300)
= - 2.328.452 kkal
ΔHf Reaktan = (-212,03 x 15.300) kkal
= - 3.243.982 kkal

ΔHRX = - 2.328.452 - - 3.243.982 kkal = 915.530 kkal

ΔHRX Total = 10.052.238 + 915.530 kkal = 10.967.769 kkal
(+Endoterm)

Asumsi Kehilangan Panas = 5% dari Qsupply

Neraca Energi Total :

ΔH masuk + Q Supply = ΔH keluar + Q Loss + ΔH Reaksi
Q Supply - 5% Q Supply = ΔH keluar - ΔH masuk + ΔH Reaksi
95%Q supply = 10.472.351,5 - 139.094,2 + 10.967.769

$$= \frac{21.301.025,9}{95\%} \text{ kkal}$$

Q Supply = 22.422.132,6 kkal

Q Loss = 5% dari Qsupply
= 1.121.106,6 kkal

Fuel Oil :
Digunakan petroleum fuel oil 33° API (0,22% sulfur)
Berdasarkan Perry 7ed Fig.27-3, didapat sg = 0,86 gr/cc = 7,2 lb/gal
Heating Value = 137.273 Btu/gal (Ulrich, 332)

maka, Heating Value Bahan Bakar = $\frac{137.273 \text{ Btu/gal}}{7,2 \text{ lb/gal}}$
= 19.138,4 Btu/lb
= 19.138,4 kkal/kg

Kebutuhan Fuel Oil :
Petroleum fuel oil 33° API dengan Heating Value = 19.138,4 kkal/kg

Kebutuhan Fuel Oil = $\frac{22.422.132,6 \text{ kkal}}{19.138,4 \text{ kkal/kg}}$ = 1.171,6 kg

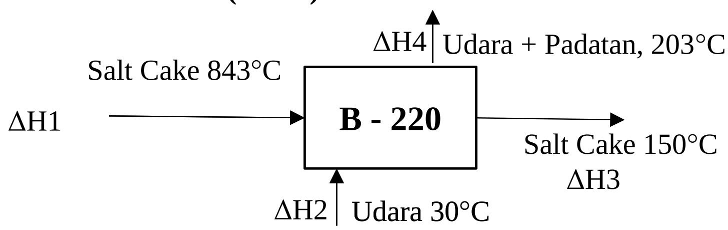
Kebutuhan Udara :
Cp Udara = 0,29 kkal/kg *(Geankoplis 3ed : F. A.3-3, 873)*

Q = m. Cp. ΔT

$$m = \frac{Q}{Cp.\ \Delta T} = \frac{22.422.132,6 \text{ kkal}}{0,29 \text{ kkal/kg.°C} \times (843 - 30) \text{ °C}} = 95.101,7 \text{ kg}$$

Komponen	Masuk (kkal/jam)	Komponen	Keluar (kkal/jam)
Garam dari Gudang		Produk Ke Rotary Cooler	
NaCl	21.997	Na2SO4	4.798.837,3
CaSO4	19	NaCl	82.170,4
MgSO4	74	CaSO4	4.505,4
H2O	2.206	MgSO4	12.170,5
	24.297		4.897.683,6
H2SO4 dari Tangki Pengencer		Produk Ke Coke Tower	
H2SO4	86.811,7	HCl	2.134.313,9
H2O	27.985,4	SO3	571.192,9
	114.797,0	H2O	2.869.161,0
Qsupply	22.422.132,6		5.574.667,8
		Q loss	1.121.106,6
		ΔHRX	10.967.769
Total	22.561.226,8		22.561.226,8

3. ROTARY COOLER (B-220)



Kondisi Operasi :

T bahan masuk	=	843 °C	=	1116 K
T refference	=	25 °C	=	298,2 K
T bahan keluar	=	150 °C	=	423 K

Entalpi Bahan Masuk :

1. Entalpi Produk Salt Cake dari Manheim Furnace Pada Suhu 843 oC

T Masuk	=	843 °C	=	1116,15 °K	=	1549 °F
T Reff	=	25 °C	=	298,15 °K		77 °F
T Keluar :						
Produk	=	150 °C	=	423,15 °K		302 °F
Udara	=	203 °C	=	476,0093 °K		397,1 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} 32{,}8\, dT$

$= 32{,}8(1116{,}15 - 298{,}15)$

= 26.830,4 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T} (10{,}79 + 0{,}0042x(T)dT$

$= 10{,}79(1116{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0042(1116{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}$

= 11.255,7 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT$ CaSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (18{,}52 + 0{,}022(T) - 156800/(T^2))dT$

$= 18{,}52(1116{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0022(1116{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{156800}{(1116{,}15 - 298{,}15)}$

= 27.489,8 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ MgSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (26{,}7)\ dT$

$= 26{,}7(1116{,}15 - 298{,}15)$

= 21.840,6 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT	∆ H
				(kkal/kmol)	(kkal)
Na2SO4	142,00	25.397,87	178,86	26.830,4	4.798.837,3
NaCl	58,5	427,07	7,30	11.255,7	82.170,4
CaSO4	136	22,29	0,16	27.489,8	4.505,4
MgSO4	120	66,87	0,56	21.840,6	12.170,5
Total		25.914			4.897.683,6

Entalpi Bahan Keluar :

1. Entalpi Produk Salt Cake ke Conveyor Pada Suhu 150 oC

T Reff = 25 °C = 298,15 °K 77 °F

T Keluar = 150 °C = 423,15 °K 302 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (32{,}8)\ dT$

$= 32{,}8(423{,}15 - 298{,}15)$

= 4.100,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T} (10{,}79 + 0{,}0042x(T)dT$

$= 10{,}79(423{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0042(423{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}$

= 1.538,1 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ CaSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (18{,}52 + 0{,}022(T)\text{- } 156800/(T^2))dT$

$= 18{,}52(423{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0022(423{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{156800}{(423{,}15 - 298{,}15)}$

= 3.151,4 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{'} Cp\ dT$ MgSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (26{,}7)\ dT$

$= 26{,}7(423{,}15 - 298{,}15)$

= 3.337,5 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
Na2SO4	142,00	25.143,89	177,07	4.100,0	725.985,5
NaCl	58,50	422,80	7,23	1.538,1	11.116,3
CaSO4	136	22,07	0,16	3.151,4	511,3
MgSO4	120	66,20	0,55	3.337,5	1.841,2
Total		25.654,95			739.454,3

2. Entalpi Produk Salt Cake ke Cyclone

T Reff = 25 °C = 298,15 °K 77 °F
T Keluar = 203 °C = 476,0093 °K 397,1 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} 32{,}8\ dT$

$= 32{,}8(476{,}009 - 298{,}15)$

= 5.833,8 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T} (10{,}79 + 0{,}0042x(T)dT$

$= 10{,}79(476{,}009 - 298{,}15) + \frac{0{,}0042(476{,}009^2 - 298{,}15^2)}{2}$

= 2.208,3 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ CaSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (18{,}52 + 0{,}022(T)\text{- } 156800/(T^2))dT$

$= 18{,}52(476{,}009 - 298{,}15) + \frac{0{,}0022(476{,}009^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{156800}{(476{,}009 - 298{,}15)}$

= 4.612,1 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ MgSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (26{,}7)\ dT$

$= 26{,}7(476{,}009 - 298{,}15)$

= 4.748,8 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
Na2SO4	142,00	253,98	1,789	5.833,8	10.434,2
NaCl	58,5	4,27	0,073	2.208,3	161,2
CaSO4	136	0,22	0,002	4.612,1	7,6
MgSO4	120	0,67	0,006	4.748,8	26,5
Total		259,14			10.629,4

Perhitungan Suhu Udara Keluar :

Udara yang dipakai adalah udara luar dengan kriteria :

Td (Dry Bulb) : 30 °C = 86 °F

Tw (Wet Bulb) : 22 °C = 66,2 °F

Suhu bahan masuk : 843 °C = 1549 °F

Perhitungan suhu udara keluar (t_{G2}) :

$$NTU = \ln\left(\frac{(t_{G1}-t_W)}{(t_{G2}-t_W)}\right)$$ (Badger ; 508)

dimana, t_{G1} = suhu udara masuk (°F)

t_{G2} = suhu udara keluar (°F)

t_W = suhu wet bulb

NTU = total Number of Transfer Unit (1,5 s/d 2; Badger,p.508), ditetapkan

$$NTU = \ln\left(\frac{t_{G1} - tw}{t_{G2} - tw}\right)$$

$$1{,}5 = \ln\left(\frac{1549{,}4 - 66{,}2}{t_{G2} - 66{,}2}\right)$$

$$4{,}4817 = \left(\frac{1549 - 66{,}2}{t_{G2} - 66{,}2}\right)$$

t_{G2} = 397,15 °F

= 203 °C

Perhitungan Kebutuhan Udara :

Cp Udara = 0,29 kkal/kg°C *(Geankoplis 3ed : F. A.3-3, 873)*

$\Delta H2 = m.\ Cp.\ \Delta T$ = m x 0,29 kkal/kg°C x (30 - 25) °C

= 1,45 m kkal/kg

ΔH4 = m. Cp. ΔT = m x 0,29 kkal/kg°C x (203 - 25) °C
= 51,58 m kkal/kg

Neraca Panas Total :

ΔH1 Masuk + ΔH2 Udara Masuk = ΔH3 Keluar + ΔH4 Udara Keluar
4.897.683,6 + 1,45 m = 750.083,7 + 51,58 m
50,12918 m = 4.147.599,9
m = 82.738,2 kg

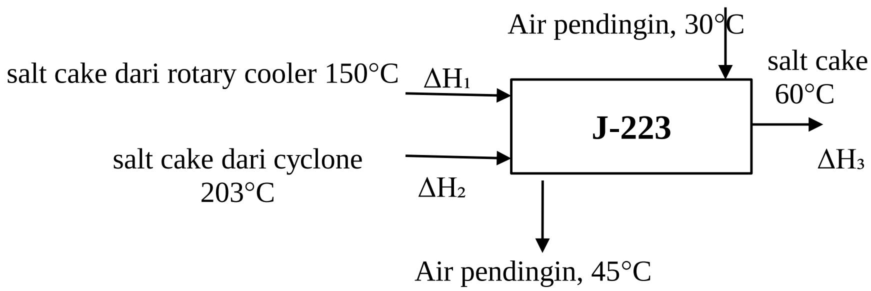
Perhitungan Entalpi Udara :

Entalpi Udara Masuk :
ΔH2 = m. Cp. ΔT
= 82.738,2 kg x 0,29 kkal/kg°C x (30 - 25) °C
= 119.970 kkal

Entalpi Udara Keluar :
ΔH4 = m. Cp. ΔT
= 82.738,2 kg x 0,29 kkal/kg°C x (203 - 25) °C
= 4.267.570 kkal

Komponen	Masuk (kkal/jam)	Komponen	Keluar (kkal/jam)
Salt Cake dari manheim Furnace		Salt Cake ke solution tank	
Na2SO4	4.798.837	Na2SO4	725.985,5
NaCl	82.170	NaCl	11.116,3
CaSO4	4.505	CaSO4	511,3
MgSO4	12.170	MgSO4	1.841,2
	4.897.684		739.454,3
		Padatan terbawa ke Cyclone	
Udara Masuk	119.970,4	Na2SO4	10.434,2
		NaCl	161,2
		CaSO4	7,6
		MgSO4	26,5
			10.629,4
		Udara Keluar	4.267.570
Total	5.017.654,1		5.017.654,1

4. Cooling Conveyor (J-223)



Kondisi Operasi :	T dari rotary cooler	=	150	°C	=	423,2	K
	T dari cyclone	=	203	°C	=	476,2	K
	T refference	=	25	°C	=	298,2	K
	T bahan keluar	=	60	°C	=	333,2	K

Entalpi Bahan masuk :

1. Entalpi Produk Salt Cake dari Rotary Cooler Suhu 150 oC

T Masuk	=	150	°C	=	423,15	°K	=	302	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K		77	°F
T Keluar	=	60	°C	=	333,15	°K		140	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} 32{,}8\ dT$

$= 32{,}8(423{,}15 - 298{,}15)$

= 4.100,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T} (10{,}79 + 0{,}0042x(T)dT$

$=10{,}79(423{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0042(423{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}$

= 1.538,1 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ CaSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (18{,}52 + 0{,}022(T)\text{- } 156800/(T^2))dT$

$=18{,}52(423{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0022(423{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{156800}{(423{,}15 - 298{,}15)}$

= 3.151,4 kkal/kmol

$\int^{T}$

$\int_{Tref}^{t} Cp\ dT$ MgSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (26{,}7)\ dT$

$= 26{,}7(423{,}15 - 298{,}15)$

= 3.337,5 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
Na2SO4	142,00	25.143,89	177,07	4.100,0	725.985,5
NaCl	58,50	422,80	7,23	1.538,1	11.116,3
CaSO4	136,00	22,07	0,16	3.151,4	511,3
MgSO4	120,00	66,20	0,55	3.337,5	1.841,2
Total		25.654,95			739.454,3

2. Entalpi Produk Salt Cake dari Cyclone

T Masuk	=	203	°C	=	476,0093	°K	=	397,1	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K		77	°F
T Keluar	=	60	°C	=	333,15	°K		140	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} 32{,}8\ dT$

$= 32{,}8(476{,}009 - 298{,}15)$

= 5.833,8 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T} (10{,}79 + 0{,}0042x(T)dT$

$=10{,}79(476{,}009 - 298{,}15) + \frac{0{,}0042(476{,}009^2 - 298{,}15^2)}{2}$

= 2.208,3 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ CaSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (18{,}52 + 0{,}022(T)\text{- } 156800/(T^2))dT$

$=18{,}52(476{,}009 - 298{,}15) + \frac{0{,}0022(476{,}009^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{156800}{(476{,}009 - 298{,}15)}$

= 4.612,1 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT$ MgSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T}(26{,}7)\, dT$

$= 26{,}7(476{,}009 - 298{,}15)$

= 4.748,8 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
Na2SO4	142	251,44	1,771	5.833,8	10.329,9
NaCl	58,50	4,23	0,072	2.208,3	159,6
CaSO4	136	0,22	0,002	4.612,1	7,5
MgSO4	120	0,66	0,006	4.748,8	26,2
Total		256,55			10.523,1

Entalpi Bahan Keluar :

1. Entalpi Produk Salt Cake ke Solution Tank Pada Suhu 60 oC

T Masuk	=	150	°C	=	423,15	°K	=	302	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K		77	°F
T Keluar	=	60	°C	=	333,15	°K		140	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} 32{,}8\, dT$

$= 32{,}8(333{,}15 - 298{,}15)$

= 1.148,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T} (10{,}79 + 0{,}0042x(T)dT$

$= 10{,}79(333{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0042(333{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}$

= 424,1 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT$ CaSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T}(18{,}52 + 0{,}022(T)\text{- } 156800/(T^2))dT$

$= 18{,}52(333{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0022(333{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{156800}{(333{,}15 - 298{,}15)}$

= 836,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ MgSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (26{,}7)\ dT$

$= 26{,}7(333{,}15 - 298{,}15)$

= 934,5 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT	∆ H
				(kkal/kmol)	(kkal)
Na2SO4	142,00	25.395,33	178,84	1.148,0	205.308,7
NaCl	58,50	427,03	7,30	424,1	3.095,4
CaSO4	136,00	22,29	0,16	836,0	137,0
MgSO4	120,00	66,86	0,56	934,5	520,7
Total		25.911,50			209.061,8

Neraca Energi Total :

ΔH masuk = ΔH keluar + Q serap

Q serap = ΔH masuk - ΔH keluar

= 749.977,4 - 209.061,8 kkal

Q serap = 540.915,7 kkal

Kebutuhan Pendingin :

T Masuk	=	30	°C	=	303,15	°K	=	86	°F	
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K		77	°F	
T Keluar	=	45	°C	=	318,15	°K		113	°F	(Ulrich, 427)

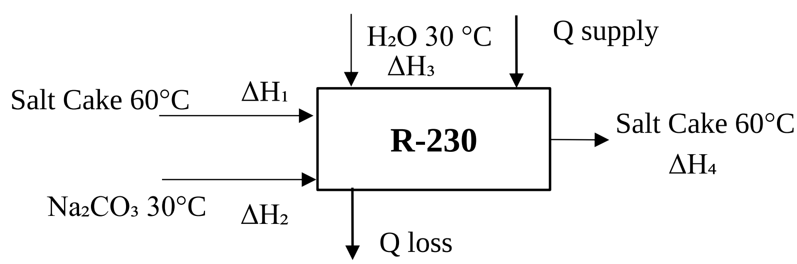
Cp air = 1 kkal/kg. K

Q = m. Cp. ΔT

$m = \frac{Q}{Cp.\ \Delta T} = \frac{540.915{,}7\ \text{kkal}}{1\ \text{kkal/kg. K} \times 15\ \text{K}} = 36.061{,}04\ \text{kg}$

Komponen	Masuk (kkal/jam)	Komponen	Keluar (kkal/jam)
Salt Cake dari Rotary Cooler		Salt Cake ke Solution Tank	
Na2SO4	725.985	Na2SO4	205.308,7
NaCl	11.116	NaCl	3.095,4
CaSO4	511	CaSO4	137,0
MgSO4	1.841	MgSO4	520,7
	739.454		209.061,8
Padatan terbawa dari Cyclone			
Na2SO4	10.329,9	Q serap	540.915,7
NaCl	159,6		
CaSO4	7,5		
MgSO4	26,2		
	10.523,1		
Total	749.977,4		749.977,4

5. SOLUTION TANK (R-230)



Kondisi Operasi : T salt cake masuk	=	60 °C	=	333,2	K
T Na_2CO_3 masuk	=	30 °C	=	303,2	K
T H_2O masuk	=	30 °C	=	303,2	K
T refference	=	25 °C	=	298,2	K
T Salt cake keluar	=	60 °C	=	333,2	K

Entalpi Bahan Masuk :

1. Entalpi Produk Salt Cake ke solution tank Pada Suhu 60 oC

T Masuk	=	60	°C	=	333,15	°K	=	140	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K	=	77	°F
T Keluar	=	60	°C	=	333,15	°K	=	140	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} 32{,}8\, dT$

$= 32{,}8(333{,}15 - 298{,}15)$

= 1.148,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T} (10,79 + 0,0042x(T)dT$

$= 10,79(333,15 - 298,15) + \frac{0,0042(333,15^2 - 298,15^2)}{2}$

= 424,1 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ CaSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (18,52 + 0,022(T)- 156800/(T^2))dT$

$= 18,52(333,15 - 298,15) + \frac{0,0022(333,15^2 - 298,15^2)}{2} + \frac{156800}{(333,15 - 298,15)}$

= 836,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ MgSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (26,7)\ dT$

$= 26,7(333,15 - 298,15)$

= 934,5 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
Na2SO4	142,00	25.397,87	178,86	1.148,0	205.329,2
NaCl	58,5	427,07	7,30	424,1	3.095,7
CaSO4	136	22,29	0,16	836,0	137,0
MgSO4	120	66,87	0,56	934,5	520,7
Total		25.654,95			209.082,7

2. Entalpi Bahan Na2CO3 dari Hoper

T Masuk = 30 °C = 303,15 °K = 86 °F
T Reff = 25 °C = 298,15 °K 77 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ Na2CO3 (s) $= \int_{Treff}^{T} 28,9\ dT$

$= 28,9(303,15 - 298,15)$

= 144,5 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
Na2CO3	106	76,43	0,721	144,5	104,2
Total		76,43			104,2

3. Entalpi Air dari Utilitas

T Masuk	=	30	°C	=	303,15	°K	=	86	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K		77	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) :

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0{,}239x\left[18{,}3(303{,}15 - 298{,}15) + \frac{47{,}21x(10^{-2})(303{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{-133{,}9x(10^{-5})(303{,}15^3 - 298{,}15^3)}{3} + \frac{1{,}31x(10^{-9})x(303{,}15^4 - 298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 46,9 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
H2O	18	33.885,38	1.882,521	46,9	88.267,8
Total		33.885,38			88.267,8

4. Entalpi Produk Recycle Salt Cake dari Centrifuge Suhu 30 oC

T Masuk	=	30	°C	=	303,15	°K	=	86	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K		77	°F
T Keluar	=	60	°C	=	333,15	°K		140	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} 32{,}8\ dT$

$= 32{,}8(303{,}15 - 298{,}15)$

= 164,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T} (10{,}79 + 0{,}0042x(T)dT$

$10{,}79(303{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0042(303{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}$

= 60,3 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) :

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0,239x\left[18,3(303,15-298,15)+\frac{47,21x(10^{-2})(303,15^2-298,15^2)}{2}+\frac{-133,9x(10^{-5})(303,15^3-298,15^3)}{3}+\frac{1,31x(10^{-9})x(303,15^4-298,15^4)}{4}\right]$$

= 36,2 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
Na2SO4	142,00	11,50	0,08	164,0	13,3
NaCl	58,5	544,10	9,30	60,3	560,5
H2O	18	131,20	7,29	36,2	263,6
Total		686,80			837,4

Total ΔH masuk = 209.082,7 + 104 + 88.267,8 + 837,4
= 298.292,1 kkal

Panas Entalpi Standart 25°C

ΔH Reaksi pada Suhu Standart :

$$\Delta HRX^{\ 298,15K} = \Delta HF^{\ 298,15K} Produk\ - \Delta HF^{\ 298,15K} Reaktan$$

Reaksi yang Terjadi :

Reaksi 1 : CaSO4 + Na2CO3 ⟶ Na2SO4 + CaCO3

Reaksi 2 : MgSO4 + Na2CO3 ⟶ Na2SO4 + MgCO3

Komponen	ΔHf (kkal/mol)
CaSO4	-336,58
MgSO4	-304,94
Na2CO3	-313,8
CaCO3	-289,5
MgCO3	-261,7
Na2SO4	-330,5

(Perry 8ed, table 2-178)

Reaksi 1 : CaSO4 + Na2CO3 ⟶ Na2SO4 + CaCO3

Mol CaSO4 = 0,164 kmol = 164 mol
Mol Na2CO3 = 0,164 kmol = 164 mol
Mol Na2SO4 = 0,164 kmol = 164 mol
Mol CaCO3 = 0,164 kmol = 164 mol

ΔHf Produk = (-330,5 x 164) + (-289,5 x 164)
= - 101.604 kkal

ΔHf Reaktan = (-336,58 x 164) + (-313,8 x 164)
= - 106.583 kkal

ΔHRX = - 101.604 - - 106.583 kkal = 4.979 kkal

Reaksi 2 : $MgSO_4 + Na_2CO_3 \longrightarrow Na_2SO_4 + MgCO_3$

Mol MgSO4	=	0,557	kmol	=	557	mol
Mol Na2CO3	=	0,557	kmol	=	557	mol
Mol Na2SO4	=	0,557	kmol	=	557	mol
Mol MgCO3	=	0,557	kmol	=	557	mol

ΔHf Produk = -330,5 x 557 + (-261,7 x 557) kkal
= - 329.965 kkal
ΔHf Reaktan = -304,94 x 557 + (-313,8 x 557) kkal
= - 344.753 kkal

ΔHRX = - 329.965 - - 344.753 kkal = 14.788 kkal

ΔHRX Total = 4.979 + 14.788 kkal = 19.766 kkal

Entalpi Bahan Keluar :

1. Entalpi Produk Salt Cake ke Cristallizer Pada Suhu 60 oC

T Masuk	=	60	°C	=	333,15	°K	=	140	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K	=	77	°F
T Keluar	=	60	°C	=	333,15	°K	=	140	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} 32{,}8\ dT$

$= 32{,}8(333{,}15 - 298{,}15)$

= 1.148,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T} (10{,}79 + 0{,}0042x(T)dT$

$= 10{,}79(333{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0042(333{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}$

= 424,1 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ CaSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} (18{,}52 + 0{,}022(T)\text{-}\ 156800/(T^2))dT$

$= 18{,}52(333{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0022(333{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{156800}{(333{,}15 - 298{,}15)}$

= 836,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ MgSO4 (s) $= \int_{Treff}^{T}(26{,}7)$ dT

$= 26{,}7(333{,}15 - 298{,}15)$

= 934,5 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) =

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0{,}239x\left[18{,}3(333{,}15 - 298{,}15) + \frac{47{,}21x(10^{-2})(333{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{-133{,}9x(10^{-5})(333{,}15^3 - 298{,}15^3)}{3} + \frac{1{,}31x(10^{-9})x(333{,}15^4 - 298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 299,5 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
Na2SO4	142,00	25.509,22	179,64	1.148,0	206.229,4
NaCl	58,5	971,13	16,60	424,1	7.039,4
CaSO4	136	16,39	0,12	836,0	100,7
MgSO4	120	46,80	0,39	934,5	364,5
H2O	18	34.016,58	1.889,81	299,5	566.079,7
Total		60.560,11			779.813,8

Asumsi Kehilangan Panas = 5% dari Qsupply

Neraca Energi Total :

ΔH masuk + Q Supply = ΔH keluar + Q Loss + ΔH Reaksi

Q Supply - 5% Q Supply = ΔH keluar - ΔH masuk + ΔH Reaksi

95%Q supply = 779.813,8 - 298.292,1 + 19.766

= 501.287,9 kkal

$\frac{501.287{,}9}{95\%}$

Q Supply = 527.671,5 kkal

Q Loss = 5% dari Qsupply

= 26.383,6 kkal

Kebutuhan Steam :

Panas Laten steam pada suhu 148 oC dari fig. 12 hal 815 (D.Q Kern)

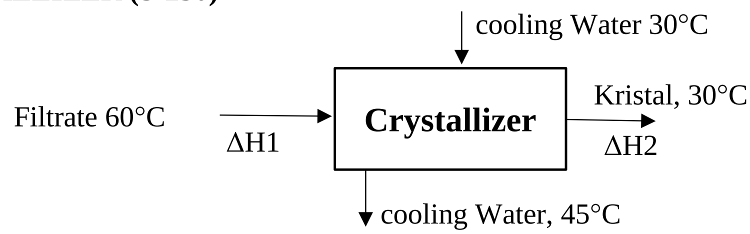
λ steam = 507 kkal/kg

$Q = m.\lambda$

$$m = \frac{Q}{\lambda} = \frac{527.671,5 \text{ kkal}}{507 \text{ kkal/kg}} = 1.040,77 \text{ kg}$$

Komponen Masuk (Kkal/jam)		Komponen Keluar (Kkal/jam)	
Produk dari cooling conveyor		**Produk Ke Cristallizer**	
Na2SO4	205.329,22	Na2SO4	206.229,44
NaCl	3.095,71	NaCl	7.039,43
CaSO4	137,02	CaCO3	100,74
MgSO4	520,74	MgCO3	364,48
	209.082,69	H2O	566.079,67
Produk Dari Hoper			779.813,77
Na2CO3	104,19	ΔH Reaksi	19.766
		Q loss	26.383,6
H2O Dari Utilitas			
H2O	88.268		
Recycle dari Centrifuge			
Na2SO4	13,3		
NaCl	560,5		
H2O	263,6		
	837,4		
Q supply	527.671,5		
Total	825.964		825.964

6. CRYSTALLIZER (S-250)



Kondisi Operasi : T Filtrate masuk	=	60	°C	=	333,2	K
T refference	=	25	°C	=	298,2	K
T Kristal keluar	=	30	°C	=	303,2	K

Entalpi Bahan Masuk :

1. Entalpi Produk Filtrate dari Filter Press Pada Suhu 60 oC

T Masuk	=	60	°C	=	333,15	°K	=	140	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K		77	°F
T Keluar	=	30	°C	=	303,15	°K		86	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} 32{,}8\ dT$

$= 32{,}8(333{,}15 - 298{,}15)$

= 1.148,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T} (10{,}79 + 0{,}0042x(T)dT$

$= 10{,}79(333{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0042(333{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}$

= 424,1 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) =

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0{,}239x\left[18{,}3(333{,}15 - 298{,}15) + \frac{47{,}21x(10^{-2})(333{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{-133{,}9x(10^{-5})(333{,}15^3 - 298{,}15^3)}{3} + \frac{1{,}31x(10^{-9})x(333{,}15^4 - 298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 299,5 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
Na2SO4	142,00	24.999,03	176,05	1.148,0	202.104,9
NaCl	58,5	951,70	16,27	424,1	6.898,6
H2O	18	33.336,24	1.852,01	299,5	554.758,1
Total		59.286,98			209.003,5

Entalpi Bahan Keluar :

1. Entalpi Produk Kristal ke Centrifuge Pada Suhu 30 oC

T Masuk	=	60	°C	=	333,15	°K	=	140	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K		77	°F
T Keluar	=	30	°C	=	303,15	°K		86	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ Na2SO4 (s) $= \int_{Treff}^{T} 32{,}8\ dT$

$= 32{,}8(303{,}15 - 298{,}15)$

= 164,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ NaCl (s) $= \int_{Treff}^{T} (10{,}79 + 0{,}0042x(T)dT$

$= 10{,}79(333{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}0042(333{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}$

= 60,3 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) =

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0{,}239x\left[18{,}3(303{,}15 - 298{,}15) + \frac{47{,}21x(10^{-2})(303{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{-133{,}9x(10^{-5})(303{,}15^3 - 298{,}15^3)}{3} + \frac{1{,}31x(10^{-9})x(303{,}15^4 - 298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 36,2 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ Na2SO4.10H2O (s) $= \int_{Treff}^{T} 119{,}8\ dT$

$= 119{,}8(303{,}15 - 298{,}15)$

= 599,0 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
Na2SO4	142,00	140,93	0,99	164,0	162,8
NaCl	58,5	951,70	16,27	60,3	980,4
H2O	18	1.506,40	83,69	36,2	3.027,0
Na2SO4.10H2O	322	56.687,95	176,05	599,0	105.453,7
Total		59.286,98			109.623,8

Neraca Energi Total :

ΔH masuk = ΔH keluar + Q serap

Q serap = ΔH masuk - ΔH keluar

= 209.003,5 - 109.623,8 kkal

Q serap = 99.379,7 kkal

Kebutuhan Pendingin :

T Masuk = 30 °C = 303,15 °K = 86 °F

T Reff = 25 °C = 298,15 °K 77 °F

T Keluar = 45 °C = 318,15 °K 113 °F (Ulrich, 427)

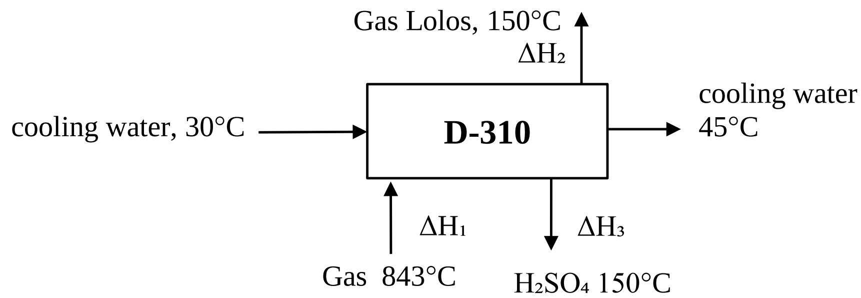
Cp air = 1 kkal/kg. K

Q = m. Cp. ΔT

$$m = \frac{Q}{Cp.\ \Delta T} = \frac{99.379{,}7\ \text{kkal}}{1\ \text{kkal/kg. K} \times 15\ \text{K}} = 6625{,}313\ \text{kg}$$

Komponen Masuk (Kkal/jam)		Komponen Keluar (Kkal/jam)	
Produk dari solution tank		**Produk Ke Centrifuge**	
Na2SO4	202.104,86	Na2SO4	162,77
NaCl	6.898,65	NaCl	980,40
H2O	554.758,08	H2O	3.026,98
	209.003,50	Na2SO4.10H2O	105.453,67
			109.623,81
		Q serap	99.379,69
Total	209.004		209.004

7. COKE TOWER (D-310)



Kondisi Operasi :	T gas masuk	=	843	°C	=	1116	K
	T refference	=	25	°C	=	298,2	K
	T gas lolos	=	150	°C	=	423,2	K
	T H_2SO_4 keluar	=	150	°C	=	423,2	K

Neraca Panas Masuk :

1. Entalpi Produk Campuran Gas dari Manheim Furnace

T Masuk	=	843	°C	=	1116,15	°K	=	1549	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K	=	77	°F
T Keluar	=	150	°C	=	423,15	°K	=	302	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ HCl (g) $= \int_{Treff}^{T} (6,7 + 0,00084x(T)dT$

$= 6,7(1116,15 - 298,15) + \frac{0,00084(1116,15^2 - 298,15^2)}{2}$

= 5.966,5 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ SO3 (g) $= \int_{Treff}^{T} (7,7 + 0,053(T) - 0,00000083T^2))dT$

$= 7,7(1116,15 - 298,15) + \frac{0,053(1116.15^2 - 298,15^2)}{2} + \frac{0,00000083(1116.15^3 - 298,15^3)}{3}$

= 37.333,8 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) =

$= 0,239x \int_{Treff}^{T} (18,3 + 47,21x(10^{-2})x(T) + (-133,9)x(10^{-5})x(T^2)$
$+1,31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$

$$= 0{,}239x\left[18{,}3(373{,}15-298{,}15)+\frac{47{,}21x(10^{-2})(373{,}15^2-298{,}15^2)}{2}+\frac{-133{,}9x(10^{-5})(373{,}15^3-298{,}15^3)}{3}+\frac{1{,}31x(10^{-9})x(373{,}15^4-298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 454,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (g) :

$$= 0{,}239x\int_{Treff}^{T}(33{,}46+0{,}6880x(10^{-2})x(T)+(0{,}7604)x(10^{-5})x(T^2)+(-3{,}6)x(10^{-9})x(T^3))\,dT$$

$$= 0{,}239x\left[33{,}46(1116{,}15-298{,}15)+\frac{0{,}688x(10^{-2})(1116{,}15^2-298{,}15^2)}{2}+\frac{0{,}7604x(10^{-5})(1116{,}15^3-298{,}15^3)}{3}+\frac{(-3{,}6)x(10^{-9})x(1116{,}15^4-298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 7.379,5 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
HCl	36,5	13.056,65	357,72	5.966,5	2.134.313,9
SO3	80	1.223,97	15,30	37.333,8	571.192,9
H2O(l)	18	6.592,77	366,26	454,0	166.298,2
H2O(g)				7.379,5	2.702.862,8
Total		20.873			5.574.667,8

Neraca Panas Keluar :

1. Entalpi Produk campuran gas Pada Suhu 150 oC

T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K	77	°F
T Keluar	=	150	°C	=	423,15	°K	302	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ HCl (g) $= \int_{Treff}^{T}(6{,}7+0{,}00084x(T)dT$

$$= 6{,}7(423{,}15-298{,}15)+\frac{0{,}00084(423{,}15^2-298{,}15^2)}{2}$$

= 875,4 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) =

$$= 0{,}239x\int_{Treff}^{T}(18{,}3+47{,}21x(10^{-2})x(T)+(-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2)+1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\,dT$$

$$= 0{,}239x\left[18{,}3(373{,}15-298{,}15)+\frac{47{,}21x(10^{-2})(373{,}15^2-298{,}15^2)}{2}+\frac{-133{,}9x(10^{-5})(373{,}15^3-298{,}15^3)}{3}+\frac{1{,}31x(10^{-9})x(373{,}15^4-298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 454,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT$ H2O (g) =

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (33{,}46 + 0{,}6880x(10^{-2})x(T) + (0{,}7604)x(10^{-5})x(T^2) + (-3{,}6)x(10^{-9})x(T^3))\, dT$$

$$= 0{,}239x\left[33{,}46(423{,}15-298{,}15) + \frac{0{,}688x(10^{-2})(423{,}15^2-298{,}15^2)}{2} + \frac{0{,}7604x(10^{-5})(423{,}15^3-298{,}15^3)}{3} + \frac{(-3{,}6)x(10^{-9})x(423{,}15^4-298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 1.019,5 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
HCl	36,5	13.056,65	357,72	875,4	313.133,6
H2O(l)	18	6.317,37	350,97	454,0	159.351,6
H2O(g)				1.019,5	357.819,1
Total		13.057			830.304,3

2. Entalpi Produk H2SO4 Ke Tangki Penampungan

T Masuk	=	843	°C	=	1116,15	°K	=	1549	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K		77	°F
T Keluar	=	150	°C	=	423,15	°K		302	°F

Komponen	ΔHf (kkal/kmol)
H2SO4	-212,03
H2O(g)	57,8
SO3	-94,39

(Perry 8ed, table 2-178)

Reaksi : $SO_3(g) + H_2O(g) \longrightarrow H_2SO_4(l)$

Mol H2SO4 = 15,30 kmol
Mol SO3 = 15,30 kmol
Mol H2O = 366,26 kmol

ΔHf Reaktan = -94,39 x 15,30 + (57,8 x 366,26)
= 19.726 kkal
ΔHf Produk = (-212,03 x 15,30) kkal
= - 3.244 kkal

ΔHRX = - 3.244 - 19.726 kkal
= - 22.970 kkal

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2SO4 (l) $= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (139{,}1 + 15{,}59x(10^{-2})x(T))\ dT$

$= 0{,}239x \left[139{,}1(423{,}15 - 298{,}15) + \frac{15{,}59x10^{-2}(423{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}\right]$

= 5835,34 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
H2SO4	98,08	1.499,36	15,29	5835,3444	89.205,8
Total		1.499,36			89.205,8

Asumsi Kehilangan Panas = 5% dari Qserap

Neraca Energi Total :

ΔH masuk + Q Serap = ΔH keluar + Q Loss + ΔH Reaksi

Q Serap - 5% Q Serap = ΔH keluar - ΔH masuk + ΔH Reaksi

95%Q serap = 919.510,2 - 5.574.668 + - 22.970

$= \frac{-\ 4.678.127{,}6}{95\%}$ kkal

Q Serap = - 4.924.344,9 kkal

Q Loss = 5% dari Qserap

= - 246.217,2 kkal

Kebutuhan Pendingin :

T Masuk	=	30	°C	=	303,15	°K	=	86	°F	
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K		77	°F	
T Keluar	=	45	°C	=	318,15	°K		113	°F	(Ulrich, 427)

Cp air = 1 kkal/kg. K

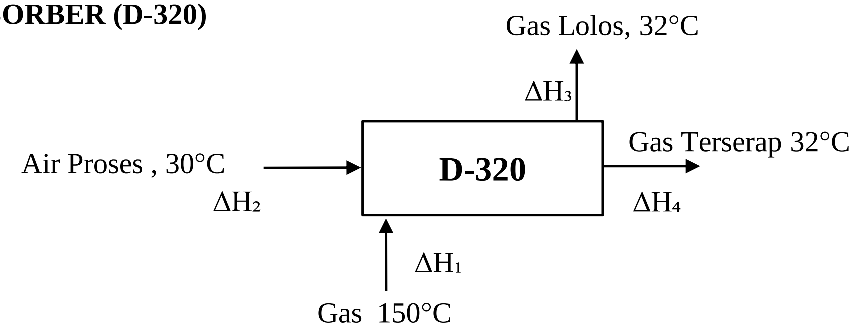
Q = m. Cp. ΔT

$m = \frac{Q}{Cp.\ \Delta T} = \frac{4.924.345 \text{ kkal}}{1 \text{ kkal/kg. K x } 15 \text{ K}} = 328.290$ kg

Neraca Panas :

Komponen Masuk (Kkal/jam)		Komponen Keluar (Kkal/jam)	
Gas Campuran dari Furnace		HCl ke Absorber	
HCl	2.134.313,9	HCL	313.133,6
SO3	571.192,9	H2O	517.170,7
H2O	2.869.161,0		830.304,3
	5.574.667,8	H2SO4 Ke Tangki penampung	
Qserap	- 4.924.344,9	H2SO4	89.205,8
		Q loss	- 246.217,2
		ΔHRX	- 22.970
Total	650.323		650.323

8. ABSORBER (D-320)



Kondisi Operasi :

T gas masuk	=	150	°C	=	423,2	K
T air proses	=	30	°C	=	303,2	K
T refference	=	25	°C	=	298,2	K
T gas lolos	=	32	°C	=	305,2	K
T cooling water masuk	=	30	°C	=	303,2	K
T cooling water keluar	=	45	°C	=	318,2	K

Neraca Panas Masuk :

1. Entalpi Produk Gas dari Coke Tower Pada Suhu 150 oC

T Masuk	=	150	°C	=	423,15	°K	=	302 °F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K	=	77 °F

$$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT \text{ HCl (g)} = \int_{Treff}^{T} (6{,}7 + 0{,}00084x(T)dT$$

$$= 6{,}7(423{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}00084(423{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}$$

= 875,4 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) =

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0{,}239x\left[18{,}3(373{,}15 - 298{,}15) + \frac{47{,}21x(10^{-2})(373{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{-133{,}9x(10^{-5})(373{,}15^3 - 298{,}15^3)}{3} + \frac{1{,}31x(10^{-9})x(373{,}15^4 - 298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 454,0 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (g) =

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (33{,}46 + 0{,}6880x(10^{-2})x(T) + (0{,}7604)x(10^{-5})x(T^2) + (-3{,}6)x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0{,}239x\left[33{,}46(423{,}15 - 298{,}15) + \frac{0{,}688x(10^{-2})(423{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{0{,}7604x(10^{-5})(423{,}15^3 - 298{,}15^3)}{3} + \frac{(-3{,}6)x(10^{-9})x(423{,}15^4 - 298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 1.098,4 kkal/kmol

Komponen	**BM**	**Berat (Kg)**	**kmol**	**Cp dT (kkal/kmol)**	**Δ H (kkal)**
HCl	36,5	13.056,65	357,72	875,4	313.133,6
H2O(l)	18	6.317,37	350,97	454,0	159.351,6
H2O(g)				1.098,4	385.497,8
Total		19.374			857.983,1

2. Entalpi Penambahan Air Proses Pada Suhu 30 oC

T Masuk = 30 °C = 303,15 °K = 86 °F
T Reff = 25 °C = 298,15 °K = 77 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) =

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0{,}239x\left[18{,}3(303{,}15 - 298{,}15) + \frac{47{,}21x(10^{-2})(303{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{-133{,}9x(10^{-5})(303{,}15^3 - 298{,}15^3)}{3} + \frac{1{,}31x(10^{-9})x(303{,}15^4 - 298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 36,2 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
H2O(l)	18	21.428,00	1.190,44	36,2	43.057,8
Total		21.428			43.057,8

Neraca Panas Keluar :

1. Entalpi Produk Ke Tangki Penyimpanan Pada Suhu 32 oC

T Reff = 25 °C = 298,15 °K = 77 °F
T Keluar = 32 °C = 305,15 °K = 89,6 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ HCl (aq) = $\int_{Treff}^{T} (6,7 + 0,00084x(T)dT$

$= 6,7(305,15 - 298,15) + \frac{0,00084(305,15^2 - 298,15^2)}{2}$

= 48,7 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) =

$= 0,239x \int_{Treff}^{T} (18,3 + 47,21x(10^{-2})x(T) + (-133,9)x(10^{-5})x(T^2)$
$+1,31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$

$= 0,239x\left[18,3(305,15 - 298,15) + \frac{47,21x(10^{-2})(305,15^2 - 298,15^2)}{2} + \frac{-133,9x(10^{-5})(305,15^3 - 298,15^3)}{3} + \frac{1,31x(10^{-9})x(305,15^4 - 298,15^4)}{4}\right]$

= 51,3 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	∆ H (kkal)
HCl	36,5	12.403,82	339,83	48,7	16.540,8
H2O(l)	18	26.358,10	1.464,34	51,3	75.116,5
Total		38.762			91.657,3

2. Entalpi Produk Campuran Ke udara Pada Suhu 30 oC

T Reff = 25 °C = 298,15 °K = 77 °F
T Keluar = 32 °C = 305,15 °K = 89,6 °F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ HCl (g) = $\int_{Treff}^{T} (6,7 + 0,00084x(T)dT$

$= 6,7(305,15 - 298,15) + \frac{0,00084(305,15^2 - 298,15^2)}{2}$

= 48,7 kkal/kmol

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2O (l) =

$$= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (18{,}3 + 47{,}21x(10^{-2})x(T) + (-133{,}9)x(10^{-5})x(T^2) + 1{,}31x(10^{-9})x(T^3))\ dT$$

$$= 0{,}239x\left[18{,}3(305{,}15 - 298{,}15) + \frac{47{,}21x(10^{-2})(305{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2} + \frac{-133{,}9x(10^{-5})(305{,}15^3 - 298{,}15^3)}{3} + \frac{1{,}31x(10^{-9})x(305{,}15^4 - 298{,}15^4)}{4}\right]$$

= 51,3 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
HCl	36,5	652,83	17,89	48,7	870,6
H2O(l)	18	1.387,00	77,06	51,3	3.952,7
Total		2.040			4.823,3

Neraca Energi Total :

ΔH masuk = ΔH keluar + Q serap
Q serap = ΔH masuk - ΔH keluar
= 901.040,8 - 96.480,6 kkal
Q serap = 804.560,2 kkal

Kebutuhan Pendingin :

T Masuk = 30 °C = 303,15 °K = 86 °F
T Reff = 25 °C = 298,15 °K 77 °F
T Keluar = 45 °C = 318,15 °K 113 °F (Ulrich, 427)

Cp air = 1 kkal/kg. K

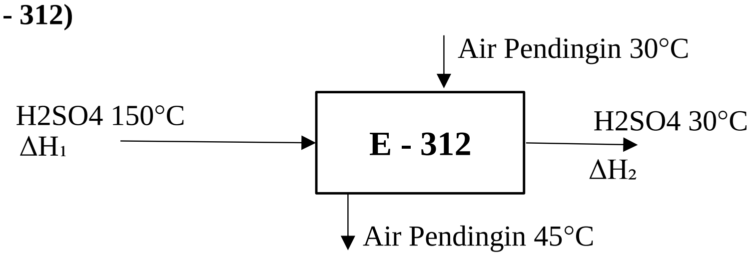
Q = m. Cp. ΔT

$$m = \frac{Q}{Cp.\ \Delta T} = \frac{804.560{,}2\ \text{kkal}}{1\ \text{kkal/kg. K} \times 15\ \text{K}} = 53.637{,}35\ \text{kg}$$

Neraca Panas :

Komponen Masuk (Kkal/jam)		Komponen Keluar (Kkal/jam)	
Gas dari Coke Tower		HCl ke Tangki Penyimpanan	
HCl	313.133,6	HCL	16.540,8
H2O	544.849,5	H2O	75.116,5
	857.983,1		91.657,3
Penambahan Air Proses		HCl ke Udara	
H2O	43.057,8	HCl	870,6
		H2O	3.952,7
			4.823,3
		Q serap	804.560,2
Total	901.041		901.041

9. Cooler (E - 312)



Kondisi Operasi : T H2SO4 masuk	=	150 °C	=	423,2	K
T refference	=	25 °C	=	298,2	K
T H2SO4 keluar	=	30 °C	=	303,2	K

Entalpi Masuk :

1. Entalpi Produk H2SO4 dari Coke Tower Pada Suhu 150 oC

T Masuk	=	150	°C	=	423,15	°K	=	302	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K	=	77	°F
T Keluar	=	30	°C	=	303,15	°K	=	86	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\, dT$ H2SO4 (l) $= 0{,}239 x \int_{Treff}^{T} (139{,}1 + 15{,}59 x (10^{-2}) x (T))\, dT$

$= 0{,}239 x \left[139{,}1(423{,}15 - 298{,}15) + \frac{15{,}59 x 10^{-2}(423{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}\right]$

= 5835,34 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
H2SO4	98,08	1.499,36	15,29	5.835,34	89.205,8
Total		1.499,36			89.205,8

Entalpi Keluar :

2. Entalpi Produk H2SO4 Ke Tangki Penampungan

T Masuk	=	150	°C	=	423,15	°K	=	302	°F
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K	=	77	°F
T Keluar	=	32	°C	=	305,15	°K	=	89,6	°F

$\int_{Tref}^{T} Cp\ dT$ H2SO4 (l) $= 0{,}239x \int_{Treff}^{T} (139{,}1 + 15{,}59x(10^{-2})x(T))\ dT$

$= 0{,}239x \left[139{,}1(305{,}15 - 298{,}15) + \frac{15{,}59x10^{-2}(305{,}15^2 - 298{,}15^2)}{2}\right]$

= 311,39 kkal/kmol

Komponen	BM	Berat (Kg)	kmol	Cp dT (kkal/kmol)	Δ H (kkal)
H2SO4	98,08	1.499,36	15,29	311,39	4.760,3
Total		1.499,36			4.760,3

Neraca Energi Total :

ΔH masuk = ΔH keluar + Q serap

Q serap = ΔH masuk - ΔH keluar

= 89.205,8 - 4.760,3 kkal

Q serap = 84.445,6 kkal

Kebutuhan Pendingin :

T Masuk	=	30	°C	=	303,15	°K	=	86	°F	
T Reff	=	25	°C	=	298,15	°K	=	77	°F	
T Keluar	=	45	°C	=	318,15	°K	=	113	°F	(Ulrich, 427)

Cp air = 1 kkal/ kg. K

Q = m. Cp. ΔT

$m = \frac{Q}{Cp.\ \Delta T} = \frac{84.445{,}6\ \text{kkal}}{1\ \text{kkal/ kg. K} \times 15\ \text{K}} = 5.629{,}70\ \text{kg}$

Neraca Panas :

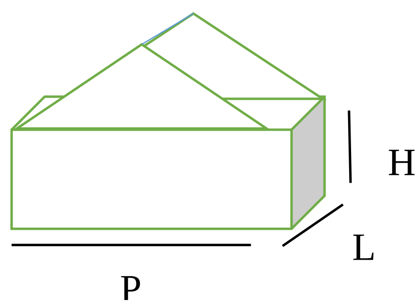
Komponen Masuk (Kkal/jam)		Komponen Keluar (Kkal/jam)	
H2SO4 dari Coke Tower		H2SO4 Ke Tangki penampung	
H2SO4	89.205,8	H2SO4	4.760,3
		Q serap	84.445,6
Total	89.206		89.206

APPENDIX C
SPESIFIKASI ALAT

Kapasitas produksi	=	450.000	ton/tahun	
Waktu operasi	=	24 jam/hari	330	hari/tahun
Satuan massa	=	kilogram/jam		
Satuan panas	=	kilokalori/jam		

1. GUDANG STOK GARAM

Fungsi : Menampung garam dari suplier
Tipe : Bangunan segi 4
Dasar pemilihan : Bahan tidak hygroscopic.
Kondisi operasi : Suhu gudang = 30 °C suhu kamar
Tekanan = 1 atm
Waktu tinggal = 7 hari



Perhitungan :

Komposisi Bahan Baku :

A. Garam (NaCl) Dari PT. Garam

Komponen	Berat (Kg)	% Berat	ρ Bahan (gr/cc)
NaCl	21.330,00	95,80%	2,16
CaSO4	22,27	0,10%	2,96
MgSO4	66,80	0,30%	2,66
H2O	846,08	3,80%	1
Total	22.265,14	100%	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}958}{2{,}160} + \frac{0{,}001}{2{,}960} + \frac{0{,}003}{2{,}660} + \frac{0{,}038}{1}} \text{ x } 62{,}43$$

= 2,0705 gr/cc x 62,43 lb/cuft

= 129,3 lb/cuft

Rate massa = 22.265 kg / jam
= 48.983,3 lb/jam

Rate Volumetrik $= \dfrac{\text{Rate Massa}}{\rho \text{ campuran}}$

$= \dfrac{48.983,3}{129,3}$

= 378,95 cuft/jam

Menentukan kapasitas gudang

Direncanakan penyimpanan untuk 7 hari proses

Sehingga volume bahan :

Volume bahan = 378,95 $\dfrac{\text{cuft}}{\text{jam}}$ x 7 hari x 24 $\dfrac{\text{jam}}{\text{hari}}$

= 63.664 cuft = 1.801,7 m^3

Assumsi, volume gudang lebih besar 20% dari volume bahan

Volume gudang = 120%

Ditentukan, Waktu tinggal : 7 hari
Tinggi : 1 x
Panjang : 2 x
Lebar : 1 x

Maka, volume gudang = 1.801,7 x 120%
= 2.162 m^3

Maka, Volume gudang = Panjang x Lebar x Tinggi
2.162 m^3 = 2 x^3
x^3 = 1.081 m^3
x = 10 m

Didapatkan : Panjang = 2 x = 20,5 m
Lebar = 1 x = 10,26 m
Tinggi = 1 x = 10,26 m

Luas alas = p x l
20,5 x 10,26
= 211 m^2

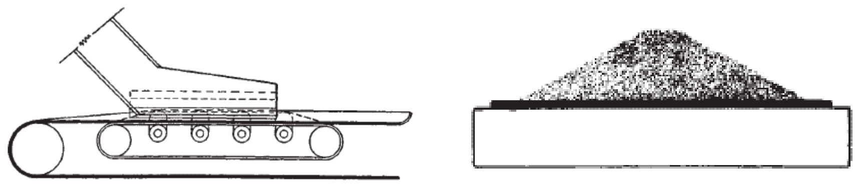
Spesifikasi alat :

Fungsi : Menampung garam dari suplier
Kapasitas : 2.162 m^3
Type : Bangunan 4 Persegi Panjang
Waktu Penyimpanan : 7 hari proses
Ukuran Gudang : panjang = 20,5 m

	lebar	=	10,26 m
	tinggi	=	10,26 m
Jumlah	: 1 buah		

2. BELT CONVEYOR

Fungsi : Memindahkan bahan dari gudang stok garam ke bucket elevator
Tipe : Flat Belt Conveyor
Dasar pemilihan : Umum digunakan untuk memindahkan bahan padatan



Perhitungan :

Rate massa = 22.265 kg/jam = 22,265 ton/jam

kapasitas 22,265 ton/jam dari perry 7ed, tabel 21-7 dan fig. 21-4

dipilih belt conveyor dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Kapasitas maksimum = 32 ton/jam
- Hp tiap 10 ft (linier-ft) = 0,3 (hp / 10ft linier)
- Belt width = 14 in
- Speed = 200 ft/menit

Asumsi : Jarak belt conveyor = 16 ft
Tinggi belt = 4,5 ft

Perhitungan Power :

hp/10 ft = 0,3 hp

$$hp = \frac{16}{10} \times 0,3 = 0,5 \text{ hp}$$

Penambahan power untuk triper = 2 hp *(Perry 7ed. T.21-7)*

Power total = 0,5 + 2 = 2,5 hp

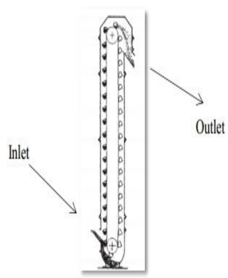
Spesifikasi :

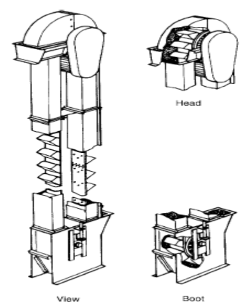
Fungsi	:	Memindahkan bahan dari Gudang ke Furnace
Type	:	Flat Belt Conveyor
Kapasitas maks	:	32 ton/jam
Belt width	:	14 in
Trought width	:	9 in
Skirt Seal	:	2 in
Belt speed	:	200 ft/min

Panjang	:	16 ft
Power	:	2,54 hp
Jumlah	:	1 buah

3. BUCKET ELEVATOR - 1

Fungsi	:	Memindahkan bahan dari belt conveyor menuju hopper NaCl
Tipe	:	Continous Discharge Bucket Elevator
Dasar Pemilihan	:	Untuk memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu





Perhitungan :

Rate massa = 22.265 kg/jam = 22,27 ton/jam

Berdasarkan kapsitas 22,27 ton/jam dari Perry 7ed, tabel 21-8

dipilih bucket elevator dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Tinggi bucket = Tinggi (hopper + screw + furnace)
  = 16,4 + 4 + 18
  = 38,7 ft
- Bucket speed = 225 ft/min
- Kapasitas maksimum = 27 ton/jam
- Putaran head shaft (kepala poros) = 43 rpm

Perhitungan power (Perry 7ed , Tabel 21-8)

Power pada head shaft = 1,6 hp

Power tambahan = 0,04 hp/ft
= 0,04 hp/ft x 38,7 ft
= 1,549 hp

Power total = 1,6 + 1,549 = 3,149 hp

Efisiensi motor = 80%

Power total $= \frac{3,149}{80\%}$

= 3,936 hp

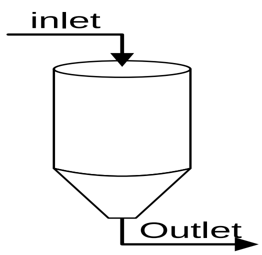
Spesifikasi :

Fungsi	:	Memindahkan NaCl ke hopper
Type	:	Continuous discharge bucket elevator
Kapasitas maksimum	:	27 ton / jam

Tinggi bucket	:	38,7	ft
Ukuran bucket	:	8" x 5"x 5,5" (in)	
Bucket spacing	:	14	in
Putaran head shaft	:	43	rpm
Lebar belt	:	9	in
Power	:	3,936	hp
Jumlah	:	1	buah

4. HOPPER NATRIUM KLORIDA

Fungsi : Menampung NaCl dari bucket elevator
Type : Silinder tegak dengan tutup atas plat dan bawah conis
Dasar Pemilihan : Umum digunakan menampung padatan



Kondisi Operasi :
a. Tekanan : 1 atm
b. Suhu : 30 °C
c. Waktu tinggal : 0,5 jam

Perhitungan :

Komposisi Bahan Baku :

A. Garam (NaCl) Dari PT. Garam

Komponen	Berat (Kg)	% Berat	ρ Bahan (gr/cc)
NaCl	21353	95,80%	2,16
CaSO4	22,29	0,10%	2,96
MgSO4	66,87	0,30%	2,66
H2O	847,01	3,80%	1
Total	22290	100,00%	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}958}{2{,}160} + \frac{0{,}001}{2{,}960} + \frac{0{,}003}{2{,}660} + \frac{0{,}038}{1{,}000}} \text{ x } 62{,}43$$

= 2,0705 gr/cc x 62,43 lb. cc/cuft. gr
= 129,26 lb/cuft

Rate massa = 56.818 kg / jam = 125.000 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho\ \text{campuran}} = \frac{125.000}{129{,}26} = 967{,}05 \text{ cuft/jam}$$

Menentukan kapasitas tangki

Direncanakan penyimpanan untuk 0,5 jam dengan 1 buah tangki, sehingga :

Volume bahan = 967,05 cuft/jam x 0,5 jam
= 483,5 cuft
= 14 m^3

Asumsi volume bahan mengisi 80% volume tangki sehingga volume ruang kosong sebesar 20% dan digunakan 1 buah tangki.

$$\text{Volume tangki} = \frac{483{,}5}{80\%}$$

= 604 cuft = 17,10 m^3

Menentukan dimensi tangki

Asumsi dimensi ratio : H/D = 2 *(Ulrich T.4 - 27)*

Volume Tangki = ¼ π D^2 H

604,41 = 0,79 x D^2 x 2 D

D^3 = 384,97 H = 2 D

Dt = 7,27 ft = 14,549 ft

= 87,30 in = 174,591 in

= 2,22 m = 4,43 m

Menentukan tekanan desaign dalam tangki

P operasi = 1 atm = 14,7 psi

Tekanan over design yang digunakan 5-10% dari kerja normal

Tekanan design 10% dari tekanan operasi hopper untuk faktor keamanan

P_D = P operasi x 1,1 *(Rules of thumb. Walas,1998)*
= 14,7 x 1,1
= 16,17 psi

Menentukan tebal minimum shell

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank :

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0{,}6P} + C$$ *(Brownell,pers. 13-1,hal 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum, in

P = tekanan tangki, psi

ri = jari-jari tangki, in (1/2 D)

C = faktor korosi, in (digunakan 1/8 in)

E = faktor pengelasan digunakan double welded E = 0,8

f = allowable stress, digunakan konstruksi carbon steel SA-283 grade C

f = 12.650 psi ***[Brownell T.13-1]***

ri = 0,5 x 7,27 ft = 3,64 ft = 43,65 in

Asumsi tebal shell = 4/16 in

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

$$4/16 = \frac{16,17 \times 43,65}{f \times 0,8 - 0,6 \times 16,17} + 1/8$$

$$2/16 = \frac{705,78}{f \times 0,80 - 9,70}$$

f = 7.070,0 psi

f hitung < dari f allowable , jadi tebal shell 4/16 in dapat digunakan

Tutup bawah berupa conical *(Brownell eq. 6-154 ; 118)*

Jenis : Conical

Type las : Single welded butt joint tanpa backing up strip

Tebal tutup : Asumsi th : 5/16 in

$$th = \frac{P\ design\ .\ D}{2 \cos \alpha\ (f.e - 0,6\ P)} + C$$

$$5/16 = \frac{16,17 \times 87,30}{2 \cos 30\ (\ f\ 0,7 - 9,70\ )} + 1/8$$

$$3/16 = \frac{1.411,57}{1,21\ f - 16,80}$$

= 6.223,1

f hitung < f allowable , jadi tebal shell 5/16 in bisa digunakan

Tinggi conical

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

Dengan : α : sudut conis, 30 °
D : diameter tangki ; ft
m : flat spot diameter = 12 in = 1 ft

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

$$= \frac{tg\ (\ 30\ ) \times (\ 7,27 - 1\ )}{2}$$

$$= \frac{0,58 \times 6,27}{2}$$

= 1,81 ft = 0,55 m

Spesifikasi :

Fungsi	:	Menampung Natrium klorida dari bucket elevator
Type	:	Silinder tegak dengan tutup atas plat dan bawah conis
Kapasitas	:	604,41 cuft = 16,92 m^3
Diameter tangki	:	7,27 ft = 2,22 m
Tinggi tangki	:	14,55 ft = 4,43 m
Tebal shell	:	4/16 in
tebal tutup atas	:	4/16 in
Tebal tutup bawah	:	5/16 in
Tinggi tutup bawah	:	1,81 ft = 0,55 m
Bahan konstruksi	:	Carbon Steel SA-283 grade C
Jumlah	:	1 buah

5. SCREW CONVEYOR - 1

Fungsi	:	Memindahkan bahan dari hopper ke furnace
Type	:	Plain spouts or chutes
Dasar pemilihan	:	Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup

Perhitungan :

Komposisi Bahan Baku :

A. Garam (NaCl) Dari PT. Garam

Komponen	Berat (Kg)	% Berat	ρ Bahan (gr/cc)
NaCl	21.353	95,80%	2,16
CaSO4	22	0,10%	2,96
MgSO4	67	0,30%	2,66
H2O	847	3,80%	1
Total	22.290	100,00%	

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

$$= \frac{1}{\frac{0,958}{2,160} + \frac{0,001}{2,960} + \frac{0,003}{2,660} + \frac{0,038}{1}} \times 62,43$$

= 2,07 gr/cc x 62,43 lb. cc/ cuft. gr

= 129,26 lb/cuft

Rate massa = 22.265 kg / jam = 49.086 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho\ \text{campuran}} = \frac{49.086}{129,26}\ \text{lb/jam} = 379,75\ \text{cuft/jam}$$

= 6,33 cuft/mnt

Untuk densitas > 100 lb/cuft, bahan termasuk kelas D dengan F = 3

$$\text{Power motor} = \frac{C.L.W.F}{33.000}$$ *(Badger, T. 16-5)*

Dimana, C = Kapasitas, cuft/mnt
L = Panjang, ft
W = Densitas bahan lb/cuft
F = Faktor bahan

Asumsi panjang screw : L = 20 ft lb/cuft

$$\text{Power motor} = \frac{6,33 \times 20 \times 129,26 \times 3}{33000} = 1,49 \text{ hp}$$

Untuk power < 2 hp, maka dikalikan 2 *(Badger ; 713)*
1,49 x 2 = 2,97 hp

Efisiensi motor = 80%

$$\text{Power motor} = \frac{2,97}{80\%} = 3,72 \text{ hp}$$

Dari Badger, fig 16-20 untuk kapasitas 379,75 cuft/jam digunakan :
Diameter = 12 in
Kecepatan putaran = 30 rpm

Spesifikasi :

Fungsi	: Memindahkan bahan dari hopper ke furnace
Type	: Plain spouts or chutes
Kapasitas	: 379,75 cuft/jam
Panjang	: 20 ft
Diameter	: 12 in
Kecepatan putaran	: 30 rpm
Power	: 3,72 hp
Jumlah	: 1 buah

6. TANGKI PENAMPUNG H_2SO_4

Fungsi	: Menampung sulfuric acid dari supplier
Type	: Silinder tegak, tutup bawah datar dan tutup atas Torispherical dished
Dasar pemilihan	: Umum digunakan pada tekanan atmospheric.
Kondisi operasi	:
Waktu tinggal	= 7 hari
Suhu operasi	= 30 °C

Tekanan operasi = 1 atm

Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
H_2SO_4	0,980	19.027	1,83
H_2O	0,020	388,32	1
Total	1,000	19.416	

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

$$= \frac{1}{\frac{0,98}{1,83} + \frac{0,02}{1}} \times 62,43$$

= 1,80 gr/cc x 62,43 lb. cc/cuft. gr

= 112,62 lb/cuft

Rate massa = 19.416 kg / jam = 42.804 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho\ \text{campuran}} = \frac{42.804}{112,62}$$

= 380,08 cuft/jam

Menentukan kapasitas tangki

Direncanakan 7 tangki penyimpanan untuk 7 hari proses
sehingga volume bahan masing-masing adalah

$$\text{Volume} = \frac{380,08\ \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times \frac{24\ \text{jam}}{1\ \text{hari}} \times 7\ \text{hari}}{7} = 9.122\ \text{cuft}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (faktor keamanan)

$$\text{Volume Tangki} = \frac{9.122}{0,8}\ \text{cuft}$$

= 11.402 cuft = 323 m^3

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya

$$\text{Dimensi ratio} = \frac{H}{D} = 2$$ *(Ulrich ; T.4-27 : 248)*

Dengan mengabaikan volume dished head

Volume tangki = $\frac{1}{4} \pi D^2 H$

11.402 = 0,79 x D^2 x 2 D

D^3 = 7.263
Dt = 19,37 ft
= 232,39 in
= 5,90 m

Maka, Ht = 2 Dt = 38,73 ft
= 464,78 in
= 11,81 m

Tinggi cairan dalam tangki :

Volume feed = $\pi/4 \times D^2 \times H$
9.122 = 0,79 x 375 x H
9.122 = 294 H
H = 31 ft

Menentukan tebal shell

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$ *(Brownell,pers. 13-1,hal 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum, in
P = tekanan tangki, psi
ri = jari-jari tangki, in (1/2 D)
C = faktor korosi, in (digunakan 1/8 in)
E = faktor pengelasan digunakan double welded E = 0,8
f = allowable stress, digunakan konstruksi SA-283 grade C
f = 12650 psi ***[Brownell T.13-1]***

Asumsi : Volume feed = 80%

P hidrostatis = $\rho \times g \times H$

$$= \frac{112,62 \text{ lb/cuft} \times 32 \text{ ft/s}^2 \times 31 \text{ ft}}{32 \text{ ft.lb/s}^2\text{.lbf} \times 144 \text{ inch}^2/\text{ft}^2}$$

= 24 psi

P operasi = Pin - Pout + P hidrostatis
= 14,7 psi - 14,7 psi + 24 psi
= 24 psig

P design sebesar 10% lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 24 x 110%
= 27 psi

ri = 0,5 x D
= 116,19 in

Asumsi tebal shell = 1/2 in

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

$$1/2 = \frac{27 \times 116,19}{f \times 0,8 - 0,6 \times 27} + 1/8$$

$$3/8 = \frac{3097,24}{f \times 0,8 - 16}$$

f = 10.304 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 1/2 in dapat digunakan

Tebal tutup atas (Torispherical dished) :

$$t_h = \frac{0,885 \times P \times rc}{f.e - 0,1 P} + C$$ *(Brownell , pers.13-12)*

dengan:

t_h = tebal tutup (head) shell minimum ; in

r_c = *crown radius* ; in

P = tekanan tangki ; psia

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

C = faktor korosi (digunakan 1/8 in)

f = allowable stress, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C,
maka f = 12650 psi [Brownell, T.13-1]

OD = D + 2 ts
= 232,39 + 1,00
= 233,39 in

Diambil OD standart = 240 in

rc = 180 in

Asumsi tebal head = 5/8 in

$$t_h = \frac{0,885 \times P \times rc}{f.e - 0,1 P} + C$$

$$5/8 = \frac{0,885 \times 27 \times 180}{f \times 0,8 - 0,1 \times 27} + 1/8$$

$$4/8 = \frac{4246,264}{f \times 0,8 - 2,7}$$

f = 10.612 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 5/8 in dapat digunakan

$$h = rc - \sqrt{rc^2 - \frac{D^2}{4}}$$ *(Hesse, hal 92)*

= 180 - 137,47
= 42,53 in = 3,54 ft

Tebal tutup bawah datar karena tutup bawah menumpah diatas semen (pondasi), maka tebal
tutup bawah = 5/16 *(Brownell : 58)*

Spesifikasi peralatan :

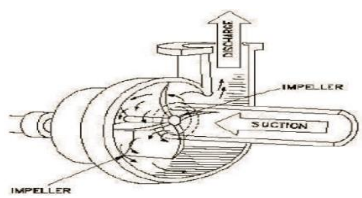
Fungsi	:	Menampung sulfuric acid dari supplier
Type	:	Silinder tegak, tutup bawah datar dan tutup atas Torispherical dished

Dimensi shell:

Diameter tangki	:	19,37 ft
Tinggi tangki	:	38,73 ft
Tebal shell	:	1/2 in
Tebal tutup atas	:	5/8 in
Tebal tutup bawah	:	5/16 in
Tinggi tutup	:	3,54 ft
Bahan konstruksi	:	Carbon steel SA-283 Grade C *(Brownell ; 253)*
Jumlah	:	7 buah

7. POMPA - 1

Fungsi	:	Mengalirkan H_2SO_4 dari storage ke tangki pengencer
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid



Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
H_2SO_4	0,98	19.027	1,83
H_2O	0,02	388	1
Total	1	19.416	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}98}{1{,}83} + \frac{0{,}02}{1}} \times 62{,}43$$

$= 1{,}80$ gr/cc x 62,43 lb/cuft

$= 112{,}62$ lb/cuft

Rate massa = 19.416 kg/jam = 42.804 lb/jam = 11,89 lb/dt

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho \text{ campuran}} = \frac{42.804 \text{ lb/jam}}{112,62 \text{ lb/cuft}}$$

= 380,08 cuft/jam
= 47,39 gpm
= 0,11 cuft/dt

Asumsi : aliran turbulen

Di (diameter inside) optimum untuk aliran turbulen digunakan persamaan (15) peters :

Diameter optimum (in) = $3.9 \times q_f^{0.45} \times \rho^{0.13}$ *[Peters, 4 ed , pers.15 : 496]*

Dengan :

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)
ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $3,9 \times 0,11^{0,45} \times 112,62^{0,13}$
= 2,6205 in

Dipilih pipa 3 in, sch 40 *(Kern Tabel 11)*

OD = 3,5 in
ID = 3,068 in = 0,26 ft = 0,0779 m

A = 1/4 x π x ID² = 1/4 x 3,14 x $0,26^2$ = 0,05 ft^2

$$\text{Kecepatan aliran, v} = \frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Area pipa}} = \frac{0,11 \text{ cuft/detik}}{0,05 \text{ ft}^2}$$

= 2,06 ft/ detik

ρ reference = 62,43 lb/cuft
Sg reference = 0,996 lbf/lbm
μ reference = 0,00085 lb/ft.detik

$$\text{Sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} \times \text{Sg reference} = \frac{112,62}{62,43} \times 0,996$$

= 1,80

Berdasarkan Sg bahan

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

$$= \frac{1{,}80}{0{,}996} \times 0{,}00085$$

$$= 0{,}00153 \text{ lb/ft.detik}$$

$$NRe = \frac{ID\ v\ \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}26 \text{ ft} \times 2{,}06 \text{ ft/detik} \times 112{,}62 \text{ lb/ cuft}}{0{,}00153 \text{ lb/ ft.detik}}$$

$$= 38.637{,}45 > 2100$$ (Asumsi turbulen benar)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 *(Geankoplis ; Page 88)*

ε/D = 0,0006

f = 0,007 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

gc = 32,17 ft.lbm/detik^2.lbf

Digunakan persamaan Bernoulli :

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\ \alpha\ gc} + \Sigma F$$

Perhitungan friksi berdasarkan **Peters, 4^{ed} Tabel 1 halaman 484**

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve open	7
Globe valve open	300

(Peters & Timmerhause ; 484 - 485)

Panjang ekuivalen suction, I **(Peters 4^{ed} , Tabel - 1)**

ID pipa = 0,26 ft

	Taksiran panjang pipa lurus						=	50	ft
4 Elbow 90^o	=	4	x	32	x	0,26	=	32,73	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,26	=	1,79	ft
1 Globe Valve	=	1	x	300	x	0,26	=	76,70	ft
Panjang Total Pipa							=	161,22	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2 \times f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0{,}0070 \times 2{,}06^2 \times 161{,}22}{32{,}17 \times 0{,}26}$$

$$= \frac{9{,}56}{8{,}23} = 1{,}16 \text{ ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$F_2 = \dfrac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$ k = 0,5 ; A tangki >>> A pipa

α = 1 ; untuk aliran turbulen

$= \dfrac{0{,}5 \times 2{,}06^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$ *[Peters 4 ed ; 484]*

= 0,033 $ft.lb_f / lb_m$

3. Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$F_3 = \dfrac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$

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

$= \dfrac{2{,}06^2 - 0}{2 \times 1 \times 32{,}17}$

= 0,066 $ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena elbow 90 ˚

$F_4 = \dfrac{K_f \times V_1^2}{2} = \dfrac{0{,}75 \times 2{,}06}{2} = 0{,}77$ ft lbf/lbm

5, Friksi karena gate valve (Geankoplis ; 93)

$F_5 = \dfrac{K_f \times V_1^2}{2} = \dfrac{0{,}17 \times 2{,}06}{2} = 0{,}17$ ft lbf/lbm

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$

= 1,16 + 0,033 + 0,066 + 0,77 + 0,17

= 2,21 ft lbf /lbm

Menghitung Energi Tekanan

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H	=	31	ft
ρ bahan	=	112,62	lb/cuft
P hidrostatis	=	ρ x H x	g/gc
	=	112,62 x	31
	=	3.489,48	lbf/ft^2

P_2 = 1 atm = 2117 lbf/ft^2

ΔP = $P_2 - P_1$

= 2117 - 3489,48

= 1.373 lbf/ft^2

$\dfrac{\Delta P}{\rho} = \dfrac{1.373 \ lbf/ft^2}{112{,}62 \ lb/cuft}$

$= 12{,}19 \ \dfrac{ft.lbf}{lbm}$

Menghitung Eergi Potensial

Asumsi : Z_2 = tinggi tangki pengencer + pipa
= 12,65 + 6
= 18,65 ft
Z_1 = 0 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times \frac{g}{gc}$$
$$= (18{,}65 - 0)\ \text{ft} \times 1 \frac{\text{ft/dt}^2}{\text{ft.lbm/dt}^2\text{.lbf}}$$
$$= 18{,}65 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Menghitung Energi Kinetik

g, percepatan gravitasi bumi = 32 ft/dt^2
gc, konstanta gravitasi bumi = 32,17 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2{,}06^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$
$$= 0{,}0658\ \text{ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\,\alpha\,gc} + \Sigma F$$
$$= 12{,}19 + 18{,}65 + 0{,}07 + 2{,}21$$
$$= 33{,}12 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Rate massa = 11,89 lb/dt

$$Hp = \frac{-\,Wf \times \text{rate massa}}{550}$$ *(Perry 6 ed ; Pers 6-11, Page 6-5)*
$$= \frac{33{,}12 \times 11{,}89}{550}$$
$$= 0{,}72\ \text{Hp}$$

Effisiensi Pompa = 40% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37)*

$$Bhp = \frac{Hp}{\eta\ \text{pompa}}$$
$$= \frac{0{,}72\ \text{Hp}}{40\%}$$
$$= 2\ \text{Hp}$$

Effisiensi motor = 80% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 38)*

$$\text{Power motor} = \frac{\text{Bhp}}{\eta \text{ motor}} = \frac{1{,}79}{80\%} = 2{,}24 \text{ Hp}$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Memindahkan asam sulfat ke tangki pengencer
Type	:	Centrifugal pump
Dasar pemilihan	:	Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid
Kapasitas	:	42.804,43 lb/jam
Kecepatan aliran (v)	:	2,06 ft/detik
BHp	:	1,8 Hp
Power Motor	:	2,2 Hp
Rate volumetrik	:	47,39 gpm
Total Dynamic Head	:	33,12 ft.lbf/lbm
Effisiensi Pompa	:	40%
Effisiensi Motor	:	80%
Bahan Konstruksi	:	Commercial Steel
Jumlah	:	1 Buah

8. TANGKI PENGENCER H_2SO_4

Fungsi	:	Mengencerkan Asam Sulfat 98% menjadi larutan asam sulfat 77.67%
Type	:	Silinder tegak dengan bagian atas dan bawah torissphericał dengan dilengkapi pengaduk
Dasar pemilihan	:	Umum digunakan pada liquid tekanan atmosphere

Perhitungan :

Komponen bahan

Komponen	Rate Massa (kg / jam)	Densitas (lb/cuft)	Fraksi Berat
H_2SO_4	19.027	112,62	0,777
H_2O	5.470	62,43	0,223
Total	24498		1

Feed Asam Sulfat 98% :

Rate massa = 19.027 kg/jam = 41.948 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}} = \frac{41.948 \text{ lb/jam}}{112{,}62 \text{ lb/cuft}} = 372{,}483 \text{ cuft/jam}$$

Feed Air Proses dari utilitas :

Rate massa = 5.470 kg/jam = 12.060 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$$

$$= \frac{12.060 \text{ lb/jam}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 193,18 \text{ cuft/jam}$$

Total rate volumetrik = 372,48 + 193,18 cuft/jam = 566 cuft/jam

Digunakan 1 tangki untuk 1 jam proses, maka volume bahan :

$$\text{Volume Bahan} = 566 \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times 1 \text{ jam} = 566 \text{ cuft}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (faktor keamanan)

Asumsi volume bahan = 80% volume tangki

$$\text{Maka volume tangki} = \frac{566 \text{ cuft}}{80\%} = 707 \text{ cuft}$$

Menentukan Dimensi Tangki

Asumsi Dimention ratio = H/D = 1,5

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

707 = 1/4 x 3,14 x D^2 x 1,5 D

600 = D^3 * H = 1,5 D

D = 8,44 ft   = 12,65 ft

= 101,24 in   = 151,86 in

= 2,57 m   = 3,86 m

H bahan = 80% x H tangki = 10,12 ft

Komposisi campuran

Komponen	**Fraksi Berat**	**Berat (kg)**	**ρ Bahan (gr/cc)** *(Perry8ed, T.2-103)*
H_2SO_4	0,777	19.027	1,68
H_2O	0,223	5.470	1
Total	1	24.498	

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

$$= \frac{1}{\frac{0,777}{1,68} + \frac{0,223}{1}} \times 62,43$$

= 1,46 gr/cc x 62,43 lb/cuft
= 91,06 lb/cuft

Rate massa = 24.498 kg / jam
= 54.008 lb/jam

Menentukan tebal sheel

Bahan : Carbon Steel SA-283 Grade C
Tipe : Double welded butt joint

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$ *(Brownell, pers, 13-1 ; 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum , in
P = tekanan tangki , psi
ri = jari-jari tangki , in (1/2D)
C = faktor korosi 1/8
E = faktor pengelasan E = 0,8
f = stress allowable , psi f = 12650 psi
Carbon Steel SA - 283 grade C
(Brownell, T-13.1 ; 251)

Phidrostatis = ρ x g x H
= 91,06 x 1 x 10,12
= 921,85 lb/ft² = 6,40 psi
P operasi = P atmosfer + p hidrostatis
= 14,7 psi + 6,40 psi
= 21,10 psi
Pdesign 10% lebih besar untuk faktor keamanan
P design = 21,10 x 110%
= 23,21 psig
ri = 0,5 D
= 0,5 x 101,2 inch
= 50,62 inch

Asumsi tebal shell = 4/16 in

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$

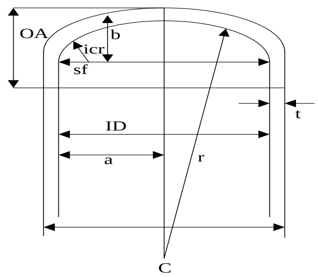
$$4/16 = \frac{23,21 \times 50,62}{f \quad 0,8 - 0,6 \quad 23,21} + 1/8$$

$$2/16 = \frac{1174,98}{f \quad 0,8 - 13,9271}$$

f = 11.767 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 4/16 in dapat digunakan

Menentukan tebal tutup atas dan bawah berbentuk torisspherical



Tebal tutup atas (Torispherical dished) :

$$t_h = \frac{0{,}885 \text{ x P x rc}}{\text{f.e - 0,1 P}} + C$$ *(Brownell , pers.13-12)*

dengan:

t_h = tebal tutup (head) shell minimum ; in
r_c = *crown radius* ; in
P = tekanan tangki ; psia
E = faktor pengelasan, digunakan jenis *double welded butt joint.* E = 0,8
C = faktor korosi (digunakan 1/8 in)
f = allowable stress, bahan konstruksi Carbon Steel SA-283 grade C
maka f = 12.650 psi *[Brownell, T.13-1]*

OD = D + 2 ts
= 101,24 + 0,50
= 101,74 in
Diambil OD standart = 102 in
rc = 96 in

Asumsi tebal head = 6/16 in

$$t_h = \frac{0{,}885 \text{ x P x rc}}{\text{f.e - 0,1 P}} + C$$

$$6/16 = \frac{0{,}89 \quad \text{x} \quad 23{,}21 \quad \text{x} \quad 96}{\text{f} \quad \text{x} \quad 0{,}8 \; - \; 0{,}1 \quad \text{x} \quad 23{,}21} + 1/8$$

$$2/8 = \frac{1972{,}08}{\text{f} \quad \text{x} \quad 0{,}8 \; - \; 2{,}32}$$

f = 9.858 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 6/16 in dapat digunakan

$$h = rc - \sqrt{rc^2 - \frac{D^2}{4}}$$ *(Hesse, hal 92)*

= 96 - 81,57
= 14,43 in = 1,20 ft

Menentukan sistem pengaduk

Digunakan impeler jenis turbin 6 buah blade dan baffle 4 buah

(Mc.Cabe 5th ed ;243)

Diameter impeler (Da)	=	1/3	diameter tangki							
	=	1/3	x	8,437	=	2,812	ft	=	0,844	m
Lebar blade (W)	=	1/5	diameter impeler							
	=	1/5	x	2,812	=	0,562	ft			
Panjang blade	=	1/4	diameter impeler							
	=	1/4	x	2,812	=	0,703	ft			
Lebar baffle	=	1/12	diameter tangki							
	=	1/12	x	8,437	=	0,703	ft			
Jarak impeller dari dasar	=	1/3	diameter tangki							
	=	1/3	x	8,437	=	2,812	ft			

Penentuan putaran pengaduk

V = π x Da x N *(Mc.Cabe 5th ed ;244)*

Untuk pengaduk jenis turbin :

Peripheral speed = 200 - 250 m/menit

V = Peripheral speed , m/mnt

Da = diameter pengaduk , m

N = putaran pengaduk, rpm

Diambil V = 200 m/min = 3,33 m/dt = 10,936 m/dt

V = π x Da x N

200 = 3,14 x 0,844 x N

N = 75,498 rpm

Penentuan jumlah pengaduk :

$$\text{Sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} = \frac{91,06 \text{ lb/cuft}}{62,43 \text{ lb/cuft}} = 1,46$$

$$\text{Jumlah impeler} = \frac{\text{tinggi liquida x sg}}{\text{Diameter tangki}} = \frac{10,12 \times 1,46}{8,437} = 1,7502 \approx 2 \text{ buah}$$

Jarak pengaduk = 1,5 x Da = 4,2 ft

Bilangan reynold ; Nre :

Putaran pengaduk = 75,5 rpm = 1,3 rps

ρcampuran = 91,06 lb/cuft

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

$$= \frac{1,46}{0,996} \times 0,00085$$

= 0,00124 lb/ft.detik

$$Nre = \frac{\rho \times Da^2 \times N}{\mu}$$

$$= \frac{91,06 \text{ lb/cuft} \times 7,908 \text{ ft}^2 \times 1,3 \text{ rps}}{0,00124 \text{ lb/ft.detik}}$$

= 727.960,5

Karena Nre > 10000, maka digunakan baffle *(Perry 6ed ; 19-8)*

Untuk Nre > 10000 diperlukan 4 buah baffle, sudut 90° *(Perry 6ed ; 19-8)*

Lebar baffle, (J) : J / Dt = 1/12

Lebar baffle, J = 1/12 x Dt

= 1/12 x 8,4 ft

= 0,7 ft

Power pengaduk :

Untuk Nre > 10000 perhitungan power digunakan persamaan 5.5 Ludwig, hal 299 dengan persamaan

$$P = \frac{K_3}{g} \rho N^3 D^5$$

Dengan , P = Power ; Hp

K_3 = Faktor mixer (turbin) ; 6,3 *(Ludwig, vol1 T.5 ; 301)*

g = Konstanta grafitasi ; 32,3 ft/dt² x lbm/lbf

ρ = Densitas ; lb/cuft

N = Kecepatan putaran ; rps

D = Diameter impeller ; ft

$$P = \frac{6,3}{32,3} \times 91,06 \times 1,99 \times 175,89$$

= 6223,33 lb.ft/dt

= 11,32 hp

Perhitungan losses pengaduk :

Gland losses (kebocoran tenaga akibat poros dan bearing) = 10%

Glans losses 10% = 10% x 11,32 hp *(Joshi ; 399)*

= 1,132 hp

Power input dengan gland losses = 11,32 + 1,132 hp

= 12,45 hp

Transmission system loses = 20% *(Joshi ; 399)*

Transmission system loses = 20% x 12,45
= 2,49 hp

Power input dengan transmission system loses = 12,45 + 2,49 hp
= 14,94 hp

Untuk 2 buah impeller, maka power input = 2 x 14,94 hp
= 30 hp

Effisiensi motor = 80%

$$\text{Power motor} = \frac{30}{80\%} = 37,34 \text{ hp}$$

Digunakan power motor = 37,3 hp = 37 hp

Spesifikasi :

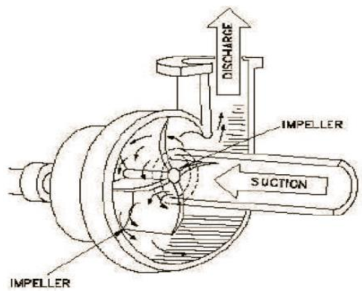
Fungsi	:	Mengencerkan Asam Sulfat 98% menjadi larutan asam sulfat 77.67%
Type	:	Silinder tegak dengan bagian atas dan bawah torisspherical dengan dilengkapi pengaduk
Dimensi Shell		
Diameter shell, inside	:	8,44 ft
Tinggi shell	:	12,65 ft
Tebal shell	:	4/16 in
Tebal tutup atas	:	6/16 in
Tebal tutup bawah	:	6/16 in
Tinggi tutup	:	1,20 ft
Lebar baffle	:	0,7 ft
Sistem Pengaduk		
Dipakai impeler jenis paddle 6 buah flat blade dengan 1 impeller		
Diameter impeller	:	2,81 ft
Panjang blade	:	0,56 ft
Lebar blade	:	0,70 ft
Jarak impeler dari dasar	:	2,81 ft
Power motor	:	37 hp
Bahan konstruksi	:	Carbon Steel SA-283 Grade C
Jumlah tangki	:	1 buah

9. POMPA - 2

Fungsi : Mengalirkan H_2SO_4 dari tangki pengencer ke Mannheim Furnace

Type : Centrifugal Pump

Dasar Pemilihan : Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid



Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
H_2SO_4	0,777	19.027	1,83
H_2O	0,223	5.470	1
Total	1	24.497,84	

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

$$= \frac{1}{\frac{0,777}{1,83} + \frac{0,223}{1}} \text{ x } 62,43$$

= 1,55 gr/cc x 62,43 lb/cuft

= 96,52 lb/cuft

Rate massa = 24.498 kg/jam = 54.008 lb/jam = 15,00 lb/dt

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

$$= \frac{54.008 \text{ lb/jam}}{96,52 \text{ lb/cuft}}$$

= 559,54 cuft/jam

= 69,76 gpm

= 0,16 cuft/dt

Asumsi : aliran turbulen

Di (diameter inside) optimum untuk aliran turbulen digunakan persamaan (15) peters :

Diameter optimum = $3.9 \times q_f^{0.45} \times \rho^{0.13}$ *[Peters, 4 ed , pers.15 : 496]*

Dengan :

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $3{,}9 \times 0{,}16^{0{,}45} \times 96{,}52^{0{,}13}$

= 3,06 in

Dipilih pipa 4 in, sch 40 *(Kern Tabel 11)*

OD = 4,5 in

ID = 4,026 in = 0,336 ft = 0,102 m

A = 1/4 x π x ID²

= $1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}336^2$

= 0,088 ft^2

Kecepatan aliran, v = $\frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Area pipa}}$

= $\frac{0{,}16 \text{ cuft/detik}}{0{,}088 \text{ ft}^2}$

= 1,76 ft/ detik

ρ reference = 62,43 lb/cuft

Sg reference = 0,996 lbf/lbm

μ reference = 0,00085

Sg bahan = $\frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} \times$ Sg reference

= $\frac{96{,}52}{62{,}43} \times 0{,}996$

= 1,54

Berdasarkan Sg bahan

μ bahan = $\frac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference}} \times \mu$ reference

= $\frac{1{,}54}{0{,}996} \times 0{,}00085$

= 0,00131 lb/ft.detik

$$NRe = \frac{ID\ v\ \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}336 \times 1{,}76 \times 96{,}52}{0{,}00131}$$

$$= 43.345{,}53 > 2100$$ (Asumsi turbulen benar)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 *(Geankoplis ; Page 88)*

ε/D = 0,0004

f = 0,0070 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

gc = 32,17 ft.lbm/detik^2.lbf

Digunakan persamaan Bernoulli :

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\ \alpha\ gc} + \Sigma F$$

Perhitungan friksi berdasarkan **Peters, 4^{ed} Tabel 1 halaman 484**

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve open	7
Globe valve open	300

(Peters & Timmerhause ; 484 - 485)

Panjang ekuivalen suction, Le **(Peters 4^{ed} , Tabel - 1)**

ID pipa = 0,34 ft

	Taksiran panjang pipa lurus						=	50	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,3355	=	32,21	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,3355	=	2,35	ft
1 Globe Valve	=	1	x	300	x	0,3355	=	100,65	ft
Panjang Total Pipa							=	185,21	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2 \times f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0{,}0070 \times 1{,}76^2 \times 185{,}21}{32{,}17 \times 0{,}34}$$

$$= \frac{8{,}02}{10{,}79}$$

$$= 0{,}74 \text{ ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

k = 0,5 ; A tangki >>> A pipa

α = 1 ; untuk aliran turbulen

[Peters 4^{ed} ; 484]

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

$$= \frac{0{,}5 \times 1{,}76^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}024 \text{ ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

3. Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

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

$$= \frac{1{,}76^{\,2} - 0}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}048 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena elbow 90 ˚

$$F_4 = \frac{K_{f} \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}75 \times 1{,}76}{2} = 0{,}66 \quad ft\ lbf/lbm$$

5, Friksi karena gate valve

$$F_5 = \frac{K_{f} \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 1{,}76}{2} = 0{,}15 \quad ft\ lbf/lbm$$

$$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$

$$= 0{,}74 + 0{,}024 + 0{,}048 + 0{,}66 + 0{,}15$$

$$= 1{,}62 \quad ft\ lbf\ /lbm$$

Menghitung Energi Tekanan

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 10,12 ft

ρ bahan = 96,52 lb/cuft

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 96,52 x 10,12

= 977,17 lb/ft^2

P_2 = 1 atm = 2.117 lbf/ft^2

ΔP = $P_2 - P_1$

= 2.117 - 977,174

= 1.139,6 lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1.139{,}6 \ lbf/ft^2}{96{,}52 \ lb/cuft}$$

$$= 11{,}81 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Menghitung Eergi Potensial

Asumsi : Z_2 = tinggi mannheim furnace + pipa

= 18,37 + 5

= 23,37 ft

Z_1 = 0 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

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

$$= (23{,}37 - 0) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 23{,}37 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Menghitung Energi Kinetik

g, percepatan gravitasi bumi = 32 ft/dt^2

gc, konstanta gravitasi bumi = 32,17 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{1{,}76^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}05 \; ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F$$

$$= 11{,}81 + 23{,}37 + 0{,}05 + 1{,}62$$

$$= 36{,}84 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 15,00 lb/dt

$$Hp = \frac{- Wf \times \text{rate massa}}{550}$$ *(Perry 6 ed ; Pers 6-11, Page 6-5)*

$$= \frac{36{,}84 \times 15{,}00}{550}$$

$$= 1{,}01 \; Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37)*

$$Bhp = \frac{Hp}{\eta \; pompa}$$

$$= \frac{1{,}01}{40\%}$$

$$= 2{,}51 \; Hp$$

Effisiensi motor = 80% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 38)*

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\eta \; motor}$$

$$= \frac{2{,}5125}{80\%}$$

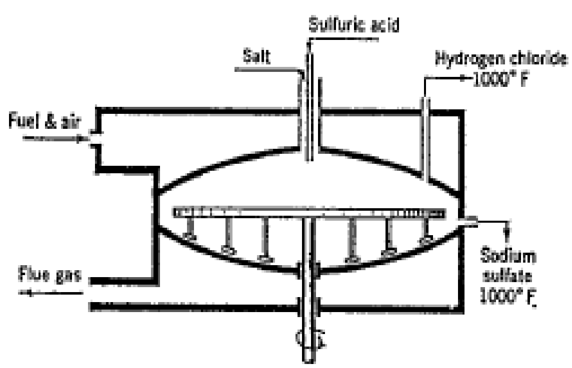
$$= 3{,}14 \; Hp$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Memindahkan asam sulfat ke Mannheim Furnace
Type	:	Centrifugal pump
Dasar pemilihan	:	Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid
Kapasitas	:	54.007,93 lb/jam
Kecepatan aliran (v)	:	1,76 ft/detik
BHp	:	2,5 Hp
Power Motor	:	3,1 Hp
Rate volumetrik	:	69,76 gpm
Total Dynamic Head	:	36,84 ft.lbf/lbm
Effisiensi Pompa	:	40%
Effisiensi Motor	:	80%
Bahan Konstruksi	:	Commercial Steel
Jumlah	:	1 Buah

10. MANHEIM FURNACE

Fungsi	:	Untuk mereaksikan NaCl dan H_2SO_4 membentuk Na_2SO_4 dan gas HCl
Type	:	Rotary Hearth Furnace
Dasar Pemilihan	:	Penanganan otomatis dan sesuai dengan bahan



(g)

Rate bahan = 46.787 kg / jam = 103.148 lb/jam

Kondisi feed :

Feed Garam

A. Garam (NaCl) Dari PT. Garam

Komponen	Berat (Kg)	% Berat	ρ Bahan (gr/cc)
NaCl	21353	95,80%	2,16
CaSO4	22	0,10%	2,96

MgSO4	67	0,30%	2,66
H2O	847	3,80%	1
Total	22290	100,00%	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}958}{2{,}160} + \frac{0{,}001}{2{,}960} + \frac{0{,}003}{2{,}660} + \frac{0{,}038}{1{,}000}} \text{ x } 62{,}43$$

= 2,07 gr/cc x 62,43 lb. cc/cuft. gr
= 129,26 lb/cuft

Rate massa = 22.290 kg / jam = 49.037 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho\ \text{campuran}} = \frac{49.037}{129{,}26} = 379{,}37 \text{ cuft/jam}$$

Feed Asam Sulfat

Komponen	**Fraksi Berat**	**Berat (kg)**	**ρ Bahan (gr/cc)** *(Perry8ed, T.2-103)*
H_2SO_4	0,777	19.027	1,68
H_2O	0,223	5.470	1
Total	1	24.498	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}777}{1{,}68} + \frac{0{,}223}{1}} \text{ x } 62{,}43$$

= 1,46 gr/cc x 62,43 lb/cuft
= 91,06 lb/cuft

Rate massa = 24.498 kg / jam
= 54.008 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho\ \text{campuran}} = \frac{54.008}{91{,}06} = 593{,}13 \text{ cuft/jam}$$

Perhitungan densitas campuran :

Komposisi bahan

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Garam	0,48	22.290	2,07
Asam Sulfat	0,52	24.497,84	1,46
Total	1	46.787	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}476}{2{,}070} + \frac{0{,}5236}{1{,}459}} \times 62{,}43$$

= 1,70 gr/cc x 62,43 lb/cuft

= 105,98 lb/cuft

Total rate volumetrik = 379,37 + 593,13 = 973 cuft/jam

Menentukan kapasitas tangki

Direncanakan penyimpanan untuk 1 jam dengan 1 buah tangki, sehingga :

Volume bahan = 972,50 cuft/jam x 1 jam

= 973 cuft

= 28 m^3

Asumsi volume bahan mengisi 80% volume tangki sehingga

$$\text{Volume tangki} = \frac{972{,}5}{80\%}$$

= 1.216 cuft = 34,40 m^3

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya :

Asumsi dimensi ratio = H/D = 2 *(Ulrich T.4-27)*

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

1.216 = 1/4 x 3,14 x D^2 x 2 D

774,28 = D^3

D = 9,18 ft

= 110,19 in

= 2,80 m

H = 2 D

= 18,37 ft

= 220,38 in

= 5,60 m

H bahan = 80% H tangki = 14,69 ft

Penentuan tebal shell :

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$ *(Brownell, pers, 13-1 ; 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum , in
P = tekanan tangki , psi
ri = jari-jari tangki , in (1/2D)
C = faktor korosi 1/8
E = faktor pengelasan E = 0,8
f = stress allowable , psi f = 12650 psi
Carbon Steel SA - 283 grade C
(Brownell, T-13.1 ; 251)

Phidrostatis = ρ x g x H
= 105,98 x 1 x 14,69
= 1557,05 lb/ft² = 10,81 psi
P operasi = P atmosfer + P hidrostatis
= 14,7 psi + 10,81 psi
= 25,51 psi
Pdesign 10% lebih besar untuk faktor keamanan
P design = 25,51 x 110%
= 28,06 psi
ri = 0,5 D
= 0,5 x 110,19
= 55,10 in

Asumsi tebal shell = 5/16 in

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$

$$5/16 = \frac{28,0641 \times 55,0957}{f \; 0,8 - 0,6 \; 28,0641} + 1/8$$

$$3/16 = \frac{1546,2135}{f \; 0,8 - 16,8385}$$

f = 10329,1 psi
f hitung < f allowable, jadi tebal shell 5/16 in dapat digunakan

Dimensi tutup atas dan bawah :

OD = D + 2 ts
= 110,19 + 0,88
= 111,07 in
Diambil OD standart = 126 in *(Brownell , T.5.7 ; 90)*
rc = 120 in

Tebal tutup atas (Torispherical dished) :

$$t_h = \frac{0,885 \times P \times rc}{f.e - 0,1\ P} + C$$ *(Brownell , pers.13-12)*

dengan:

t_h = tebal tutup (head) shell minimum ; in
r_c = *crown radius* ; in
P = tekanan tangki ; psia
E = faktor pengelasan jenis *double welded butt joint.* E = 0,8
C = faktor korosi (digunakan 1/8 in)
f = allowable stress, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C,
maka f = 12650 psi [Brownell, T.13-1]

Asumsi tebal head = 8/16 in

$$t_h = \frac{0,885 \times P \times rc}{f.e - 0,1\ P} + C$$

$$8/16 = \frac{0,885 \times 28,064 \times 120}{f \times 0,8 - 0,1 \times 28,064} + 1/8$$

$$3/8 = \frac{2980,410}{f \times 0,8 - 2,806}$$

f = 9.931,19 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 8/16 in dapat digunakan

$$h = rc - \sqrt{rc^2 - \frac{D^2}{4}}$$ *(Hesse, hal 92)*

= 120 - 106,604
= 13,396 in = 1,116 ft

2. Perencanaan Sistem Pengaduk

Jumlah baffle = 4 buah

Penentuan dimensi pengaduk : (Mc.Cabe 5th ed ;243)

Diameter impeler (Da)	=	1/3	diameter tangki
	=	1/3	x 9,183 = 3,061 ft = 0,933 m
Lebar blade (W)	=	1/5	diameter impeler
	=	1/5	x 3,061 = 0,612 ft
Panjang blade (L)	=	1/4	diameter impeler
	=	1/4	x 3,061 = 0,77 ft
Jarak impeller dari dasar	=	1/3	diameter tangki
	=	1/3	x 9,183 = 3,061 ft
Lebar baffle (J)	=	1/12	diameter tangki
	=	1/12	x 9,183 = 0,765 ft
Tebal pengaduk	=	1/10	x 0,765 = 0,077 ft

Penentuan putaran pengaduk :

V = π x Da x N *(Mc.Cabe 5th ed ;244)*

Untuk pengaduk jenis turbin :
Peripheral speed = 200 - 250 m/menit
V = Peripheral speed , m/mnt
Da = diameter pengaduk , m
N = putaran pengaduk, rpm

Diambil V = 250 m/min = 4,1667 m/dt
V = π x Da x N
250 = 3,14 x 0,933 x N
N = 85,34 rpm

Penentuan jumlah pengaduk :

$$\text{Sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} = \frac{106{,}0 \text{ lb/cuft}}{62{,}43 \text{ lb/cuft}} = 1{,}70$$

$$\text{Jumlah impeler} = \frac{\text{tinggi liquida x sg}}{\text{Diameter tangki}} = \frac{14{,}69 \times 1{,}70}{9{,}18} = 2{,}72 \approx 3 \text{ buah}$$

Jarak pengaduk = 1,5 x Da
= 4,6 ft

Bilangan reynold ; Nre :

Putaran pengaduk = 85,3 rpm = 1,42 rps
ρcampuran = 105,98 lb/cuft

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference}} \times \mu \text{ reference} = \frac{1{,}70}{0{,}996} \times 0{,}00085 = 0{,}00145 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\text{Nre} = \frac{\rho \times Da^2 \times N}{\mu} = \frac{105{,}98 \text{ lb/cuft} \times 9{,}37 \text{ ft}^2 \times 1{,}4 \text{ rps}}{0{,}00145 \text{ lb. ft/ detik}} = 974816{,}59$$

Karena Nre > 10000, maka digunakan baffle *(Perry 6ed ; 19-8)*
Untuk Nre > 10000 diperlukan 4 buah baffle, sudut 90° *(Perry 6ed ; 19-8)*

Power pengaduk :

Untuk Nre > 10000 perhitungan power digunakan persamaan :

$$P = \frac{K_3}{g} \rho N^3 D^5$$ *(Ludwig, vol1 pers. 5.5 ; 299)*

Dengan ,	P	=	Power	;	Hp
	K_3	=	Faktor mixer (turbin)	;	6,3 *(Ludwig, vol1 T.5 ; 301)*
	g	=	Konstanta grafitasi	;	32,3 ft/dt² x lbm/lbf
	ρ	=	Densitas	;	lb/cuft
	N	=	Kecepatan putaran	;	rps
	D	=	Diameter impeller	;	ft

$$P = \frac{6,3}{32,3} \times 105,98 \times 2,88 \times 268,67$$

= 15979,98 lb.ft/dt
= 29,05 hp

Perhitungan losses pengaduk :

Gland losses (kebocoran tenaga akibat poros dan bearing) = 10%
Glans losses 10% = 10% x 29,05 = 2,91 hp *(Joshi ; 399)*

Power input dengan gland losses = 29,05 + 2,91 = 31,96 hp

Transmission system loses = 20% *(Joshi ; 399)*
Transmission system loses = 20% x 31,96 = 6,39 hp

Power input dengan transmission system = 31,96 + 6,39 = 38,35 Hp

Untuk 3 buah impeller, maka power input = 3 x 38,35
= 115 hp

Effisiensi motor = 80%

$$\text{Power motor} = \frac{115}{80\%} = 144 \text{ hp}$$

Spesifikasi :

Fungsi	: Untuk mereaksikan NaCl dan H_2SO_4 membentuk Na_2SO_4 dan gas HCl
Type	: Rotary Heart Furnace
Bahan Konstruksi	: Carbon Steel SA - 283 Grade C

Refraktori	:	Batu Tahan Api
Dimensi Shell (Tangki) :		
Diameter shell, inside	:	9,18 ft
Tinggi shell	:	18,37 ft
Tebal shell	:	5/16 in
Lebar baffle	:	0,8 ft
Dimensi Tutup :		
Tebal tutup atas	:	8/16 in
Tinggi tutup atas	:	1,12 ft
Tebal tutup bawah	:	8/16 in
Tinggi tutup bawah	:	1,12 ft
Bahan konstruksi	:	Carbon stell SA - 283 Grade C

Sistem Pengaduk :

Digunakan impeller jenis turbin 6 buah flat blade dengan impeller

Jumlah impeller	:	3 buah
Diameter impeller	:	3,06 ft
Panjang blade	:	0,8 ft
Lebar blade	:	0,61 ft
Jarak impeler dari dasar	:	3,06 ft
Power motor	:	144 hp
Jumlah	:	1 buah

11. TANGKI FUEL OIL

Fungsi : Menyimpan bahan bakar fuel oil untuk kebutuhan furnace

Bentuk : Tangki Silinder Vertikal dengan plat datar (flat bottom) dan atas torispherical dished

Rate massa = 1.172 kg/jam = 2.583 lb/jam

ρ fuel oil No.6 = 50 lb/cuft

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho \text{ campuran}} = \frac{2.583 \text{ lb/jam}}{50 \text{ lb/cuft}} = 51{,}66 \text{ cuft/jam}$$

Menentukan kapasitas tangki

Direncanakan penyimpanan bahan bakar selama 7 hari :

$$\text{Volume bahan} = 51{,}66 \text{ cuft/jam} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times 7 \text{ hari}$$

$$= 8.678 \text{ cuft}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (faktor keamanan)

Volume Tangki $= \dfrac{8.678}{0,8} =$ 10.848 cuft = 307,00 m^3

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya

Dimensi ratio $= \dfrac{H}{D} = 1,5$ *(Ulrich ; T.4-27 : 248)*

Dengan mengabaikan volume dished head

Volume tangki = ¼ π D² H

10.848 = 0,79 x D² x 2 D

D^3 = 6.910		Ht =	1,5 Dt
Dt = 19,05	ft	=	28,57 ft
= 228,56	in	=	342,84 in
= 5,81	m	=	8,71 m

H bahan = 80% H tangki = 22,86 ft

Menentukan tebal shell

$t_{min} = \dfrac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$ *(Brownell,pers. 13-1,hal 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum, in

P = tekanan tangki, psi

ri = jari-jari tangki, in (1/2 D)

C = faktor korosi, in (digunakan 1/8 in)

E = faktor pengelasan digunakan double welded E = 0,8

f = allowable stress, digunakan konstruksi SA-283 grade C

f = 12650 psi ***[Brownell T.13-1]***

Asumsi : Volume feed = 80%

P hidrostatis $= \dfrac{\rho \times g \times H}{144} = \dfrac{50 \times 1 \times 22,856}{144} =$ 7,94 psi

P operasi = P operasi + P hidrostatis

= 14,7 psi + 7,94 = 22,64 psi

P design sebesar 10% lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 22,64 x 110%

= 24,90 psi

ri = 0,5 x D

= 114,28 in

Asumsi tebal shell = 7/16 in

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

$$7/16 = \frac{24{,}90 \times 114{,}28}{f \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 24{,}90} + 1/8$$

$$3/8 = \frac{2845{,}52}{f \times 0{,}8 - 14{,}94}$$

f = 11.363 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 7/16 in dapat digunakan

Tebal tutup atas (Torispherical dished) :

$$t_h = \frac{0{,}885 \times P \times rc}{f.e - 0{,}1\ P} + C$$ *(Brownell , pers.13-12)*

dengan:

t_h = tebal tutup (head) shell minimum ; in
r_c = *crown radius* ; in
P = tekanan tangki ; psia
E = faktor pengelasan, jenis *double welded butt joint.* E = 0,8
C = faktor korosi (digunakan 1/8 in)
f = allowable stress, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C, maka f = 12650 psi [Brownell, T.13-1]

OD = D + 2 ts
= 228,56 + 0,88
= 229,43 in
Diambil OD Standar = 240 in
rc = 180 in

Asumsi tebal head = 5/8 in

$$t_h = \frac{0{,}885 \times P \times rc}{f.e - 0{,}1\ P} + C$$

$$5/8 = \frac{0{,}885 \times 24{,}90 \times 180{,}00}{f \times 0{,}8 - 0{,}1 \times 24{,}900} + 1/8$$

$$4/8 = \frac{3966{,}519}{f \times 0{,}8 - 2{,}490}$$

f = 9.913 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 5/8 in dapat digunakan

$$h = rc - \sqrt{rc^2 - \frac{D^2}{4}}$$ *(Hesse, hal 92)*

= 180 - 134
= 46 in = 3,82 ft

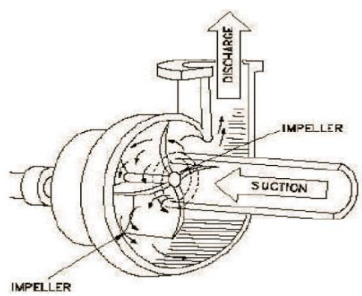
Tebal tutup bawah datar karena tutup bawah menumpah diatas semen (pondasi), maka tebal tutup bawah = 5/16 *(Brownell : 58)*

Spesifikasi peralatan :

Fungsi	:	Menyimpan bahan bakar fuel oil untuk kebutuhan furnace
Tipe	:	Tangki silinder dengan plat datar (flat bottom) dan tutup atas torispherical dished
Kapasitas	:	10.848 cuft
Diameter tangki	:	19,047 ft
Tinggi tangki	:	28,570 ft
Tebal shell	:	7/16 in
Tebal tutup atas	:	5/8 in
Tebal tutup bawah	:	5/16 in
Tinggi tutup	:	45,836 ft
Bahan konstruksi	:	Carbon steel SA-283 Grade C
Jumlah		1 buah

12. POMPA - 3

Fungsi	:	Mengalirkan fuel oil menuju burner
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid



Perhitungan :

ρ fuel oil = 50 lb/cuft

Rate massa = 1.172 kg / jam = 2.583 lb/jam = 0,72 lb/dt

Rate Volumetrik $= \dfrac{\text{Rate Massa}}{\rho \text{ campuran}}$

$= \dfrac{2.583}{50}$

= 51,66 cuft/jam

= 6,44 gpm

= 0,014 cuft/dt

Asumsi : aliran turbulen

Di (diameter inside) optimum untuk aliran turbulen digunakan persamaan (15) peters :

Diameter optimum = $3.9 \times q_f^{0.45} \times \rho^{0.13}$

Dengan : *[Peters, 4 ed , pers.15 : 496]*

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $3{,}9 \times 0{,}014^{0{,}45} \times 50^{0{,}13}$

= 0,96 in

Dipilih pipa 1 1/4 in, sch 40 *(Kern Tabel 11)*

OD = 1,66 in

ID = 1,38 in = 0,12 ft = 0,035 m

$A = 1/4 \times \pi \times ID^2$

$= 1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}1150^2$

$= 0{,}0104 \text{ ft}^2$

Kecepatan aliran, v $= \dfrac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Area pipa}}$

$= \dfrac{0{,}014 \text{ cuft/detik}}{0{,}0104 \text{ ft}^2}$

= 1,38 ft/ detik

ρ reference = 62,43 lb/cuft

Sg reference = 0,996 lbf/lbm

μ reference = 0,00085

Sg bahan $= \dfrac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} \times \text{Sg reference}$

$= \dfrac{50}{62{,}43} \times 0{,}996$

= 0,7977

Berdasarkan Sg bahan

μ bahan $= \dfrac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference}} \times \mu \text{ reference}$

$= \dfrac{0{,}7977}{0{,}996} \times 0{,}00085$

= 0,00068 lb/ft.detik

NRe $= \dfrac{ID\ v\ \rho}{\mu}$

$= \dfrac{0{,}1150 \times 1{,}3822 \times 50{,}000}{0{,}00068}$

= 11.674 > 2100 (Asumsi turbulen benar)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046

ε/D = 0,0013

f = 0,0090 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

gc = 32,1740 $ft.lbm/detik^2.lbf$

Digunakan persamaan Bernoulli :

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\,\alpha\,gc} + \Sigma F$$

Perhitungan friksi berdasarkan **Peters, 4^{ed} Tabel 1 halaman 484**

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve open	7
Globe valve open	300

Panjang ekuivalen suction, I **(Peters 4^{ed} , Tabel - 1)**

ID pipa = 0,1150 ft

	Taksiran panjang pipa lurus						=	50	ft
2 Elbow 90^o	=	2	x	32	x	0,12	=	7,36	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,12	=	0,81	ft
1 Glove Valve	=	1	x	300	x	0,12	=	34,50	ft
Panjang Total Pipa							=	58,17	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2 \times f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0{,}0090 \times 1{,}38^2 \times 58{,}17}{32{,}17 \times 0{,}12}$$

$$= \frac{2{,}00}{3{,}70}$$

$$= 0{,}54 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

k = 0,5 ; A tangki >>> A pipa

α = 1 ; untuk aliran turbulen

$$= \frac{0{,}5 \times 1{,}38^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}0148 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3. Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

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

$= \dfrac{1{,}3822^2 - 0}{2 \times 1 \times 32{,}174}$

$= 0{,}0297$ ft.lb_f / lb_m

4. Friksi karena elbow 90 °

$F_4 = \dfrac{K_f \times V_1^2}{2} = \dfrac{0{,}750 \times 1{,}3822}{2} = 0{,}5183$ ft lbf/lbm

5, Friksi karena gate valve

$F_5 = \dfrac{K_f \times V_1^2}{2} = \dfrac{0{,}170 \times 1{,}3822}{2} = 0{,}117485$ ft lbf/lbm

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$

$= 0{,}541 + 0{,}015 + 0{,}030 + 0{,}518 + 0{,}117$

$= 1{,}221$ ft lbf /lbm

Menghitung Energi Tekanan

Tinggi bahan, H = 22,86 ft

ρ bahan = 50 lb/cuft

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 50 x 22,86

= 1142,79 lb/ft²

P_2 = 1 atm = 2117 lbf/ft²

$\Delta P = P_2 - P_1$

= 2116,8 - 1142,79

= 974,01 lbf/ft²

$\dfrac{\Delta P}{\rho} = \dfrac{974{,}01 \text{ lbf/ft}^2}{50 \text{ lb/cuft}} = 19{,}48 \dfrac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$

Menghitung Eergi Potensial

Asumsi : Z_2 = tinggi furnace + pipa

= 18,37 + 5

= 23,37 ft

Z_1 = 0 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

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

$= (23{,}37 - 0) \times 1 \dfrac{\text{ft/dt}^2}{\text{ft.lbm/dt}^2\text{.lbf}}$

= 23,37 ft.lbf/lbm

Menghitung Energi Kinetik

g, percepatan gravitasi bumi = 32 ft/dt^2

gc, konstanta gravitasi bumi = 32,17 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{1{,}38^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}0297 \ ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\ \alpha\ gc} + \Sigma F$$

$$= 19{,}48 + 23{,}37 + 0{,}03 + 1{,}22$$

$$= 44{,}10 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 0,72 lb/dt

$$Hp = \frac{-Wf \times rate\ massa}{550}$$ *(Perry 6 ed ; Pers 6-11, Page 6-5)*

$$= \frac{44{,}10 \times 0{,}72}{550}$$

$$= 0{,}06 \ Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37)*

$$Bhp = \frac{Hp}{\eta\ pompa}$$

$$= \frac{0{,}0575}{40\%}$$

$$= 0{,}14 \ Hp$$

Effisiensi motor = 80% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 38)*

$$Power\ motor = \frac{Bhp}{\eta\ motor}$$

$$= \frac{0{,}1438}{80\%}$$

$$= 0{,}18 \ Hp$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Memindahkan fuel oil menuju burner
Type	:	Centrifugal pump
Dasar pemilihan	:	Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid
Kapasitas	:	2.582,86 lb/jam
Kecepatan aliran (v)	:	1,38 ft/detik

BHp	:	0,14	Hp
Power Motor	:	0,18	Hp
Rate volumetrik	:	6,44	gpm
Total Dynamic Head	:	44,10	ft.lbf/lbm
Effisiensi Pompa	:	40%	
Effisiensi Motor	:	80%	
Bahan Konstruksi	:	Commercial Steel	
Jumlah	:	1 Buah	

13. COOLING SCREW CONVEYOR - 1

Fungsi : Mendinginkan bahan dari 150°C hingga 60°C

Type : Plain spout of chutes

Dasar pemilihan : Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup

Perhitungan :

Komposisi bahan :

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na_2SO_4	0,9801	25.398	2,70
$MgSO_4$	0,0026	67	2,66
NaCl	0,0165	427	2,16
$CaSO_4$	0,0009	22	2,96
Total	1	25.914	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}980}{2{,}698} + \frac{0{,}003}{2{,}660} + \frac{0{,}016}{2{,}163} + \frac{0{,}0009}{2{,}960}} \times 62{,}43$$

= 2,69 gr/cc x 62,43 lb/cuft

= 167,76 lb/cuft

Rate massa = 25.914 kg / jam = 57.130 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho\ \text{campuran}} = \frac{57.130}{167{,}76}$$

= 340,55 cuft/jam

= 5,68 cuft/menit

= 42,46 gpm

Untuk densitas = 167,76 lb/cuft bahan termasuk kelas D dengan F = 3

$$\text{Power motor} = \frac{C.L.W.F}{33000}$$ *(Badger, T. 16-5)*

Dimana, C = Kapasitas, cuft/mnt
L = Panjang, ft
W = Densitas bahan lb/cuft
F = Faktor bahan

Asumsi panjang screw : L = 20 ft

$$\text{Power motor} = \frac{5,68 \times 20 \times 167,76 \times 3}{33000}$$
= 1,73 hp

Untuk power < 2 hp, maka dikalikan 2 *(Badger ; 713)*
1,73 x 2 = 3,4624 hp

Efisiensi motor = 80%

$$\text{Power motor} = \frac{1,73}{80\%} = 2,16 \text{ hp}$$

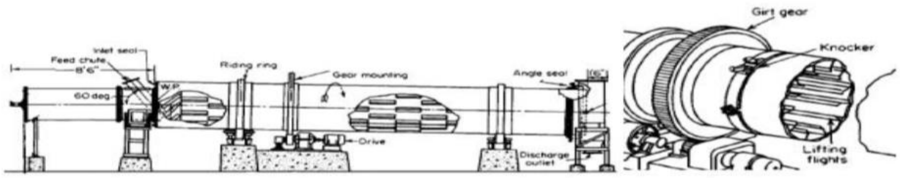
Dari Badger, fig 16-20 untuk kapasitas 340,55 cuft/jam digunakan :
Diameter = 12 in
Kecepatan putaran = 30 rpm

Spesifikasi :

Fungsi	: Mendinginkan bahan dari 150°C hingga 60°C
Type	: Plain spouts or chutes
Kapasitas	: 340,55 cuft/jam
Panjang	: 20 ft
Diameter	: 12 in
Kecepatan putaran	: 30 rpm
Power	: 2,16 hp
Jumlah	: 1 buah

14. ROTARY COOLER

Fungsi : Mendinginkan salt cake dengan udara bebas
Type : Direct Rotary Cooler



Perhitungan

Rate masuk	=	25.914	kg / jam	=	57.130	lb/jam
Suhu udara masuk	= TG_1 =	30	°C	=	86	F
Suhu feed masuk	= T_1 =	843	°C	=	1549,4	F
Suhu udara keluar	= TG_2 =	203	°C	=	397,1	F
Suhu produk keluar	= T_2 =	150	°C	=	302	F

Menentukan luas penampang

Direncanakan Rotary Cooler sebanyak 3 buah

Rate udara masuk (m) = $\frac{82.738}{3}$ kg/jam = 60.675 lb/jam

Kecepatan superficial udara (range 369-3687 lb/ft².jam)

Kecepatan superficial udara (G) = 3687 lb/ft².jam

(Perry 7ed : 12-55)

Luas penampang (S) = $\frac{m}{G} = \frac{60.675 \text{ lb/jam}}{3687 \text{ lb/ft}^2\text{.jam}} = 16 \text{ ft}^2$

Diameter rotary cooler :

$$D = \left[\frac{m}{\pi / 4 \ . \ G}\right]^{0,5}$$

$$= \left[\frac{60.675}{0,79 \times 3687}\right]^{0,5} = 4,6 \text{ ft} = 1,4 \text{ m}$$

Menentukan koefisien perpindahan panas volumetrik

$$\text{LMTD } (\Delta T)m = \frac{(T_1 - TG_2) - (T_2 - TG_1)}{\text{Ln } \frac{(T_1 - TG_2)}{(T_2 - TG_1)}}$$

$$\text{LMTD } (\Delta T)m = \frac{(1549,4 - 397,1) - (302,0 - 86,0)}{\text{Ln } \frac{(1549,4 - 397,1)}{(302,0 - 86,0)}}$$

$$= \frac{936,3}{1,674}$$

$$= 559,23 \text{ °F} = 292,9 \text{ °C}$$

(Mc.Cabe 5ed, Pers. 24.7 : 773)

Menentukan panjang rotary cooler

$Q = 0{,}4\pi\ L\ D\ \ G^{0,67}\ \ \Delta Tm$ *(Perry 7ed. Pers 12-53 : 12-54)*

Dimana,

L = Panjang rotary cooler , ft

Q = Total panas yang diambil, = 4.267.570 kkal/jam

= 16.934.786 BTU/jam

D = Diameter rotary cooler, = 4,58 ft

G = Kecepatan superficial udara, = 3687 lb/ft².jam

Sehingga diperoleh,

16.934.786 = 0,40 x 3,14 x L x 4,6 x 245,29 x 559,23

16.934.786 = 788.824 L

L = 21,47 ft = 6,54 m

Check L/D

Syarat untuk rotary cooler : L / D = 4 - 10 *(Perry 7ed : 12-54)*

L / D = 21,47 / 4,6

= 4,69 (memenuhi syarat)

Menentukan putaran rotary cooler (N)

$$N = \frac{Vp}{\pi \times D}$$

Dimana, N = Putaran rotary cooler, rpm

Vp = Kecepatan keliling selongsong = 75 ft/mnt

D = Diameter rotary cooler = 4,6 ft

(Perry 7ed. : 12-54)

$$N = \frac{75}{3{,}14 \times 4{,}6}$$

= 5,2 rpm

Penentuan waktu tinggal (θ)

$$\theta = \frac{0{,}23 \times L}{S\ \ N^{0,9}\ \ D} \pm 0{,}6\ \frac{B\ L\ G}{F}$$ *(Perry 7ed. : 12-55)*

tanda (+) untuk aliran counter-current

$B = 5\ (Dp)^{-0,5}$

Dengan, θ = Time of passes ; menit

L = Panjang drum ; ft

S = Slope drum ; ft/ft

N = Speed ; rpm

D	=	Diameter drum	;	ft
B	=	Konstanta material		
G	=	Kecepatan superficial gas	;	$lb/jam.ft^2$
F	=	Rate solid	;	lb $solid/jam.ft^2$
Dp	=	Ukuran partikel	;	µm

Ketentuan :

S = Slope drum ; 0 - 8 cm/m atau 0 - 0,08 ft/ft

G = Rate massa udara ; Maksimum 5 $kg/m^2.detik$

Asumsi antara 0,5 - 5 $kg/m^2.detik$

F = Rate solid ; kg $solid/jam.m^2$

Asumsi : *(Perry 7ed. : 12-56)*

Dp = Ukuran partikel = 10 mesh = 2000 µm = 2 mm

G = Rate massa udara = 3.687 $lb/ft^2.jam$

S = Slope drum = 0,08 ft/ft

N = Speed = 5,2 rpm

$B = 5\ (Dp)^{-0,5}$

$= 5 \times 2000^{-0,5}$

$= 0,11$

$$F = \frac{M}{A}$$

$$= \frac{57.130\ \text{lb/jam}}{16\ \text{ft}^2}$$

$= 3471,6131$ lb/jam ft^2

$$\theta = \frac{0,23 \times L}{S\ N^{0,9}\ D} + 0,6\ \frac{B\ L\ G}{F}$$

$$= \frac{4,94}{1,62} + 0,6\ \frac{8849,68}{3471,61}$$

$= 5$ menit

Perhitungan sudut rotary drum

Slope	=	0,08 ft/ft
Panjang drum	=	21,47 ft
slope actual	=	0,08 ft/ft x 21,47 ft
	=	1,72 ft
	=	0,52 m
tg α	=	0,52
Sudut rotary α	=	28 °

Perhitungan flight rotary drum

Perhitungan berdasarkan Perry 7ed, 12-56 :

Ketentuan :	Tinggi flight	=	1/12	D	-	1/8	D
	Panjang flight	=	0,6	D	-	1	D
	Jumlah flight tiap 1 circle	=	2,4	D	-	3	D

Diambil Tinggi flight = 1/12 D
= 1/12 x 1,4 m
= 0,12 m

Jumlah flight tiap 1 circle = 2,4 D
= 2,4 x 1,4 m
= 3 (dalam 1 bagian circle)

Total jumlah flight = Total circle x Jumlah tiap 1 circle
= 7 x 3,3
= 23 buah

Perhitungan tebal shell drum

Rotary drum menggunakan shell dari Carbon Steel SA-115 grade 55 dengan allowable stress 13700 psi *(Brownell, T.13-1)*

Perbandingan tinggi bahan dan diameter drum, H/D = 1/6

D = 4,58 ft

H = 1/6 x 4,58 ft = 0,73 ft

Untuk faktor keamanan, digunakan 10% tekanan berlebih

P = 1,1 x 1 atm = 1,1 atm = 16,2 psig

Digunakan double welded butt joint , maka e = 0,8

Diameter drum = 4,58 ft

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0{,}6P} + C$$ *(Brownell,pers. 13-1,hal 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum, in
P = tekanan tangki, psi
ri = jari-jari tangki, in (1/2 D)
C = faktor korosi, in (digunakan 1/8 in)
E = faktor pengelasan digunakan double welded E = 0,8
f = allowable stress, digunakan konstruksi SA-115 grade 55
f = 13700 psi *(Brownell T.13-1)*

Asumsi tebal shell = 3/16 in

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

$$3/16 = \frac{16{,}17 \quad x \quad 27{,}47}{f \quad x \quad 0{,}8 \; - \; 0{,}6 \quad x \quad 16{,}17} + 1/8$$

$$1/8 = \frac{444{,}09}{f \quad x \quad 0{,}8 \; - \; 9{,}70}$$

f = 8.870 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 3/16 in dapat digunakan

Isolasi

Batu isolasi digunakan setebal = 4 in = 0,3 ft *(Perry 7ed : 12-42)*
Diameter dalam rotary = 4,58 ft
Diameter luar rotary = ID + 2 x ts
= 4,58 + (2 x 0,02)
= 4,61 ft
Maka diameter terisolasi = OD + 2 x tebal isolasi
= 4,61 + (2 x 0,33)
= 5,28 ft

Perhitungan berat total

a. Berat Shell

$$We = \frac{\pi}{4} \times (Do^2 - Di^2) \times L \times \rho$$

Dengan, Do = Diameter luar shell ; 4,61 ft
Di = Diameter dalam shell ; 4,58 ft
L = Panjang drum ; 21,47 ft
ρ = Densitas steel ; 482,00 lb/cuft

$$We = \frac{3{,}14}{4} \times \left(21{,}25 \; - \; 20{,}96 \right) \times 21{,}47 \times 482{,}00$$

= 2.332 lb

b. Berat Isolasi

$$We = \frac{\pi}{4} \times (Do^2 - Di^2) \times L \times \rho$$

Dengan, Do = Diameter luar shell ; 5,28 ft
Di = Diameter dalam shell ; 4,61 ft
L = Panjang drum ; 21,47 ft
ρ = Densitas isolasi ; 19,00 lb/cuft
(Perry 6ed : 3-206)

$$We = \frac{3{,}14}{4} \times \left(27{,}84 \; - \; 21{,}25 \right) \times 21{,}47 \times 19{,}00$$

= 2.110 lb

c. Untuk solid hold up ; 15% *(Ulrich, T.4-10)*

Berat bahan = 57.130 lb

Berat total = Berat shell + berat isolasi + berat bahan

= 2.332 + 2.110 + 57.130

= 61.573 lb

Berat lain dimasukan 15%, maka berat total = 1,15 x 61.573

= 70.809 lb

Power yang dibutuhkan

$$hp = \frac{N \times (4{,}75dw + 0{,}1925DW + 0{,}33W)}{100000}$$

Dengan,	N	=	Putaran rotary	;	5,2	rpm
	d	=	Diameter shell	;	4,6	ft
	w	=	Berat bahan	;	57130,2	lb
	D	=	d + 2	;	6,6	ft
	W	=	Berat total	;	70809,01	lb

$$hp = \frac{5{,}2 \times (1242487{,}05 + 89671{,}11599 + 23366{,}9748)}{100000}$$

$= 70{,}71$ hp

Dengan effisiensi motor = 80% *(Perry 6ed, Pers. 20-37)*

$$P = \frac{70{,}71}{80\%}$$

$= 88{,}39$ hp $\approx$ 89 hp

Spesifikasi :

Fungsi	:	Mendinginkan salt cake dengan udara bebas
Type	:	Direct Rotary Cooler
Kapasitas	:	57.130 lb/jam
Isolasi	:	Batu isolasi
Tebal isolasi	:	4 in
Tebal shell	:	3/16 in
Diameter	:	4,58 ft
Panjang	:	21,47 ft
Tinggi bahan	:	0,73 ft
Sudut rotary	:	28 °
Time of passes	:	5 menit
Jumlah flight	:	23 buah
Power	:	89 hp
Jumlah	:	3 buah

15. BLOWER - 1

Fungsi	:	Memindahkan udara dari udara bebas ke Manheim Furnace
Type	:	Centrifugal blower
Dasar pemilihan	:	Sesuai dengan jenis bahan, efisiensi tinggi

Perhitungan :

Massa udara = 95.102 kg/jam = 209.661 lb/jam
= 3.494 lb/mnt

ρ udara = 0,0739 lb/cuft

Rate Volumetrik $= \dfrac{\text{Massa udara}}{\rho\ \text{udara}}$

$= \dfrac{3.494\ \text{lb/mnt}}{0{,}0739\ \text{lb/cuft}}$

= 47.285 cuft/mnt

Asumsi aliran turbulen :

Dipilih pipa 12in sch 30 *(Kern, T.11)*

OD = 12,75 in

ID = 12,09 in

A = 115 in^2

Perhitungan power

Disscharge pressure = 5 lb/in^2 *(Perry 8ed. F.10-64)*

Adiabatic head = 15000 ft.lbf/lbm

Hp = 0,000157 x Q x P
= 0,000157 x 47284,90 x 5
= 37,119

dengan asumsi effisiensi motor = 80% , maka :

Hp $= \dfrac{37{,}119}{0{,}800} =$ 46,40 Hp

Spesifikasi :

Fungsi	:	Memindahkan udara dari udara bebas ke Manheim
Type	:	Centrifugal
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	47.284,90 Cuft/mnt
Effisiensi Motor	:	80%
Power	:	46,40 Hp
Jumlah	:	1 buah

16. CYCLONE UDARA

Fungsi : Untuk memisahkan padatan yang terikut udara
Type : Van Tongeren Cyclone
Dasar pemilihan : Efektif dan sesuai dengan jenis bahan

Perhitungan

Rate udara = 95.102 kg/jam = 209.224 lb/jam

ρ udara = 0,0739 lb/cuft

Rate Volumetrik
$$= \frac{209.224 \text{ lb/jam}}{0,074 \text{ lb/cuft} \times 60 \text{ mnt/jam}}$$
= 47.186 cuft/mnt = 786 cuft/dtk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na_2SO_4	0,9801	253,979	2,70
$MgSO_4$	0,0026	0,669	2,66
NaCl	0,0165	4,271	2,16
$CaSO_4$	0,0009	0,223	2,32
Total	1,000	259,14	

Berat solid = 259,1 kg/jam
= 571,30 lb/jam
= 0,16 lb/dtk

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

$$= \frac{1}{\frac{0,980}{2,700} + \frac{0,003}{2,660} + \frac{0,016}{2,163} + \frac{0,0009}{2,320}} \times 62,43$$

= 2,69 gr/cc x 62,43 lb/cuft
= 167,84 lb/cuft

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

$$= \frac{571,30 \text{ lb/jam}}{167,84 \text{ lb/cuft}}$$

= 3,4038 cuft/jam
= 0,0009 cuft/dtk

Direncanakan menggunakan Cyclone 3 buah

$$\text{Total rate volumetrik bahan} = \frac{786,44 + 0,0009}{3}$$

= 262,15 cuft/dt

Asumsi time of passes = 10 detik
Volume bahan = 262,15 cuft/detik x 10 detik
= 2.621,46 cuft

Perancangan cyclone dihitung dengan persamaan :

$$Dp_{th} = \left[\frac{9\ \mu_g\ Bc}{\pi\ Ns\ V_{in}\ (\rho_s - \rho)}\right]^{0,5}$$

(Perry 7th ed , Chapter 17-28; Page : 1590)

Dimana :
Dp_{th} = Diameter partikel theoretical;
μ_g = viskositas udara campuran; lb/ft.detik
B_C = diameter lubang inlet; ft
ρ_{gas} = densitas udara campuran; lb/cuft
ρ = densitas partikel; lb/cuft
Ns = jumlah putaran dalam cyclone

(Perry 7th ed , Chapter 17-29)
Diameter partikel = 50 μm - 500000 μm
Dipilih = 100 μm
= 0,100 mm
Dp_i = 0,0003 ft

Range kecepatan linier udara masuk 8-30 m/s (25-100 ft/s)
(Perry 7th ed , Chapter 17-29; Page : 1591)
Kecepatan udara masuk ke cyclone (V_{in}) = 40 ft/s = 12 m/s
Maka didapat Nt sebesar = 3,3
(Perry 7th ed , Figure 17-38; Page : 1590)

Berdasarkan Perry 7th ed , Figure 17-39; Page : 1590 untuk Efisiensi solid 99%, maka :

$$\frac{Dp_i}{D_{th}} = 9,00$$

$$Dp_{th} = \frac{Dpi}{9,00}$$

= 0,00004 ft
μ udara = 0,000013 lb/ft.dt

Sehingga,

$$Dp_{th} = \left(\frac{9\ \mu\ Bc}{\pi\ Nt\ V_{in}\ (\rho_s - \rho)}\right)^{0,5}$$

$$0,00004 = \left(\frac{9 \times 0,000013 \times Bc}{3,14 \times 3,3 \times 40 \times (167,8 - 0,07)}\right)^{0,5}$$

Bc = 0,75 ft
= 0,22 m
Maka , didapatkan diameter lubang i = 0,75 ft

Spesifikasi Ukuran Cyclone **(Perry 7thed , Figure 17-27)**

Bc = Diameter lubang = 1/4 Dc

$$Bc = \frac{Dc}{4}$$

$$0,75 = \frac{Dc}{4}$$

Dc = 3,00 ft ; Diameter Cyclone
= 0,90 m (memenuhi range 0.05 - 2 m)
(Ulrich, Tabel 4-23; Page : 220)

De = Diameter gas outlet = 1/2 Dc

$$= \frac{3,00}{2}$$

= 1,50 ft

Hc = Tinggi lubang inlet = 1/2 Dc

$$= \frac{3,00}{2}$$

= 1,50 ft

Lc = Panjang silinder = 2Dc
= 2 x 3,00
= 6,00 ft = 1,80 m

Zc = Panjang conis = 2 Dc
= 2 x 3,00
= 6,00 ft = 1,80 m

Total panjang cyclo = Lc + Zc
= 1,80 + 1,80
= 3,60 m
(Ulrich, Tabel 4-23; Page : (memenuhi range 0.3 - 8 m)

Sc = Tinggi gas outlet = 1/8 Dc

$$= \frac{3,00}{8}$$

= 0,37 ft

Jc = Diameter lubang dust = 1/4 Dc

$$= \frac{3,00}{4}$$

= 0,75 ft

Area cyclone = 2 x De^2
= 1,76 ft^2

$$\text{Kecepatan Outlet Cyclone} = \frac{\text{Rate Volumetrik}}{\text{Area Outlet}}$$
$$= \frac{262{,}1461}{1{,}76 \; ft^2}$$
= 148,64 ft/detik

Menentukan tebal minimum shell

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0{,}6P} + C$$ *(Brownell,pers. 13-1,hal 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum, in
P = tekanan tangki, psi
ri = jari-jari tangki, in (1/2 D)
C = faktor korosi, in (digunakan 1/8 in)
E = faktor pengelasan digunakan double welded E = 0,8
f = allowable stress,digunakan Carbon steel SA-283 Grade C
f = 12650 psi *(Brownell T.13-1)*

Tekanan design = 1 atm = 14,7 psi

ri = 0,5 x D
= 0,5 x 35,97
= 17,99 in

Asumsi tebal shell = 4/16 in

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

$$4/16 = \frac{14{,}7 \times 17{,}99}{f \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 14{,}70} + 1/8$$

$$1/8 = \frac{264{,}40}{f \times 0{,}8 - 8{,}82}$$

f = 2.633 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 4/16 in dapat digunakan

Tebal tutup atas :

Tebal tutup atas disamakan dengan tebal tutup bawah, karena tutup bawah menahan beban yang terberat

Tebal tutup bawah :

$$th = \frac{P\ design\ .\ D}{2 \cos \alpha\ (f.e - 0{,}6\ P)} + C$$

Dengan α = 1/2 sudut conis
= 1/2 x 30
= 15 °

Asumsi tebal shell = 4/16 in

$$4/16 = \frac{14{,}700 \quad x \quad 35{,}973}{2 \cos 15 \ (\quad f \quad 0{,}7 \quad - \quad 8{,}82 \quad)} + 1/8$$

$$2/16 = \frac{528{,}801}{1{,}352 \quad f \quad - \quad 17{,}039}$$

f = 3.141 psi

f hitung < f allowable , jadi tebal shell 4/16 in dapat digunakan

Spesifikasi :

Fungsi	:	Untuk memisahkan padatan yang terikut udara
Type	:	Van Tongeren Cyclone
Kapasitas	:	262 cuft/dtk
Kecepatan bahan	:	40 ft/dtk
Diameter cyclone	:	3 ft
Diameter partikel	:	0,00033 ft
Tebal shell	:	4/16 in
Tebal tutup atas	:	4/16 in
Tebal tutup bawah	:	4/16 in
Panjang conis	:	12 ft
Bahan konstruksi	:	Carbon Steel SA-283 Grade C
Jumlah	:	1 buah

17. BUCKET ELEVATOR - 2

Fungsi	:	Memindahkan salt cake dari rotary cooler ke Solution Tank
Tipe	:	Continous Discharge Bucket Elevator
Dasar Pemilihan	:	Untuk memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu

Perhitungan :

Rate massa = 25.914,09 kg/jam = 25,91 ton/jam

Berdasarkan kapsitas 25,91 ton/jam dari Perry 7ed, tabel 21-8

dipilih bucket elevator dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Tinggi bucket = Tinggi (Hopper + solution tank + jarak dari tanah)
  = 10,27 + 17 + 5
  = 32,3 ft

- Bucket speed = 225 ft/min
- Kapasitas maksimum = 27 ton/jam
- Putaran head shaft (kepala poros) = 43 rpm

Perhitungan power *(Perry 7ed , Tabel 21-8)*

Power pada head shaft = 1,6 hp
Power tambahan = 0,04 hp/ft
= 0,04 hp/ft x 32,28 ft
= 1,291 hp
Power total = 1,6 + 1,3 = 2,9 hp
Efisiensi motor = 80%

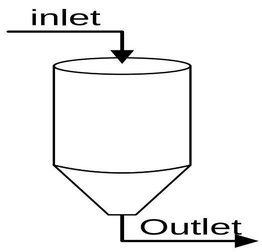
Power total $= \frac{2,891}{80\%}$
= 3,614 hp

Spesifikasi :

Fungsi	:	Memindahkan salt cake dari rotary cooler ke Solution Tank
Type	:	Continuous discharge bucket elevator
Kapasitas maksimum	:	27 ton / jam
Tinggi bucket	:	32,28 ft
Ukuran bucket	:	8" x 5" 5,5"
Bucket spacing	:	14 in
Putaran head shaft	:	43 rpm
Lebar belt	:	9 in
Power	:	3,614 hp
Jumlah	:	1 buah

18. HOPPER - 2

Fungsi	:	Menampung salt cake dari bucket elevator
Type	:	Silinder tegak dengan tutup atas plat dan bawah conis
Dasar Pemilihan	:	Umum digunakan menampung padatan



Kondisi Operasi :
a. Tekanan : 1 atm
b. Suhu : 30 °C
c. Waktu tinggal : 0,5 jam

Perhitungan :

Komposisi Bahan :

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) (Perry8ed, T.2-1)
Na_2SO_4	98%	25.398	2,70
$MgSO_4$	0,26%	67	2,66
NaCl	1,65%	427	2,16
$CaSO_4$	0,09%	22	2,96
Total	100%	25.914	

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

$$= \frac{1}{\frac{0,980}{2,70} + \frac{0,0026}{2,66} + \frac{0,0165}{2,16} + \frac{0,0009}{2,96}} \times 62,43$$

= 2,6872 gr/cc x 62,43 lb. cc/cuft. gr

= 167,76 lb/cuft

Rate massa = 25.914 kg / jam = 57.011 lb/jam

$$Rate\ Volumetrik = \frac{Rate\ Massa}{\rho\ campuran} = \frac{57.011}{167,76} = 339,84\ cuft/jam$$

Menentukan kapasitas tangki

Direncanakan penyimpanan untuk 0,5 jam dengan 1 buah tangki, sehingga :

Volume bahan = 339,84 cuft/jam x 0,5 jam

= 169,9 cuft

= 5 m^3

Asumsi volume bahan mengisi 80% volume tangki sehingga

$$Volume\ tangki = \frac{169,9}{80\%}$$

= 212 cuft = 6,01 m^3

Menentukan dimensi tangki

Asumsi dimensi ratio : H/D = 2 *(Ulrich T.4 - 27)*

Volume Tangki = $\frac{1}{4} \pi D^2 H$

212,40 = 0,79 x D^2 x 2 D

D^3 = 135,29 H = 2 D

Dt = 5,13 ft = 10,27 ft

= 61,60 in = 123,21 in

= 1,56 m = 3,13 m

Menentukan tekanan desaign dalam tangki

P operasi = 1 atm = 14,7 psi

Tekanan over design yang digunakan 5-10% dari kerja normal

Tekanan design dipilih 10% dari tekanan operasi untuk faktor keamanan

P_D = P operasi x 1,1
= 14,7 x 1,1
= 16,17 psi

(Rules of thumb. Walas,1998)

Menentukan tebal minimum shell

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank :

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0{,}6P} + C$$ *(Brownell,pers. 13-1,hal 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum, in
P = tekanan tangki, psi
ri = jari-jari tangki, in (1/2 D)
C = faktor korosi, in (digunakan 1/8 in)
E = faktor pengelasan digunakan double welded E = 0,8
f = allowable stress, digunakan carbon steel SA-283 grade C
f = 12.650 psi ***[Brownell T.13-1]***

ri = 0,5 x 5,13 ft = 2,57 ft = 30,80 in

Asumsi tebal shell = 4/16 in

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

$$4/16 = \frac{16{,}17 \times 30{,}80}{f \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 16{,}17} + 1/8$$

$$2/16 = \frac{498{,}06}{f \times 0{,}80 - 9{,}70}$$

f = 4.992,7 psi

f hitung < f allowable , jadi tebal shell 4/16 in dapat digunakan

Tutup bawah berupa conical *(Brownell eq. 6-154 ; 118)*

Jenis : Conical
Type las : Single welded butt joint tanpa backing up strip
Tebal tutup : Asumsi th : 4/16 in

$$th = \frac{P\ design\ .\ D}{2 \cos \alpha\ (f.e - 0{,}6\ P)} + C$$

$$4/16 = \frac{16{,}17 \times 61{,}60}{2 \cos 30\ (f\ 0{,}7 - 9{,}70)} + 1/8$$

$$2/16 = \frac{996{,}11}{1{,}21\ f - 16{,}80}$$

= 6.586,5

f hitung < f allowable , jadi tebal shell 4/16 in dapat digunakan

Tinggi conical

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

Dengan : α : sudut conis, 30 °
D : diameter tangki ; ft
m : flat spot diameter = 12 in = 1 ft

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

$$= \frac{tg\ (30) \times (5{,}13 - 1)}{2}$$

$$= \frac{0{,}58 \times 4{,}13}{2}$$

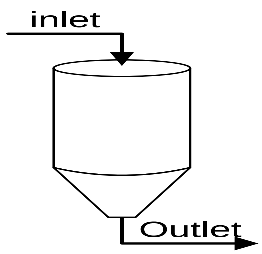
= 1,19 ft = 0,36 m

Spesifikasi :

Fungsi	:	Menampung salt cake dari bucket elevator
Type	:	Silinder tegak dengan tutup atas plat dan bawah conis
Kapasitas	:	212,40 cuft = 6,01 m³
Diameter tangki	:	5,13 ft = 1,56 m
Tinggi tangki	:	10,27 ft = 3,13 m
Tebal shell	:	4/16 in
tebal tutup atas	:	4/16 in
Tebal tutup bawah	:	4/16 in
Tinggi tutup bawah	:	1,19 ft = 0,36 m
Bahan konstruksi	:	Carbon Steel SA-283 grade C
Jumlah	:	1 buah

19. HOPPER - 3

Fungsi	:	Menampung Na2CO3 dari gudang penyimpan
Type	:	Silinder tegak dengan tutup atas plat dan bawah conis
Dasar Pemilihan	:	Umum digunakan menampung padatan



Kondisi Operasi :
a. Tekanan : 1 atm
b. Suhu : 30 °C
c. Waktu tinggal : 0,5 jam

Perhitungan :

Komposisi Bahan :

Komponen	**Berat (kg)**	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na_2CO_3	76,43	2,53
Total	76,43	

Rate massa = 76,43 kg / jam = 168,15 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho\ \text{bahan}} = \frac{168,15}{2,53} = 66,38\ \text{cuft/jam}$$

Menentukan kapasitas tangki

Direncanakan penyimpanan untuk 0,5 jam dengan 1 buah tangki, sehingga :

Volume bahan = 66,38 cuft/jam x 0,5 jam
= 33,2 cuft
= 0,94 m^3

Asumsi volume bahan mengisi 80% volume tangki sehingga :

$$\text{Volume tangki} = \frac{33,2}{80\%}$$

= 41 cuft = 1,17 m^3

Menentukan dimensi tangki

Asumsi dimensi ratio : H/D = 2 *(Ulrich T.4 - 27)*

Volume Tangki = $\frac{1}{4}\pi D^2 H$

41,49 = 0,79 x D^2 x 2 D

D^3 = 26,43 H = 2 D

Dt = 2,98 ft = 5,957 ft
= 35,74 in = 71,487 in
= 0,91 m = 1,82 m

Menentukan tekanan design dalam tangki

P operasi = 1 atm = 14,7 psi

Tekanan over design yang digunakan 5-10% dari kerja normal

Tekanan design 10% dari tekanan operasi hopper untuk faktor keamanan

P_D = P operasi x 1,1
= 14,7 x 1,1
= 16,17 psi

(Rules of thumb. Walas,1998)

Menentukan tebal minimum shell

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank :

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$ *(Brownell,pers. 13-1,hal 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum, in
P = tekanan tangki, psi
ri = jari-jari tangki, in (1/2 D)
C = faktor korosi, in (digunakan 1/8 in)
E = faktor pengelasan digunakan double welded E = 0,8
f = allowable stress, digunakan carbon steel SA-283 grade C
f = 12.650 psi ***[Brownell T.13-1]***

ri = 0,5 x 2,98 ft = 1,49 ft = 17,87 in

Asumsi tebal shell = 3/16 in

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

$$3/16 = \frac{16,17 \times 17,87}{f \times 0,8 - 0,6 \times 16,17} + 1/8$$

$$1/16 = \frac{288,99}{f \times 0,80 - 9,70}$$

f = 5.791,9 psi

f hitung < f allowable , jadi tebal shell 3/16 in dapat digunakan

Tutup bawah berupa conical *(Brownell eq. 6-154 ; 118)*

Jenis : Conical
Type las : Single welded butt joint tanpa backing up strip
Tebal tutup : Asumsi th : 3/16 in

$$th = \frac{P\ design\ .\ D}{2 \cos \alpha\ (f.e - 0,6\ P)} + C$$

$$3/16 = \frac{16,17 \times 35,74}{2 \cos 30\ (\ f\ \ 0,7 - 9,70\ )} + 1/8$$

$$1/16 = \frac{577,97}{1,21\ \ f - 16,80}$$

= 7.641,1

f hitung < f allowable , jadi tebal shell 3/16 in dapat digunakan

Tinggi conical

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

Dengan : α : sudut conis, 30 °
D : diameter tangki ; ft
m : flat spot diameter = 12 in = 1 ft

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

$$= \frac{tg\ (30) \times (2,98 - 1)}{2}$$

$$= \frac{0,58 \times 1,98}{2}$$

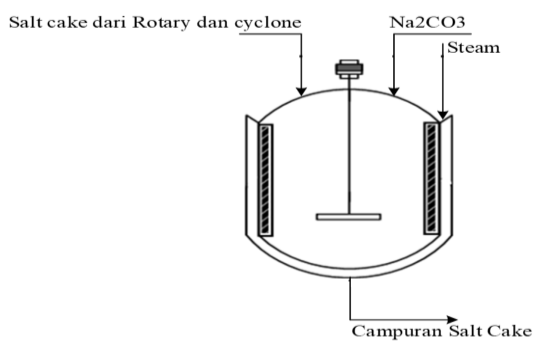
$$= 0,57 \text{ ft} = 0,17 \text{ m}$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Menampung Na2CO3 dari gudang penyimpan
Type	:	Silinder tegak dengan tutup atas plat dan bawah conis
Kapasitas	:	41,49 cuft = 1,17 m³
Diameter tangki	:	2,98 ft = 0,91 m
Tinggi tangki	:	5,96 ft = 1,82 m
Tebal shell	:	3/16 in
tebal tutup atas	:	3/16 in
Tebal tutup bawah	:	3/16 in
Tinggi tutup bawah	:	0,57 ft = 0,17 m
Bahan konstruksi	:	Carbon Steel SA-283 grade C
Jumlah	:	1 buah

20. SOLUTION TANK

Fungsi	:	Menghilangkan Impurities produk dengan bantuan Na2CO3
Type	:	Silinder tegak, tutup atas dan bawah torispherical dished dilengkapi pengaduk dan jaket
Dasar pemilihan	:	• Tangki berpengaduk effisen untuk pencampuran • Tutup bawah conis, mempermudah produk keluar
Kondisi Operasi	:	• Tekanan : 1 atm • Suhu : 60 °C • Waktu Tinggal : 30 menit (U.S Patent)



Kondisi feed :
Feed salt cake
Komposisi bahan :

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na_2SO_4	0,9712	14.072	2,70
$MgSO_4$	0,0049	72	2,66
NaCl	0,0163	237	2,16
$CaSO_4$	0,0075	109	2,96
Total	1	14.490	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}97}{2{,}70} + \frac{0{,}005}{2{,}66} + \frac{0{,}016}{2{,}16} + \frac{0{,}0075}{2{,}96}} \text{ x } 62{,}43$$

= 2,69 gr/cc x 62,43 lb/cuft
= 167,86 lb/cuft

Rate massa = 14.490 kg/jam = 31.944 lb/jam

$$\text{Rate volumetrik solid} = \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} = \frac{31.944}{167{,}86}$$

= 190,30 cuft/jam

Feed Natrium Karbonat
Komposisi bahan :

Komponen	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na_2CO_3	11,63	2,53

ρ Na2CO3 = 2,53 x 62,43 lb/cuft = 158,14 lb/cuft

Rate massa = 11,63 kg/jam = 25,63 lb/jam

$$\text{Rate volumetrik solid} = \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} = \frac{25{,}63}{158{,}14} = 0{,}16 \text{ cuft/jam}$$

Feed Air Proses

Komponen	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
H_2O	33.885	1

Densitas = 1 x 62,43 = 62,43 lb/cuft

Rate massa = 33.885 kg/jam
= 74.704 lb/jam

$$\text{Rate volumetrik liquid} = \frac{\text{Rate massa}}{\text{Densitas}} = \frac{74.704}{62,43} = 1196,6 \text{ cuft/jam}$$

Total rate volumetrik = 190,30 + 0,16 + 1196,60
= 1387,06 cuft/jam

Perhitungan densitas campuran :

Komposisi bahan

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Salt cake	0,2995	14.490	2,69
Na_2CO_3	0,0002	11,63	2,53
H_2O	0,7003	33.885	1
Total	1	48.387	

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

$$= \frac{1}{\frac{0,299}{2,689} + \frac{0,0002}{2,533} + \frac{0,7}{1}} \text{ x } 62,43$$

= 1,23 gr/cc x 62,43 lb/cuft
= 76,91 lb/cuft

Menentukan kapasitas tangki

Direncanakan penyimpanan untuk 0,5 jam dengan 1 buah tangki, sehingga :

Volume bahan = 1387,06 cuft/jam x 0,5 jam
= 693,5 cuft
= 19,63 m^3

Asumsi volume bahan mengisi 80% volume tangki sehingga :

$$\text{Volume tangki} = \frac{693,5}{80\%}$$

= 867 cuft = 24,53 m^3

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya :

Asumsi dimensi ratio = H/D = 2 *(Ulrich T.4-27)*

Volume tangki = 1/4 π D² H

866,92 = 1/4 x 3,14 x D² x 2 D

552,18 = D³ H = 2 D

D = 8,20 ft = 16,41 ft

= 98,45 in = 196,90 in

= 2,50 m = 5,00 m

H bahan = 80% H tangki = 13,13 ft

Penentuan tebal shell :

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$ *(Brownell, pers, 13-1 ; 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum , in

P = tekanan tangki , psi

ri = jari-jari tangki , in (1/2D)

C = faktor korosi 1/8

E = faktor pengelasan E = 0,8

f = stress allowable , psi f = 12650 psi

Carbon Steel SA - 283 grade C

(Brownell, T-13.1 ; 251)

Phidrostatis = ρ x g x H

= 76,91 x 1 x 13,13

= 1009,50 lb/ft² = 7,01 psi

P operasi = P atmosfer + p hidrostatis

= 14,7 psi + 7,01 psi

= 21,71 psi

Pdesign 10% lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 21,71 x 110%

= 23,88 psi

ri = 0,5 D

= 0,5 x 98,45

= 49,22 in

Asumsi tebal shell = 5/16 in

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$

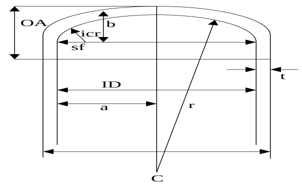
$$5/16 = \frac{23,88 \quad x \quad 49,22}{f \quad 0,8 \; - \; 0,6 \quad 23,88} + 1/8$$

$$3/16 = \frac{1175,54}{f \quad 0,8 \; - \quad 14,33}$$

f = 7854,8 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 5/16 in dapat digunakan

Dimensi tutup atas dan bawah :



OD = D + 2 ts
= 98,45 + 0,88
= 99,32 in

Diambil OD standart = 120 in *(Brownell , T.5.7 ; 90)*

rc = 170 in

Tebal tutup atas (Torispherical dished) :

$$t_h = \frac{0{,}885 \text{ x P x rc}}{\text{f.e - 0,1 P}} + C$$ *(Brownell , pers.13-12)*

dengan:

t_h = tebal tutup (head) shell minimum ; in
r_c = *crown radius* ; in
P = tekanan tangki ; psia
E = faktor pengelasan, jenis *double welded butt joint.* E = 0,8
C = faktor korosi (digunakan 1/8 in)
f = allowable stress, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C, maka f = 12650 psi [Brownell, T.13-1]

Asumsi tebal head = 8/16 in

$$t_h = \frac{0{,}885 \text{ x P x rc}}{\text{f.e - 0,1 P}} + C$$

$$8/16 = \frac{0{,}885 \times 23{,}88 \times 170}{f \times 0{,}8 - 0{,}1 \times 23{,}88} + 1/8$$

$$3/8 = \frac{3592{,}96}{f \times 0{,}8 - 2{,}388}$$

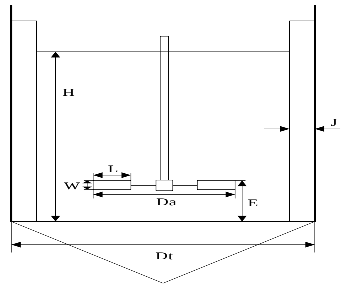
f = 11.973,55 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 8/16 in dapat digunakan

$$h = rc - \sqrt{rc^2 - \frac{D^2}{4}}$$ *(Hesse, hal 92)*

= 170 - 162,72
= 7,28 in = 0,61 ft

2. Perencanaan Sistem Pengaduk



Jumlah baffle = 4 buah

Dipilih pengaduk type flat blade turbine dengan jumlah blade 6

Penentuan dimensi pengaduk : (Mc.Cabe 5th ed ;243)

Diameter impeler (Da) = 1/3 diameter tangki

= 1/3 x 8,20 = 2,73 ft = 0,83 m

Lebar blade (W) = 1/5 diameter impeler

= 1/5 x 2,73 = 0,55 ft

Panjang blade (L) = 1/4 diameter impeler

= 1/4 x 2,73 = 0,68 ft

Jarak impeller dari dasar = 1/3 diameter tangki

= 1/3 x 8,20 = 2,73 ft

Lebar baffle (J) = 1/12 diameter tangki

= 1/12 x 8,20 = 0,68 ft

Tebal pengaduk = 1/10 x 0,68 = 0,07 ft

Penentuan putaran pengaduk :

V = π x Da x N *(Mc.Cabe 5th ed ;244)*

Untuk pengaduk jenis turbin :

Peripheral speed = 200 - 250 m/menit

V = Peripheral speed , m/mnt

Da = diameter pengaduk , m

N = putaran pengaduk, rpm

Diambil V = 250 m/min = 4,17 m/dt

V = π x Da x N

250 = 3,14 x 0,83 x N

N = 95,519 rpm

Penentuan jumlah pengaduk :

$$\text{Sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}}$$

$$= \frac{76{,}91 \text{ lb/cuft}}{62{,}43 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 1{,}2319$$

$$\text{Jumlah impeler} = \frac{\text{tinggi liquida x sg}}{\text{Diameter tangki}}$$

$$= \frac{13{,}13 \times 1{,}23}{8{,}204}$$

$$= 1{,}97 \approx 2 \text{ buah}$$

Jarak pengaduk = 1,5 x Da

= 4,1 ft

Bilangan reynold ; Nre :

Putaran pengaduk = 95,5 rpm = 1,59 rps

ρcampuran = 76,9058 lb/cuft

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

$$= \frac{1{,}2319}{0{,}996} \times 0{,}00085$$

$$= 0{,}00105 \text{ lb/ft.detik}$$

$$\text{Nre} = \frac{\rho \times Da^2 \times N}{\mu}$$

$$= \frac{76{,}91 \text{ lb/cuft} \times 7{,}478 \text{ ft}^2 \times 1{,}6 \text{ rps}}{0{,}00105 \text{ lb. ft/ detik}}$$

$$= 870927{,}31$$

Karena Nre > 10000, maka digunakan baffle *(Perry 6ed ; 19-8)*

Untuk Nre > 10000 diperlukan 4 buah baffle, sudut 90° *(Perry 6ed ; 19-8)*

Power pengaduk :

Untuk Nre > 10000 perhitungan power digunakan persamaan :

$$P = \frac{K_3}{g} \rho N^3 D^5$$ *(Ludwig, vol1 pers. 5.5 ; 299)*

Dengan ,

P	=	Power	;	Hp
K_3	=	Faktor mixer (turbin)	;	6,3
g	=	Konstanta grafitasi	;	32,3 ft/dt² x lbm/lbf
ρ	=	Densitas	;	lb/cuft
N	=	Kecepatan putaran impeler	;	rps
D	=	Diameter impeller	;	ft

(Ludwig, vol1 T.5 ; 301)

$P = \frac{6,3}{32,3}$ x 76,91 x 4,03 x 152,94
= 9256,30 lb.ft/dt
= 16,83 hp

Perhitungan losses pengaduk :
Gland losses (kebocoran tenaga akibat poros dan bearing) = 10%
Glans losses 10% = 10% x 16,83 = 1,68 hp
(Joshi ; 399)
Power input dengan gland losses = 16,83 + 1,68 = 19 hp
Transmission system loses = 20% *(Joshi ; 399)*
Transmission system loses = 20% x 18,51 = 3,70 hp

Power input dengan transmission system loses = 18,51 + 3,70
= 22,22 hp
Untuk 2 buah impeller, maka power input = 2 x 22,22
= 44 hp
Effisiensi motor = 80%
Power motor = $\frac{44}{80\%}$ = 55,54 hp
Digunakan power motor = 56 hp

3. Perencanaan Sistem Pemanas
Sistem pemanas
Perhitungan jaket pemanas
Sebagai media pemanas digunakan steam pada suhu = 148 °C
Untuk menjaga suhu agar suhu dalam tangki tetap = 60 °C
Q serap = 527.672 Kkal/jam
= 2.092.571 Btu/jam
Kebutuhan steam = 1.041 kg/jam = 2.294 lb/jam

Menentukan Tinggi Jaket :
Tinggi jaket = Tinggi shell + Tinggi tutup bawah
= 16,408 + 0,607
= 17,015 ft
Asumsi :
Jaket spacing (s) = 3 in
Tebal jaket (ts) = 5/16 in
Eff. Sambungan las = 0,8
Faktor korosi = 1/8
Digunakan bahan konstruksi yang terbuat dari carbon steel dengan spesifikasi SA - 283 Grade C

f allowable = 12650 psi

Do (shell) = Di + 2 ts
= 98,45 + 2 x 5/16
= 99,07 in
Di (jaket) = Dos + 2 s
= 99,07 + 2 x 3
= 105,07 in
Do (jaket) = Dij + 2 tj
= 105,07 + 2 x 5/16
= 105,70 in
P design jaket = Po - Pi + Ph
= 1 - 1 + ρ x g/gc x h bahan
= 76,91 lb/cuft x 1 lbf/lbm x 13,13
= 1009,50 lbf/ft^2
= 7,01 psi
P total = 7,01 + P absolute
= 21,71 psi

Penentuan Tebal Jaket :

$$t = \frac{P \times Dij}{2\,fE - P} + C$$ *(Brownell, pers, 13-1 ; 254)*

dimana, t = Tebal dinding minimum , in
Pd = Tekanan design , psi
Dij = Diameter dalam jaket , in
C = faktor korosi 1/8
E = faktor pengelasan E = 0,8
f = stress allowable , psi f = 12650 psi
Carbon Steel SA - 283 grade C

Asumsi tebal shell = 5/16 in

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

$$5/16 = \frac{21,7104 \quad x \quad 105,0730}{2 \quad f \quad 0,8 \quad - \quad 21,7104} + 1/8$$

$$3/16 = \frac{2281,1759}{f \quad 1,6 \quad - \quad 21,7104}$$

f = 7617,5 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 5/16 in dapat digunakan

Spesifikasi :

Fungsi : Menghilangkan Impurities produk dengan bantuan Na_2CO_3

Type : Silinder tegak, tutup atas dan bawah torispherical

		dished dilengkapi pengaduk dan jaket
Bahan Konstruksi	:	Carbon Steel SA - 283 Grade C
Dimensi Shell (Tangki) :		
Diameter shell, inside	:	8,20 ft
Tinggi shell	:	16,41 ft
Tebal shell	:	5/16 in
Lebar baffle	:	0,7 ft
Dimensi Tutup :		
Tebal tutup atas	:	8/16 in
Tinggi tutup atas	:	0,61 ft
Tebal tutup bawah	:	8/16 in
Tinggi tutup bawah	:	0,61 ft
Bahan konstruksi	:	Carbon stell SA - 283 Grade C

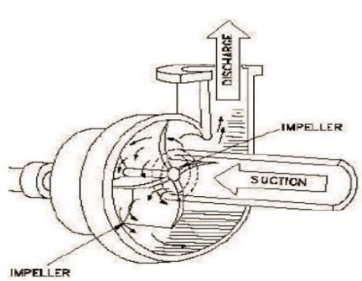
Sistem Pengaduk :

Digunakan impeller jenis turbin 6 buah flat blade dengan impeller

Jumlah impeller	:	2 buah
Diameter impeller	:	2,73 ft
Panjang blade	:	0,7 ft
Lebar blade	:	0,55 ft
Jarak impeler dari dasar	:	2,73 ft
Power motor	:	56 hp
Sistem pemanas :		
Diameter jaket inside	:	8,76 ft
Tinggi jaket	:	17,01 ft
Jaket spacing	:	0,28 ft
Tebal jaket	:	5/16 in
Tinggi Solution Tank	:	17,01 ft
Jumlah Solution Tank	:	1 buah

21. POMPA - 4

Fungsi	:	Memindahkan bahan dari solution tank ke filter press
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar pemilihan	:	Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid



Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na_2SO_4	0,4212	25.509,22	2,7
NaCl	0,0160	971,13	2,16
CaCO3	0,0003	16,39	2,93
MgCO3	0,0008	46,80	3,04
H_2O	0,5617	34.016,58	1
Total	1	60.560,11	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}421}{2{,}700} + \frac{0{,}016}{2{,}160} + \frac{0{,}0003}{2{,}930} + \frac{0{,}0008}{3{,}040} + \frac{0{,}5617}{1}} \times 62{,}43$$

= 1,3784 gr/cc x 62,43 lb/cuft

= 86,05 lb/cuft

Rate massa = 60.560,11 kg / jam = 133.232,2 lb/jam

= 37,0 lb/dt

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho\ \text{campuran}} = \frac{133.232{,}2}{86{,}05}$$

= 1548 cuft/jam

= 193,03 gpm

= 0,43 cuft/dt

Asumsi : aliran turbulen

Di (diameter inside) optimum untuk aliran turbulen digunakan persamaan (15) peters :

Diameter optimum = $3.9 \times q_f^{0.45} \times \rho^{0.13}$

Dengan : *[Peters, 4 ^{ed} , pers.15 : 496]*

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $3{,}9 \times 0{,}43^{0{,}45} \times 86{,}05^{0{,}13}$

= 4,76 in

Dipilih pipa 6 in, sch 40 *(Kern Tabel 11)*

OD = 6,6 in
ID = 6,1 in = 0,51 ft = 0,15 m

$A = 1/4 \times \pi \times ID^2$
$= 1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}5083^2$
$= 0{,}2028 \ ft^2$

Kecepatan aliran, v $= \dfrac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Area pipa}}$
$= \dfrac{0{,}4301 \ \text{cuft/detik}}{0{,}2028 \ ft^2}$
$= 2{,}1202$ ft/ detik

ρ reference = 62,43 lb/cuft
Sg reference = 0,996 lbf/lbm
μ reference = 0,00085

Sg bahan $= \dfrac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} \times$ Sg reference
$= \dfrac{86{,}054}{62{,}43} \times 0{,}996$
$= 1{,}3729$

Berdasarkan Sg bahan

μ bahan $= \dfrac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference}} \times \mu$ reference
$= \dfrac{1{,}3729}{0{,}996} \times 0{,}00085$
$= 0{,}00117$ lb/ft.detik

NRe $= \dfrac{ID \ v \ \rho}{\mu}$
$= \dfrac{0{,}51 \times 2{,}12 \times 86{,}05}{0{,}00117}$
$= 79.158 > 2100$ (Asumsi turbulen benar)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046
ε/D = 0,0003
f = 0,0042 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**
gc = 32,17 $ft.lbm/detik^2.lbf$

Digunakan persamaan Bernoulli :

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F$$

Perhitungan friksi berdasarkan **Peters, 4^ed^ Tabel 1 halaman 484**

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve open	7
Globe valve open	300

Panjang ekuivalen suction, I **(Peters 4^ed^ , Tabel - 1)**

ID pipa = 0,51 ft

		Taksiran panjang pipa lurus					=	50	ft
4 Elbow 90^o	=	4	x	32	x	0,51	=	65,07	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,51	=	3,56	ft
1 Glove Valve	=	1	x	300	x	0,51	=	152,50	ft
Panjang Total Pipa							=	118,63	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2 \times f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0{,}0042 \times 2{,}12^2 \times 118{,}63}{32{,}17 \times 0{,}51}$$

$$= \frac{4{,}48}{16{,}36}$$

$$= 0{,}27 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

k = 0,5 ; A tangki >>> A pipa
α = 1 ; untuk aliran turbulen
[Peters 4 ^ed^ ; 484]

$$= \frac{0{,}5 \times 2{,}12^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}03 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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)

$$= \frac{2{,}12^2 - 0}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}07 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena elbow 90 ˚

$$F_4 = \frac{K_{f} \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}75 \times 2{,}12}{2} = 0{,}80 \quad ft\ lbf/lbm$$

5, Friksi karena gate valve

$$F_5 = \frac{K_{f} \times V_1^2}{2} = \frac{0,17 \quad x \quad 2,12}{2} = 0,18 \quad \text{ft lbf/lbm}$$

$$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$
$$= 0,27 + 0,03 + 0,07 + 0,80 + 0,18$$
$$= 1,35 \quad \text{ft lbf /lbm}$$

Menghitung Energi Tekanan

Tinggi bahan, H = 13,13 ft

ρ bahan = 86,05 lb/cuft

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 86,05 x 13,13

= 1129,57 lb/ft^2

P_2 = 1 atm = 2117 lbf/ft^2

$\Delta P = P_2 - P_1$

= 2116,8 - 1129,57

= 987,23 lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{987,23 \quad lbf/ft^2}{86,05 \quad lb/cuft}$$

$$= 11,47 \quad \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Menghitung Eergi Potensial

Asumsi : Z_2 = tinggi filter press + pipa

= 2 + 4

= 6 ft

Z_1 = 0 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \quad x \frac{g}{gc}$$

$$= (\quad 6 \quad - \quad 0 \quad) \quad x \quad 1 \quad \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 6 \quad ft.lbf/lbm$$

Menghitung Energi Kinetik

g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2

gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2,12^{\quad 2}}{2 \quad x \quad 1 \quad x \quad 32,17}$$

$$= 0,07 \quad ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\ \alpha\ gc} + \Sigma F$$

$$= 11{,}47 + 6 + 0{,}07 + 1{,}35$$

$$= 18{,}90 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 37,01 lb/dt

$$Hp = \frac{-Wf \times rate\ massa}{550}$$ *(Perry 6 ed ; Pers 6-11, Page 6-5)*

$$= \frac{18{,}90 \times 37{,}01}{550}$$

$$= 1{,}27 \ Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37)*

$$Bhp = \frac{Hp}{\eta\ pompa}$$

$$= \frac{1{,}27}{40\%}$$

$$= 3{,}18 \ Hp$$

Effisiensi motor = 80% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 38)*

$$Power\ motor = \frac{Bhp}{\eta\ motor}$$

$$= \frac{3{,}18}{80\%}$$

$$= 3{,}97 \ Hp$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Memindahkan bahan dari solution tank ke filter press
Type	:	Centrifugal pump
Dasar pemilihan	:	Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid
Kapasitas	:	133.232,25 lb/jam
Kecepatan aliran (v)	:	2,12 ft/detik
BHp	:	3,18 Hp
Power Motor	:	3,97 Hp
Rate volumetrik	:	193,03 gpm
Total Dynamic Head	:	18,90 ft.lbf/lbm
Effisiensi Pompa	:	40%
Effisiensi Motor	:	80%

Bahan Konstruksi : Commercial Steel
Jumlah : 1 Buah

22. FILTER PRESS

Fungsi : Memisahkan filtrate dengan cake
Tipe : Plate and frame
Bahan konstruksi : Acrylic

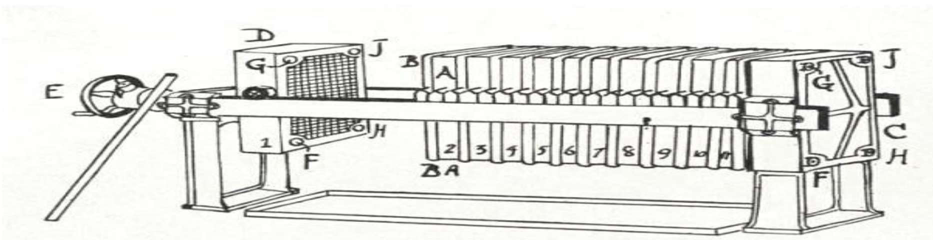


Fig. 7 —Filter Press.

Perhitungan :
Komponen Bahan Masuk :

Komponen	**Fraksi Berat**	**Berat (kg)**	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na_2SO_4	0,42122	25.509,22	2,7
NaCl	0,01604	971,13	2,16
CaCO3	0,00027	16,39	2,93
MgCO3	0,00077	46,80	3,04
H_2O	0,56170	34.016,58	1
Total	1	60.560,11	2,325

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}421}{2{,}700} + \frac{0{,}016}{2{,}160} + \frac{0{,}0003}{2{,}930} + \frac{0{,}001}{3{,}040} + \frac{0{,}5617}{1}} \text{ x } 62{,}43$$

= 1,3784 gr/cc x 62,43 lb/cuft
= 86,05 lb/cuft

Rate massa = 60.560,11 kg / jam = 133.511 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho\text{ campuran}} = \frac{133.511}{86{,}05} = 1.551 \text{ cuft/jam}$$

Direncanakan filter press untuk 1 jam operasi = 60 menit
Total rate volumetrik = 1.551 cuft/jam

1,2 menit terbentuk 20 kg/m2 *(Perry 7ed, F.18.99 : 18-81)*
60 menit terbentuk 1000 kg/m2
luas plate 10 x 10 cm2 sampai 1,5 x 1,8 m2
digunakan luas plate 1,5 x 1,8 = 2,7 m2
sehingga, filter press dapat menyaring padatan sebesar 2700 kg

Dari Perry, 1997 : halaman 18-100
Dipilih luas plate = 1,5 x 1,8 = 2,7 m^2
Tebal frame = 20 cm = 0,2 m
Volume tiap frame = 0,54 m^3 = 19,29 cuft/frame

$$\text{Kebutuhan jumlah frame} = \frac{\text{Rate Volumerik}}{\text{Volume Tiap Frame}} = \frac{1.551 \text{ cuft}}{19,29 \text{ cuft/frame}} = 80$$

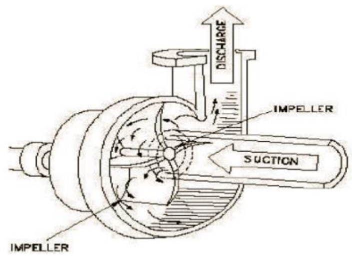
Kebutuhan jumlah Plate = Jumlah Frame - 1 = 79 buah
Panjang total frame = 79 x 0,2 = 15,89 m

Spesifikasi alat

Fungsi	:	Memisahkan filtrate dengan cake
Tipe	:	Plate and frame
Ukuran	:	1,5 x 1,8 m
Tebal frame	:	0,2 m
Jumlah frame	:	79 buah
Panjang filter press	:	15,9 m
Bahan konstruksi	:	Acrylic
Jumlah	:	2 buah

23. POMPA - 5

Fungsi : Memindahkan bahan dari filter press ke crystallizer
Type : Centrifugal Pump
Dasar pemilihan : Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan baham liquid



Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na_2SO_4	0,422	24.999	2,70
NaCl	0,016	952	2,33
H_2O	0,562	33.336	1
Total	1	59.287	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}422}{2{,}698} + \frac{0{,}016}{2{,}325} + \frac{0{,}562}{1}} \text{ x } 62{,}43$$

= 1,38 gr/cc x 62,43 lb/cuft
= 86,05 lb/cuft

Rate massa = 59286,982 kg / jam = 130431,36 lb/jam
= 36,23 lb/detik

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

$$= \frac{130431{,}36}{86{,}05}$$

= 1515,70 cuft/jam
= 188,97 gpm
= 0,42 cuft/dt

Asumsi : aliran turbulen

Di (diameter inside) optimum untuk aliran turbulen digunakan persamaan (15) peters :

Diameter optimum = $3.9 \times q_f^{0.45} \times \rho^{0.13}$

Dengan : *[Peters, 4 ed , pers.15 : 496]*

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $3,9 \times 0,42^{0,45} \times 86,05^{0,13}$
= 4,72 in

Dipilih pipa 6 in, sch 40 *(Kern Tabel 11)*

OD = 6,60 in

ID = 6,1 in = 0,51 ft = 0,15 m

A = $1/4 \times \pi \times ID^2$
= $1/4 \times 3,14 \times 0,51^2$
= $0,20\ ft^2$

Kecepatan aliran, V = $\frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Area pipa}}$
= $\frac{0,42\ \text{cuft/detik}}{0,20\ ft^2}$
= 2,08 ft/ detik

ρ reference = 62,43 lb/cuft

Sg reference = 0,996 lbf/lbm

μ reference = 0,00085

Sg bahan = $\frac{\rho\ \text{bahan}}{\rho\ \text{reference}} \times$ Sg reference
= $\frac{86,05}{62,43} \times 0,996$
= 1,37

Berdasarkan Sg bahan

μ bahan = $\frac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference}} \times \mu$ reference
= $\frac{1,37}{0,996} \times 0,00085$
= 0,00117 lb/ft.detik

NRe = $\frac{ID\ v\ \rho}{\mu}$
= $\frac{0,51 \times 2,08 \times 86,05}{0,00117}$
= 77493,63 > 2100 (Asumsi turbulen benar)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046

ε/D = 0,0003 *(Geankoplis ; Page 88)*

f = 0,0042 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

gc = 32,17 ft.lbm/detik^2.lbf

Digunakan persamaan Bernoulli :

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\ \alpha\ gc} + \Sigma F$$

Perhitungan friksi berdasarkan **Peters, 4^{ed} Tabel 1 halaman 484**

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve open	7
Globe valve open	300

Panjang ekuivalen suction, **(Peters 4^{ed} , Tabel - 1)**

ID pipa = 0,51 ft

Taksiran panjang pipa lurus						=	50	ft
2 Elbow 90^o	=	2	x	32	x 0,51	=	32,53	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x 0,51	=	3,56	ft
1 Glove Valve	=	1	x	300	x 0,51	=	152,50	ft
Panjang Total Pipa						=	86,09	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2 \times f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0{,}0042 \times 2{,}08^2 \times 86{,}09}{32{,}17 \times 0{,}51}$$

$$= \frac{3{,}12}{16{,}36}$$

$$= 0{,}19 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

k = 0,5 ; A tangki >>> A pipa

α = 1 ; untuk aliran turbulen

$$= \frac{0{,}5 \times 2{,}08^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}0335 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3. Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

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

$= \dfrac{2{,}08^2 - 0}{2 \times 1 \times 32{,}17}$

$= 0{,}0670$ ft.lb_f / lb_m

4. Friksi karena elbow 90 °

$F_4 = \dfrac{K_{f} \times V_1^2}{2} = \dfrac{0{,}75 \times 2{,}08}{2} = 0{,}78$ ft lbf/lbm

5, Friksi karena gate valve

$F_5 = \dfrac{K_{f} \times V_1^2}{2} = \dfrac{0{,}17 \times 2{,}08}{2} = 0{,}18$ ft lbf/lbm

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$
$= 0{,}19 + 0{,}033 + 0{,}067 + 0{,}78 + 0{,}18$
$= 1{,}25$ ft lbf /lbm

Menghitung Energi Tekanan

Tinggi bahan, H = 52,13 ft
ρ bahan = 86,05 lb/cuft
P hidrostatis = ρ x H x g/gc
= 86 x 52,13
= 4486,05 lb/ft^2

P_2 = 1 atm = 2117 lbf/ft^2

$\Delta P = P_2 - P_1$
= 2116,8 - 4486,05
= 2369,25 lbf/ft^2

$\dfrac{\Delta P}{\rho} = \dfrac{2.369{,}25 \ lbf/ft^2}{86{,}05 \ lb/cuft}$

$= 27{,}53 \ \dfrac{ft.lbf}{lbm}$

Menghitung Eergi Potensial

Asumsi : Z_2 = tinggi crystallizer + pipa
= 9,32 + 4
= 13,32 ft
Z_1 = 0 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

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

$= (13{,}32 - 0) \times 1 \ \dfrac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$

= 13,32 ft.lbf/lbm

Menghitung Energi Kinetik

g, percepatan gravitasi bumi = 32 ft/dt^2

gc, konstanta gravitasi bumi = 32,17 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2{,}08^{\;2}}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}067 \quad ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F$$

$$= 27{,}53 + 13{,}32 + 0{,}067 + 1{,}25$$

$$= 42{,}17 \quad \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 36,23 lb/dt

$$Hp = \frac{- Wf \times \text{rate massa}}{550}$$ *(Perry 6 ea ; Pers 6-11, Page 6-5)*

$$= \frac{42{,}17 \times 36{,}23}{550}$$

$$= 2{,}78 \quad Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37)*

$$Bhp = \frac{Hp}{\eta \text{ pompa}}$$

$$= \frac{2{,}78 \quad Hp}{40\%}$$

$$= 6{,}94 \quad Hp$$

Effisiensi motor = 80% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 38)*

$$\text{Power motor} = \frac{BHp}{\eta \text{ motor}}$$

$$= \frac{6{,}94}{80\%}$$

$$= 8{,}68 \quad Hp$$

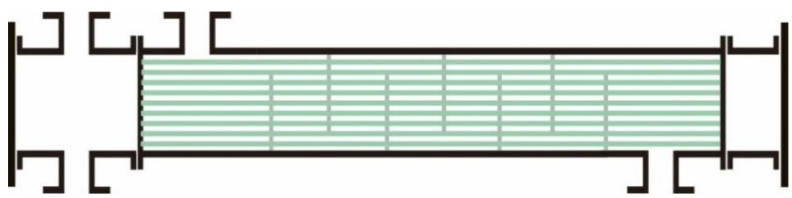
Spesifikasi :

Fungsi	:	Memindahkan bahan dari filter press ke crystallizer
Type	:	Centrifugal pump
Dasar pemilihan	:	Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid
Kapasitas	:	130.431,36 lb/jam

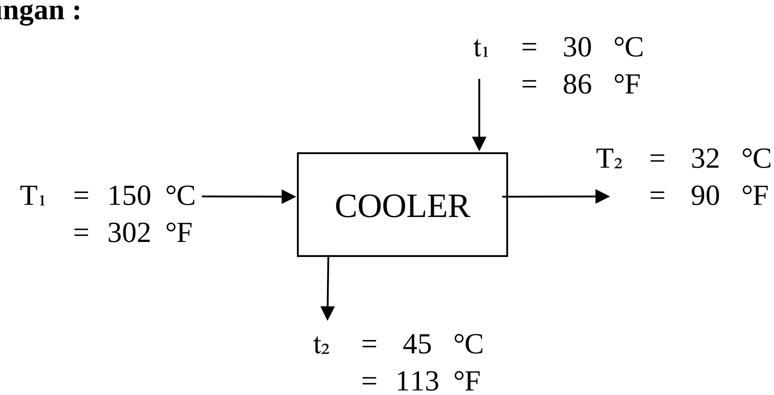
Kecepatan aliran (v)	:	2,0756	ft/detik
BHp	:	6,944	Hp
Power Motor	:	8,681	Hp
Rate volumetrik	:	188,97	gpm
Total Dynamic Head	:	42,17	ft.lbf/lbm
Effisiensi Pompa	:	40%	
Effisiensi Motor	:	80%	
Bahan Konstruksi	:	Commercial Steel	
Jumlah	:	1 Buah	

24. COOLER

Fungsi	:	Mendinginkan liquid dari suhu 150°C ke suhu 30°C
Type	:	Shell and Tube Heat Exchanger
Dasar pemilihan	:	Umum digunakan dan mempunyai range perpindahan panas yang besar



Perhitungan :



<u>1. Heat Balance :</u>

Rate massa = 59286,98 kg/jam = 130704,1 lb/jam

Panas yang dilepas (Q) = 84445,6 kkal/jam = 334883,2 BTU/jam

pendingin yang digunakan :
Massa water = 5629,704 kg/jam = 12411,24 lb/jam

2. Perhitungan Δt :

LMTD $= \dfrac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \dfrac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}}$ *(Kern, Pers. 5.14 :89)*

LMTD $= \dfrac{(302{,}0 - 113{,}0) - (89{,}6 - 86{,}0)}{\ln \dfrac{(302{,}0 - 113{,}0)}{(89{,}6 - 86{,}0)}}$

$= \dfrac{185{,}4}{3{,}96}$

= 46,81 °F = 8,23 °C 281,38 K

$R = \dfrac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \dfrac{302 - 90}{113 - 86} = 7{,}87$

$S = \dfrac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \dfrac{113 - 86}{302 - 86} = 0{,}13$

Diperoleh F_t = 0,71 (untuk 3-6 shell tube) *(Kern, F.20 :830)*

ΔT = F_t x LMTD *(Kern : 225)*

= 0,71 x 46,81

= 33,23 °F

3. Caloric temperature :

Tc dan tc digunakan temperatur rata-rata

Tc = T average media ; 207,5 °F

tc = Taverage bahan ; 87,8 °F

Dipilih pipa ukuran 1 in OD, 16 BWG, 1 1/4-in square pitch

Asumsi U_D = 100 *(Kern, T.8)*

$A = \dfrac{Q}{U_D \times \Delta T} = \dfrac{334883{,}2}{100 \times 33{,}23}$

= 100,765 ft²

a" = 0,262 ft²

L = 2,8 ft

$Nt = \dfrac{A}{L \times a''} = \dfrac{100{,}8}{2{,}8 \times 0{,}262}$

= 140 buah

Tc = Tav bahan

$Tc = \dfrac{T_1 + T_2}{2} = \dfrac{302 + 90}{2}$

= 196 °F

tc = tav water

$tc = \dfrac{t_1 + t_2}{2} = \dfrac{86 + 113}{2}$

= 100 °F

Dari Kern, tabel 9 diperoleh cooler dengan spesifikasi :

Susunan = 1 in OD on 1 1/4 in Square Pitch

Pases = 6
Jumlah pipa terdekat = 152 buah
ID shell (IDs) = 21 1/4 `
Sehingga, luas transfer panas koreksi dan UD koreksi :

$$A = Nt \times a'' \times L$$
$$= 152 \times 0{,}26 \times 2{,}75$$
$$= 109{,}5 \text{ ft}^2$$

$$U_D = \frac{Q}{A \times \Delta T}$$
$$= \frac{334883{,}2}{110 \times 33{,}23}$$
$$= 92 \text{ ft}^2$$

Fluida Panas (Tube Side) Bahan	Fluida Dingin (Shell Side) Water
4. Flow area, $a_t = \frac{Nt \times a'_t}{144 \times n}$ $a'_t = 0{,}594 \text{ in}^2$ *(Kern, T.10)* $a_t = \frac{152 \times 0{,}6}{144 \times 6}$ $= 0{,}105 \text{ ft}^2$	4' Flow area (a_s) C' = Pt - OD = 0,25 B = 4,25 $a_s = \frac{ID . C' . B}{144 . P_T}$ $= \frac{21{,}25 \times 0{,}25 \times 4{,}25}{144 \times 1{,}25}$ $= 0{,}125 \text{ ft}^2$
5. Kecepatan massa (Gt) $Gt = \frac{W}{a_t}$ $= \frac{130.704}{0{,}1045}$ = lb/jam ft² Vel, V $= \frac{Gt}{3600 \times \rho}$ = fps	5' Kecepatan massa (G_s) $G_s = \frac{W}{a_s}$ $= \frac{12411{,}24}{0{,}1254}$ = 98946,40 lb/jam ft²
6. Pada Tc = 196 °F μ = 1,744 Cp = 4,219 lb / jam.ft Di = 0,87 in *(Kern, T.10)* = 0,073 ft $Re_t = \frac{Di \times G_t}{\mu}$ $= \frac{0{,}1 \times 1.250.757}{4{,}219}$ = 21.491	6' Pada tc = 100 °F μ = 1,800 Cp *(Kern, T.10)* = 4,356 lb / jam.ft De = 0,99 in *(Kern, F.28)* = 0,083 ft $Re_s = \frac{De \times G_s}{\mu}$ $= \frac{0{,}1 \times 98946{,}40}{4{,}356}$ = 1873,985

7. jH = 75 *(Kern, F.24)*	7' jH = 24 *(Kern, F.28)*
	8' Pada tc = 100 °F k = 0,9 x k *(Kern, T.4)* = 0,4 Btu/hr.ft².(°F/ft) Cp = 0,8 Btu / lb.°F *(Kern,F.2)* $\left(\frac{Cp \cdot \mu}{k}\right)^{1/3} = \left(\frac{0,8 \times 4,356}{0,4}\right)^{1/3}$ = 2,167
9. Hio = 920 Btu/hr.ft².°F *(Kern, F.25)*	9' $ho = J_H \times \frac{k \cdot \Phi s}{De} \times \left(\frac{c \cdot \mu}{k}\right)^{1/3}$ $\frac{ho}{\Phi s}$ = 221,2734 Btu/hr.ft².°F
10. tw* $tw = Tc + \frac{hio}{hio + ho}(Tc - tc)$ $= 196 + \frac{920}{1141,273} \times 96$ = 273,4 °F	10' Pada tw = 273,4 °F μw = 2 μ *(Kern, F.14)* = 1,02 cps = 2,468 lb/jam.ft $\Phi s = \left(\frac{\mu}{\mu w}\right)^{0,14}$ = 1,083 11' Corrected coefficient $ho = \frac{\Phi s \cdot ho}{\Phi s}$ = 239,6 Btu/hr.ft².°F
12. Clean Overall Coefficient, Uc : $Uc = \frac{hio \times ho}{hio + ho}$ = 190,085 Btu/hr.ft².°F	
13. Dirt Factor, Rd : $Rd\ hitung = \frac{U_C - U_D}{U_C \times U_D}$ = 0,005608	

Rd hitung > Rd data
0,005608 > 0,001 (memenuhi) *(Kern, T.12)*

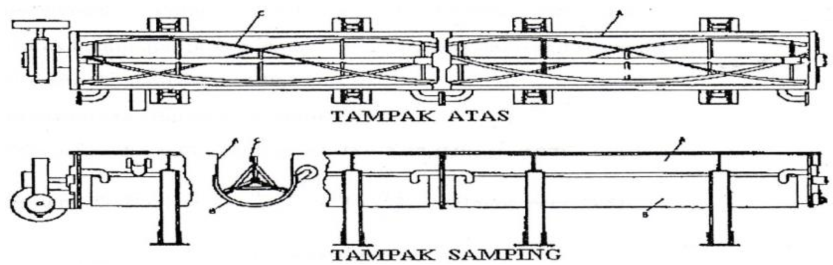
Fluida Panas (Tube Side) Bahan	Fluida Dingin (Shell Side) Water
1. Re_t = 21490,68 f = 0,00024 ft²/in² $s = \frac{1,3729}{0,996} = 1,3784$	1' Re_s = 1874 f = 0,003 ft²/in² *(Kern,F.29)* $s = \frac{1,1960}{0,996} = 1,2008$
2. $\Delta P_t = \frac{f \cdot Gt^2 \cdot L \cdot n}{5{,}22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \Phi_t}$ = 1,098 psi	2' Jumlah baffle (N) $N + 1 = 12 \times \frac{L}{B}$ $= 12 \times \frac{2{,}8}{4{,}25}$ = 7,77 D_s = 1,771 ft
3. $\frac{v^2}{2g}\left(\frac{62{,}5}{144}\right) = 0{,}13$ *(Kern, F.27)* $\Delta P_r = \frac{4xn}{s} \times \frac{v^2}{2g}\left(\frac{62{,}5}{144}\right)$ $= \frac{4 \times 6}{1{,}3784} \times 0{,}13$ = 2,263 psi	3' $\Delta P_s = \frac{f \cdot Gs^2 \cdot D_s \cdot (N+1)}{5{,}22 \cdot 10^{10} \cdot De \cdot s \cdot \Phi_s}$ = 0,072 psi Pressure drop maksimum = 10 psi $\Delta P_s < \Delta P_s$ maks 0,072 < 10 (Memenuhi)
4. $\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r$ = 1,098 + 2,263 = 3,361 psi Pressure drop maksimum = 10 psi $\Delta P_T < \Delta P_T$ maks 3,361 < 10 (Memenuhi)	

Spesifikasi :

Fungsi	:	Mendinginkan liquid dari suhu 150°C ke suhu 32°C
Type	:	Shell and Tube Heat Exchanger
Tube	:	OD = 1 in ; 16 BWG
		Panjang = 2,8 ft
		Pitch = 1 1/4 in square pitch
		Jumlah tube, Nt = 152 buah
		Passes = 6
Shell	:	ID = 21 1/4 in
		Passes = 6
HE area, A	:	109,52 ft²
Bahan konstruksi	:	Carbon steel
Jumlah	:	1 buah

25. CRYSTALLIZER

Fungsi : Mengkristalkan Na_2SO_4 dan H_2O menjadi $Na_2SO_4.10H_2O$
Tipe : Swenson - Walker Crystallizer
Dasar pemilihan : Umum digunakan untuk kristalisasi pendinginan



Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na_2SO_4	0,422	24.999	2,698
NaCl	0,016	952	2,325
H_2O	0,562	33.336	1
Total	1	59.287	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}422}{2{,}698} + \frac{0{,}016}{2{,}325} + \frac{0{,}562}{1}} \times 62{,}43$$

= 1,38 gr/cc x 62,43 lb/cuft
= 86,05 lb/cuft

Rate massa = 59.287 kg / jam
= 130.704 lb/jam

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

$$= \frac{130.704}{86{,}05}$$

= 1.519 cuft/jam

Volume bahan = Rate volumetrik x Waktu kristalisasi
= 1.519 x 1
= 1.519 cuft

Direncanakan volume bahan mengisi 70% volume crystallizer maka :

$$\text{Volume crystallizer} = \frac{1.519}{0,7}$$

$$= 2169,81 \quad \text{cuft}$$

Dimensi crystallizer :

Digunakan ratio, m = L / D = 3 *(Hugot : 542)*

$$\text{Volume cystallizer} = \frac{m \times D^3}{2} \times \left(1 + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$2169,81 = \frac{3 \times D^3}{2} \times \left(1 + \frac{\pi}{4}\right)$$

$$D^3 = 810,39$$

$$D = 9,32 \text{ ft} = 2,84 \text{ m}$$

$$L = 27,97 \text{ ft} = 8,53 \text{ m}$$

Luas cooling area crystallizer :

$$S = V \times \frac{2 + 4.m}{m \times D}$$

$$= 2169,81 \times \frac{2 + 4 \times 3}{3 \times 9,323}$$

$$= 1086,09 \text{ ft}^2$$

Power pengaduk crystallizer :

Power yang digunakan adalah 16 hp tiap 1000 cuft bahan *(Hugot : 694)*

Volume bahan = 2.170

$$\text{Power crystallizer} = \frac{2.170}{1000} \times 16$$

$$= 34,72 \text{ Hp}$$

Spesifikasi :

Fungsi : Mengkristalkan Na_2SO_4 dan H_2O menjadi $Na_2SO_4.10H_2O$
Waktu kristalisasi = 1 jam (time of pases)
Tipe : Swenson - Walker Crystallizer
Kapasitas : 2169,81 cuft
Diameter : 9,32 ft
Panjang : 27,97 ft
Luas cooling area : 1086,09 ft^2/ft^3
Power : 34,72 Hp
Material : High Alloy Steel SA 240 Grade M
Jumlah : 1 buah

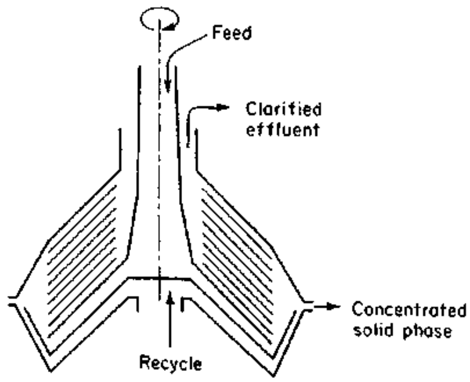
26. CENTRIFUGE

Fungsi : Memisahkan kristal $Na_2SO_4.10H_2O$ dari larutan induk

Tipe : Disc Centrifuge

Kondisi Operasi : Tekanan : 1 atm

Suhu : 20 °C



Perhitungan :

Komponen bahan masuk :

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
$Na_2SO_4.10H_2O$	0,9562	56.688	1,46
Na_2SO_4	0,0024	141	2,70
NaCl	0,016	952	2,33
H_2O	0,02541	1.506	1
Total	1	59.287	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}956}{1{,}464} + \frac{0{,}002}{2{,}698} + \frac{0{,}016}{2{,}325} + \frac{0{,}0254}{1}} \times 62{,}43$$

= 1,46 gr/cc x 62,43 lb/cuft

= 90,96 lb/cuft

Rate massa = 59.287 kg / jam

= 130.704 lb/jam

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

$$= \frac{130.704}{90{,}96}$$

= 1.436,87 cuft/jam

= 179,14 gpm

Dari Perry edisi 8, tabel 18-12, berdasarkan rate volumetrik (gallon per minutes), dipilih spesifikasi centrifuge sebagai berikut :

Spesifikasi :

Fungsi	:	Memisahkan kristal $Na_2SO_4.10H_2O$ dari larutan induk
Tipe	:	Disc Centrifuge
Kapasitas	:	179,14 gpm
Diameter bowl	:	24
Speed	:	3000 rpm
Centrifuge force	:	3070 lb_f / ft^2
Power motor	:	125 hp
Bahan	:	Stainless Steel
Jumlah	:	1 buah

27. SCREW CONVEYOR - 2

Fungsi	:	Memindahkan bahan dari Manheim Furnace ke rotary Cooler
Type	:	Plain spouts or chutes
Dasar pemilihan	:	Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup

Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Berat (kg)	%Berat	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na2SO4	25.397,87	98%	2,69
NaCl	427,07	1,65%	2,16
CaSO4	22,29	0,09%	2,960
MgSO4	66,87	0,26%	2,66
Total	25.914,09	100%	

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

$$= \frac{1}{\frac{0,980}{2,69} + \frac{0,016}{2,16} + \frac{0,0009}{2,96} + \frac{0,003}{2,66}} \times 62,43$$

= 2,68 gr/cc x 62,43 lb/cuft

= 167,27 lb/cuft

Rate massa = 25914,09 kg / jam = 57130,21 lb/jam

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

$$= \frac{57.130 \text{ lb/jam}}{167,27 \text{ lb/cuft}}$$

= 341,55 cuft/jam

= 5,69 cuft/mnt

Untuk ρ > 100 lb/cuft, bahan termasuk kelas D dengan F = 3

(Badger, T. 16-6)

$$\text{Power motor} = \frac{C.L.W.F}{33000}$$

Dimana, C = Kapasitas, cuft/mnt

L = Panjang, ft

W = Densitas bahan lb/cuft

F = Faktor bahan

(Badger, T. 16-5)

Asumsi panjang screw : L = 20 ft

$$\text{Power motor} = \frac{5,69 \times 20 \times 167,27 \times 3}{33000}$$

= 1,73 hp

Untuk power < 2 hp, maka dikalikan 2 *(Badger ; 713)*

1,73 x 2 = 3,46 hp

Efisiensi motor = 80%

$$\text{Power motor} = \frac{1,73}{80\%}$$

= 2,16 hp

Dari Badger, fig 16-20 untuk kapasitas 341,55 cuft/jam digunakan :

Diameter = 12 in

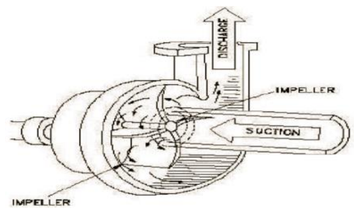
Kecepatan putaran = 45 rpm

Spesifikasi :

Fungsi	:	Memindahkan bahan dari Manheim Furnace ke rotary Cooler
Type	:	Plain spouts or chutes
Kapasitas	:	341,55 cuft/jam
Panjang	:	20 ft
Diameter	:	12 in
Kecepatan putaran	:	45 rpm
Power	:	2,16 hp
Jumlah	:	1 buah

30. POMPA - 6

Fungsi : Memindahkan liquid dari centrifuge ke Solution Tank
Type : Centrifugal Pump
Dasar pemilihan : Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid



Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na2SO4	0,02	11,50	2,7
NaCl	0,79	544,10	2,3
H2O	0,19	131,20	1
Total	1	686,800	

ρcampuran $= \dfrac{1}{\sum \dfrac{\text{fraksi berat}}{\rho\,\text{komponen}}} \times 62{,}43$

$= \dfrac{1}{\dfrac{0{,}017}{2{,}7} + \dfrac{0{,}79}{2{,}33} + \dfrac{0{,}19}{1}}$ x 62,43

= 1,86 gr/cc x 62,43 lb.cc/cuft.gr

= 116,20 lb/cuft

Rate massa = 686,80 kg / jam = 1510,96 lb/jam = 0,42 lb/dt

Rate Volumetrik $= \dfrac{\text{Rate Massa}}{\rho\ \text{campuran}}$

$= \dfrac{1510{,}96}{116{,}20}$

= 13,00 cuft/jam

= 1,62 gpm

= 0,0036 cuft/dt

Asumsi : aliran turbulen

Di (diameter inside) optimum untuk aliran turbulen digunakan persamaan (15) peters :, Nre > 2100

Diameter optimum = $3.9 \times q_f^{0.45} \times \rho^{0.13}$

Dengan : *[Peters, 4 ed , pers.15 : 496]*

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $3,9 \times 0,0036^{0,45} \times 116,20^{0,13}$

= 0,58 in

Dipilih pipa 1/2 in, sch 40 *(Kern Tabel 11)*

OD = 0,8 in

ID = 0,6 in = 0,05 ft = 0,015 m

A = 1/4 x π x ID²

= $1/4 \times 3,14 \times 0,05^2$

= 0,0020 ft^2

Kecepatan aliran, v = $\frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Area pipa}}$

= $\frac{0,0036 \text{ cuft/detik}}{0,0020 \text{ ft}^2}$

= 1,84 ft/ detik

ρ reference = 62,43 lb/cuft

Sg reference = 0,996 lbf/lbm

μ reference = 0,00085

Sg bahan = $\frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} \times$ Sg reference

= $\frac{116,20}{62,43} \times 0,996$

= 1,85

Berdasarkan Sg bahan

μ bahan = $\frac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference}} \times \mu$ reference

= $\frac{1,8539}{0,996} \times 0,00085$

= 0,00158 lb/ft.detik

NRe = $\frac{ID\ v\ \rho}{\mu}$

= $\frac{0,0500 \times 1,8404 \times 116,204}{0,00158}$

= 6.758,693 > 2100 (Asumsi turbulen benar)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046

ε/D = 0,0030 *(Geankoplis ; Page 88)*

f = 0,0051 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

gc = 32,17 ft.lbm/detik².lbf

Digunakan persamaan Bernoulli :

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\ \alpha\ gc} + \Sigma F$$

Perhitungan friksi berdasarkan **Peters, 4^{ed} Tabel 1 halaman 484**

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve open	7
Globe valve open	300

Panjang ekuivalen suction, **(Peters 4^{ed} , Tabel - 1)**

ID pipa = 0,05 ft

	Taksiran panjang pipa lurus						=	50	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,0500	=	4,80	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,0500	=	0,35	ft
1 Glove Valve	=	1	x	300	x	0,0500	=	15	ft
Panjang Total Pipa							=	55,15	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2 \times f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0{,}0051 \times 1{,}84^2 \times 55{,}15}{32{,}17 \times 0{,}05}$$

$$= \frac{1{,}91}{1{,}61}$$

$$= 1{,}18 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

k = 0,5 ; A tangki >>> A pipa

α = 1 ; untuk aliran turbulen

[Peters 4^{ed} ; 484]

$$= \frac{0{,}5 \times 1{,}84^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}0263 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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)

$= \frac{1,84^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,17}$

$= 0,0526$ ft.lb_f / lb_m

4. Friksi karena elbow 90 °

$F_4 = \frac{K_{f} \times V_1^2}{2} = \frac{0,75 \times 1,84}{2} = 0,69$ ft lbf/lbm

5, Friksi karena gate valve

$F_5 = \frac{K_{f} \times V_1^2}{2} = \frac{0,17 \times 1,84}{2} = 0,16$ ft lbf/lbm

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$
$= 1,18 + 0,03 + 0,05 + 0,69 + 0,16$
$= 2,11$ ft lbf /lbm

Menghitung Energi Tekanan

Tinggi bahan, H = 4 ft
ρ bahan = 116,2 lb/cuft
P hidrostatis = ρ x H x g/gc
= 116,2 x 4
= 464,82 lb/ft²

P_2 = 1 atm = 2117 lbf/ft²
$\Delta P = P_2 - P_1$
= 2117 - 464,82
= 1651,98 lbf/ft²

$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1651,98 \text{ lbf/ft}^2}{116,2 \text{ lb/cuft}}$

$= 14,22 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$

Menghitung Eergi Potensial

Asumsi : Z_2 = tinggi solution tank + pipa
= 17,01 + 4
= 21,01 ft
Z_1 = 0 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

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

$= (21,01 - 0) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$

= 21,01 ft.lbf/lbm

Menghitung Energi Kinetik

g, percepatan gravitasi bumi = 32 ft/dt^2

gc, konstanta gravitasi bumi = 32,17 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{1{,}8404^2}{2 \times 1 \times 32{,}1740}$$

$$= 0{,}0526 \quad ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\ \alpha\ gc} + \Sigma F$$

$$= 14{,}2162 + 21{,}015 + 0{,}0526 + 2{,}110$$

$$= 37{,}3937 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 0,42 lb/dt

$$Hp = \frac{-Wf \times \text{rate massa}}{550}$$ *(Perry 6 ed ; Pers 6-11, Page 6-5)*

$$= \frac{37{,}39 \times 0{,}42}{550}$$

$$= 0{,}03 \ Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37)*

$$Bhp = \frac{Hp}{\eta \text{ pompa}}$$

$$= \frac{0{,}0285}{40\%}$$

$$= 0{,}0713 \ Hp$$

Effisiensi motor = 80% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 38)*

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}}$$

$$= \frac{0{,}071}{80\%}$$

$$= 0{,}09 \ Hp$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Memindahkan liquid dari centrifuge ke Solution Tank
Type	:	Centrifugal pump
Dasar pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid

Kapasitas	:	1.510,96	lb/jam
Kecepatan aliran (v)	:	1,84	ft/detik
BHp	:	0,071	Hp
Power Motor	:	0,089	Hp
Rate volumetrik	:	1,62	gpm
Total Dynamic Head	:	37,39	ft.lbf/lbm
Effisiensi Pompa	:	40%	
Effisiensi Motor	:	80%	
Bahan Konstruksi	:	Commercial Steel	
Jumlah	:	1 Buah	

29. BLOWER - 2

Fungsi : Mengalirkan udara menuju rotary cooler
Type : Centrifugal blower
Dasar pemilihan : Sesuai dengan jenis bahan, effisiensi tinggi

Perhitungan :

Massa udara = 82.738 kg/jam = 182.405 lb/jam
= 3.040 lb/mnt

ρ udara = 0,0739 lb/cuft

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Massa udara}}{\rho\ \text{udara}} = \frac{3.040\ \text{lb/mnt}}{0{,}0739\ \text{lb/cuft}}$$
= 41.138 cuft/mnt

Asumsi aliran turbulen :
Dipilih pipa 12in sch 30 *(Kern, T.11)*
OD = 12,75 in
ID = 12,09 in
A = 115 in^2

Perhitungan power

Disscharge pressure = 3,5 lb/in^2
Hp = 0,000157 x Q x P
= 0,000157 x 41137,732 x 3,5
= 22,850

dengan asumsi effisiensi motor = 80% , maka :

$$Hp = \frac{22{,}850}{0{,}800} = 28{,}56\ Hp$$

Spesifikasi :

Fungsi : Mengalirkan udara menuju rotary cooler
Type : Centrifugal

Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	41.138 Cuft/mnt
Effisiensi Motor	:	80%
Power	:	28,56 Hp
Jumlah	:	1 buah

30. BUCKET ELEVATOR - 3

Fungsi	:	Memindahkan bahan dari conveyor ke ball mill
Tipe	:	Continous Discharge Bucket Elevator
Dasar Pemilihan	:	Untuk memindahkan bahan dengan ketinggian tertentu

Perhitungan :

Rate massa = 56817,90 kg/jam = 56,82 ton/jam

Berdasarkan kapsitas 56,82 ton/jam dari Perry 7ed, tabel 21-8

dipilih bucket elevator dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Tinggi bucket = Tinggi (mill + silo + dari dasar)
  = 10 + 59,4 + 5
  = 74,4 ft
- Bucket speed = 225 ft/min
- Kapasitas maksimum = 68 ton/jam
- Putaran head shaft (kepala poros) = 41 rpm

Perhitungan power *(Perry 7ed , Tabel 21-8)*

Power pada haed shaft = 4,7 hp

Power tambahan = 0,10 hp/ft
= 0,10 hp/ft x 74,40 ft
= 7,44 hp

Power total = 4,7 + 7,44 = 12,14 hp

Efisiensi motor = 80%

Power total $= \frac{12,14}{80\%}$

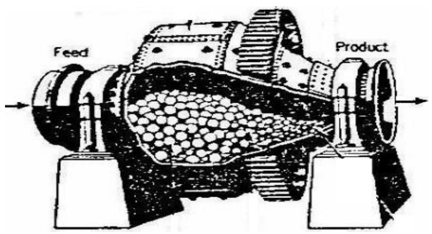
= 15,17 hp

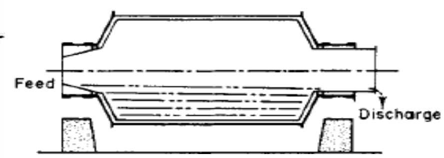
Spesifikasi :

Fungsi	:	Memindahkan bahan dari conveyor ke ball mill
Type	:	Continuous discharge bucket elevator
Kapasitas maksimum	:	68 ton / jam
Tinggi bucket	:	74,4 ft
Ukuran bucket	:	8" x 5" 5,5"
Bucket spacing	:	14 in
Putaran head shaft	:	41 rpm
Lebar belt	:	9 in
Power	:	15,17 hp
Jumlah	:	1 buah

31. BALL MILL

Fungsi : Menghaluskan kristal hinggan 100 mesh
Type : Mercy Ball Mill
Dasar pemilihan : Sesuai dengan jenis bahan dan kapasitas





Perhitungan :

Rate bahan = 56.818 kg/jam = 1.364 ton/hari

Untuk produk berukuran 100 mesh dengan kapasitas 1.364 ton/hari
Dari Perry 7^{ed} , tabel 20-16 diperoleh :

Jenis ball mill = Marcy Ball Mills
Power = 700 Hp
No. Sieve = 100
Rate maksimum = 1700 ton/hari
Berat bola baja = 56,5 ton
Ball mill speed = 18 rpm
Ukuran Ball Mill = 10 x 10 ft

Untuk Marcy ball mill, maka digunakan 3 ukuran baja :
5 ; 3,5 ; 2,5 in *(Brown, F.37)*
Asumsi berat bola baja didistribusikan sama rata menjadi 3 bagian jadi,
berat bola baja masing-masing ukuran : $\frac{56,5}{3}$ = 18,83 ton

<u>Perhitungan jumlah bola baja :</u>

a. Bola baja 5 in

Diameter bola baja-1 = 5 in = 12,7 cm = 0,127 m
Jari-jari, r = 0,5 Diameter
= 0,064 m
Volume bola baja = $\frac{4}{3}$ x π x r^3
= 0,001 m^3
= 1,072 L
ρ bola baja = 4,8 kg/cm^3 *(Perry 7ed : 20-33)*
Berat 1 bola baja = 4,8 x 1
= 5,15 kg
= 0,005 ton

Berat total untuk bola baja-1	= 18,83 ton
Jumlah bola baja-1	= $\frac{18,83}{0,005}$
	= 3660 buah

b. Bola baja 3,5 in

Diameter bola baja-1	= 3,5 in = 8,9 cm = 0,089 m
Jari-jari, r	= 0,5 Diameter
	= 0,044 m
Volume bola baja	= $\frac{4}{3}$ x π x r^3
	= 0,0004 m^3
	= 0,368 L
ρ bola baja	= 4,8 kg/cm^3 *(Perry 7ed : 20-33)*
Berat 1 bola baja	= 4,8 x 0,368
	= 1,76493 kg
	= 0,001765 ton
Berat total untuk bola baja-1	= 18,83 ton
Jumlah bola baja-1	= $\frac{18,83}{0,002}$
	= 10671 buah

c. Bola baja 2,5 in

Diameter bola baja-1	= 2,5 in = 6,4 cm = 0,064 m
Jari-jari, r	= 0,5 Diameter
	= 0,032 m
Volume bola baja	= $\frac{4}{3}$ x π x r^3
	= 0,0001 m^3
	= 0,134 L
ρ bola baja	= 4,8 kg/cm^3 *(Perry 7ed : 20-33)*
Berat 1 bola baja	= 4,8 x 0,134
	= 0,643196 kg
	= 0,000643 ton
Berat total untuk bola baja-1	= 18,83 ton
Jumlah bola baja-1	= $\frac{18,83}{0,000643}$
	= 29281 buah

Spesifikasi :

Fungsi : Menghaluskan kristal hinggan 100 mesh
Type : Mercy Ball Mill

No. Sieve	: 100		
Kapasitas max.	: 1700 ton		
Ukuran ball mill	: 10 x 10 ft		
Mill speed	: 18 rpm		
Power	: 700 Hp		
Bola baja	: Ball charge	:	56,5 ton
	Ukuran bola baja	:	5 ; 3,5 ; 2,5 in
	Jumlah bola baja	:	5 in = 3660 buah
			3,5 in = 10671 buah
			2,5 in = 29281 buah
Jumlah	: 1 buah		

32. SCREW CONVEYOR - 3

Fungsi : Memindahkan bahan dari Centrifuge ke bucket elevator
Type : Plain spouts or chutes
Dasar pemilihan : Umum digunakan untuk padatan dengan sistem tertutup

Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	**Fraksi Berat**	**Berat (kg)**	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na2SO4	0,01%	7,05	2,70
NaCl	0,08%	47,59	2,16
H2O	0,13%	75,32	1
Na2SO4.10H2O	99,77%	56.687,95	1,46
Total	100%	56.817,90	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}0001}{2{,}70} + \frac{0{,}0008}{2{,}16} + \frac{0{,}0013}{1} + \frac{0{,}9977}{1{,}46}} \times 62{,}43$$

= 1,46 gr/cc x 62,43 lb/cuft
= 91,37 lb/cuft

Rate massa = 56.817,90 kg / jam = 125.261 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{Rate Massa}}{\rho\ \text{campuran}} = \frac{125.261\ \text{lb/jam}}{91{,}37}$$

= 1370,90 cuft/jam
= 22,85 cuft/mnt

Bahan termasuk kelas D dengan F : 3 *(Badger, T. 16-6)*

$$\text{Power motor} = \frac{C.L.W.F}{33000}$$ *(Badger, T. 16-5)*

Dimana, C = Kapasitas, cuft/mnt
L = Panjang, ft
W = Densitas bahan lb/cuft
F = Faktor bahan

Asumsi panjang screw : L = 20 ft

$$\text{Power motor} = \frac{22{,}85 \times 20 \times 91{,}37 \times 3}{33000}$$
= 3,80 hp

Untuk power > 2 hp, maka dikalikan 1,5 *(Badger ; 713)*
3,80 x 1,5 = 5,69 hp

Efisiensi motor = 80%

$$\text{Power motor} = \frac{3{,}80}{80\%}$$
= 4,74 hp

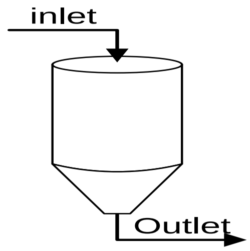
Dari Badger, fig 16-20 untuk kapasitas 1370,90 cuft/jam digunakan :
Diameter = 6 in
Kecepatan putaran = 21 rpm

Spesifikasi :

Fungsi	: Memindahkan bahan dari Centrifuge ke bucket elevator
Type	: Plain spouts or chutes
Kapasitas	: 1370,90 cuft/jam
Panjang	: 20 ft
Diameter	: 6 in
Kecepatan putaran	: 21 rpm
Power	: 4,74 hp
Jumlah	: 1 buah

33. SILO $Na_2SO_4.10H_2O$

Fungsi	: Menampung produk dari Ball Mill
Type	: Silinder tegak dengan tutup atas plat dan bawah conis
Dasar Pemlihan	: Umum digunakan menampung padatan



Kondisi Operasi :
a. Tekanan : 1 atm
b. Suhu : 30 °C
c. Waktu tinggal : 24 jam

Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
Na2SO4	0,012%	7,05	2,70
NaCl	0,084%	47,59	2,16
H2O	0,13%	75,32	1
Na2SO4.10H2O	99,77%	56.687,95	1,46
Total	100%	56.818	

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

$$= \frac{1}{\frac{0,0001}{2,698} + \frac{0,0008}{2,163} + \frac{0,0013}{1,000} + \frac{0,9977}{1}} \text{ x } 62,43$$

= 1,46 gr/cc x 62,43 lb/cuft

= 91,37 lb/cuft

Rate massa = 56.818 kg / jam = 125.261 lb/jam

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

$$= \frac{125.261}{91,37}$$

= 1370,90 cuft/jam

= 22,85 cuft/mnt

<u>Menentukan kapasitas tangki</u>

Direncanakan memakai 1 buah tangki untuk 1 hari penyimpanan jadi,

Volume bahan = 1370,90 cuft/jam x 24 jam

= 32.901,6 cuft

= 921,2 m³

Asumsi volume bahan mengisi 80% volume tangki

Volume tangki $= \dfrac{32901,6}{80\%}$ = 41.127 cuft = 1.152 m^3

Menentukan dimensi tangki

Asumsi dimensi ratio : H/D = 2 *(Ulrich T.4 - 27)*

Volume Tangki = ¼ π D^2 H

41.127 = 0,79 x D^2 x 2 D

D^3 = 26195,52 H = 2 D

Dt =	29,70	ft	=	59,40	ft
=	356,39	in	=	712,78	in
=	9,05	m	=	18,10	m

Menentukan tekanan desaign dalam tangki

P operasi = 1 atm = 14,7 psi

Tekanan over design yang digunakan 5-10% dari kerja normal

dipilih 10% dari tekanan operasi hopper untuk faktor keamanan

(Rules of thumb. Walas,1998)

P design = P operasi x 1,1

= 14,7 x 1,1

= 16,17 psi

Menentukan tebal minimum shell

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank :

$t_{min} = \dfrac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$ *(Brownell,pers. 13-1,hal 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum, in

P = tekanan tangki, psi

ri = jari-jari tangki, in (1/2 D)

C = faktor korosi, in (digunakan 1/8 in)

E = faktor pengelasan digunakan double welded E = 0,8

f = allowable stress, digunakan carbon steel SA-283 grade C

f = 12650 psi *[Brownell T.13-1]*

ri = 1/2 x 29,699

= 14,850 ft = 178,194 in

Asumsi tebal shell = 9/16 in

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

$$9/16 = \frac{16,170 \times 178,194}{f \times 0,8 - 0,6 \times 16,170} + 1/8$$

$$7/16 = \frac{2881,401}{f \times 0,8 - 9,702}$$

f = 8.245 psi

f hitung < f allowable , jadi tebal shell 9/16 in dapat digunakan

Tutup bawah berupa conical *(Brownell eq. 6-154 ; 118)*

Jenis : Conical

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

Tebal tutup : Asumsi th : 9/16 in

$$th = \frac{P\ design\ .\ D}{2 \cos \alpha\ (f.e - 0{,}6\ P)} + C$$

$$9/16 = \frac{16{,}170 \quad x \quad 356{,}388}{2 \cos 30 \ (\quad f \quad 0{,}7 \ - \ 9{,}702 \quad)} + 1/8$$

$$7/16 = \frac{5762{,}801}{1{,}212 \quad f \ - \ 16{,}804}$$

$$= 10.878$$

f hitung < f allowable , jadi tebal shell 9/16 in dapat digunakan

Tinggi conical

$$h = \frac{tg\ \alpha\ x\ (D - m)}{2}$$ *(Hesse , pers 4-17)*

Dengan : α : sudut conis, 30 °

D : diameter tangki ; ft

m : flat spot diameter = 12 in = 1 ft

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

$$= \frac{tg \ (\ 30 \ ) \ x \ (\ 29{,}699 \ - \ 1 \ )}{2}$$

$$= \frac{0{,}577 \quad x \quad 28{,}699}{2}$$

$$= 8{,}285 \ ft = 2{,}525 \ m$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Menampung produk dari Ball Mill
Type	:	Silinder tegak dengan tutup atas plat dan bawah conis
Kapasitas	:	41126,97 cuft
Diameter tangki	:	29,70 ft
Tinggi tangki	:	59,40 ft
Tebal shell	:	9/16 in
tebal tutup atas	:	9/16 in
Tebal tutup bawah	:	9/16 in
Tinggi tutup bawah	:	8,28 in
Bahan konstruksi	:	Carbon Steel SA-283 grade C
Jumlah	:	1 buah

34. COKE TOWER

Fungsi : Mengkondensasi uap asam sulfat dengan media coke
Tipe : Silinder tegak dengan tutup bawah dan atas torispherical dished dilengkapi dengan packing coke
Dasar Pemilihan : Umum digunakan untuk proses penyerapan

Perhitungan :

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
HCl	0,6255	13.056,65	1,27
SO_3	0,0586	1.223,97	2,75
H_2O	0,3158	6.592,77	1
Total	1	20.873,39	

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

$$= \frac{1}{\frac{0,626}{1,270} + \frac{0,059}{2,750} + \frac{0,316}{1}} \times 62,43$$

= 1,21 gr/cc x 62,43 lb/cuft
= 75,24 lb/cuft

Rate massa = 20.873 kg/jam = 46.017 lb/jam = 12,78 lb/dtk

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

$= \frac{46.017}{75,24}$

= 612 cuft/jam
= 0,1699 cuft/dtk

Direncanakan waktu kontak untuk 20 menit = 0,33 jam proses maka :
Volume bahan = 0,33 x 612
= 203,86 cuft

Direncanakan volume bahan mengisi 80% volume tangki, dan 1 tangki

Volume Tangki $= \frac{203,86}{80\% \times 1}$

= 254,82 cuft = 7,135 m^3

Menentukan Dimensi Tangki

Asumsi Dimention ratio = H/D = 5 *(Ulrich. T.4-18)*

Volume tangki = 1/4 π D^2 H

254,824 = 1/4 x 3,14 x D^2 x 5 D

64,923 = D^3

D =	4,019	ft	H = 5 D =	20,096	ft
=	48,230	in	=	241,149	in
=	1,225	m	=	6,125	m

Penentuan tebal shell :

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$ *(Brownell, pers, 13-1 ; 254)*

dimana,
- t_{min} = tebal shell minimum , in
- P = tekanan tangki , psi
- ri = jari-jari tangki , in (1/2D)
- C = faktor korosi 1/8
- E = faktor pengelasan E = 0,8
- f = stress allowable , psi f = 12650 psi
  Carbon Steel SA - 283 grade C

(Brownell, T-13.1 ; 251)

P operasi = 1 atm
= 14,7 psi

Pdesign 10% lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 14,70 x 110%
= 16,17 psi

ri = 0,5 D
= 0,5 x 48,23
= 24,11 in

Asumsi tebal shell = 8/16 in

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$

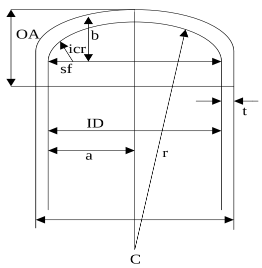
$$8/16 = \frac{16,17 \quad x \quad 24,11}{f \quad 0,8 \ - \ 0,6 \quad 16,17} + 1/8$$

$$6/16 = \frac{389,94}{f \quad 0,8 \ - \quad 9,70}$$

f = 1311,9 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 8/16 in dapat digunakan

Dimensi tutup atas dan bawah :



Tebal tutup atas (Torispherical dished) :

$$t_h = \frac{0{,}885 \times P \times rc}{f.e - 0{,}1\,P} + C$$ *(Brownell , pers.13-12)*

dengan:

t_h = tebal tutup (head) shell minimum ; in

r_c = *crown radius* ; in

P = tekanan tangki ; psia

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

C = faktor korosi (digunakan 1/8 in)

f = allowable stress, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C, maka f = 12650 psi [Brownell, T.13-1]

OD = D + 2 ts

= 48,230 + 0,75

= 48,980 in

Diambil OD standart = 40 in

rc = 40 in

Asumsi tebal head = 6/16 in

$$t_h = \frac{0{,}885 \times P \times rc}{f.e - 0{,}1\,P} + C$$

$$6/16 = \frac{0{,}885 \times 16{,}170 \times 40}{f \times 0{,}8 - 0{,}1 \times 16{,}170} + 1/8$$

$$2/8 = \frac{572{,}418}{f \times 0{,}8 - 1{,}617}$$

f = 2860,069 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 6/16 in dapat digunakan

$$h = rc - \sqrt{rc^2 - \frac{D^2}{4}}$$ *(Hesse, hal 92)*

= 40 - 31,914

= 8,086 in = 0,674 ft

Packing :
Coke
Packing disusun secara acak (randomize)

Tinggi packing	=	80% dari tinggi shell
	=	80% x 20,096
	=	16,077 ft
Diameter shell	=	4,019 ft
Volume packing	=	$1/4\ \pi\ D^2\ H$
	=	203,86 cuft
ρ coke	=	2,1 gr/cc
	=	132 lb/cuft
Effisiensi penyerapan	=	40%
Kebutuhan coke	=	40% x 203,86 x 132
	=	10763,75 lb
	=	4882,41 kg/tahun

Perhitungan Jaket

Q serap = - 246.217 Kkal/jam
= - 976.416 Btu/jam

Suhu bahan masuk	=	843 °C	=	1549	°F
Suhu bahan keluar	=	150 °C	=	302	°F
Air pendingin masuk	=	30 °C	=	86	°F
Air pendingin keluar	=	45 °C	=	113	°F

air pendingin	=	328.290 kg/jam
	=	722.237 lb/jam
ρ air pendingin	=	62,43 lb/cuft

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{\text{air pendingin}}{\rho\ \text{pendingin}}$$

$$= \frac{722.237}{62,43}$$

= 11.569 cuft/jam
= 3,21 cuft/dtk

Asumsi kecepatan aliran = 3 ft/dtk *(Kern. T.12 :845)*

$$\text{Luas penampang} = \frac{3,21}{3}$$

= 1,07 ft²

$$\text{Luas penampang} = \frac{\pi}{4} \times (\text{Dij})^2 - (\text{Do})^2$$

dimana, Dij = Diameter dalam jaket ; ft
Do = Diameter luar bejana ; 4,10 ft

Luas penampang $= \frac{\pi}{4} \times (\text{Dij})^2 - (\text{Do})^2$

$1{,}07 = \frac{3{,}14}{4} \times (\text{Dij})^2 - (4{,}1)^2$

$14{,}28 = 0{,}79\ \text{Dij}^2$

$\text{Dij} = 4{,}266\ \text{ft} = 51{,}19\ \text{in}$

Jaket spacing $= \frac{\text{Dij} - \text{Do}}{2}$

$= \frac{4{,}27 - 4{,}10}{2}$

$= 0{,}08\ \text{ft}$

Penentuan Tebal Jaket :

$t = \frac{P \times Dij}{2 fE - P} + C$ *(Brownell, pers, 13-1 ; 254)*

dimana,
- t = Tebal dinding minimum , in
- Pd = Tekanan design , psi
- Dij = Diameter dalam jaket , in
- C = faktor korosi 1/8
- E = faktor pengelasan E = 0,8
- f = stress allowable , psi f = 12650 psi
  Carbon Steel SA - 283 grade C

Asumsi tebal shell = 3/16 in

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

$3/16 = \frac{16{,}17 \times 51{,}19}{2\ f\ 0{,}8 - 16{,}17} + 1/8$

$1/16 = \frac{827{,}69}{f\ 1{,}6 - 16{,}17}$

$f = 8287{,}0\ \text{psi}$

f hitung < f allowable, jadi tebal sh 3/16 in dapat digunakan

Perhitungan Tinggi Jaket :

Tinggi Jacket = tinggi shell + tinggi tutup bawah
= 20,10 ft + 0,67 ft
= 20,77 ft

Spesifikasi :

Fungsi : Mengkondensasi uap asam sulfat dengan media coke

Tipe : Silinder tegak dengan tutup bawah dan atas torispherical dished dengan packing coke

Dimensi Shell (Tangki) :

Diameter shell, inside	:	4,02	ft
Tinggi shell	:	20,10	ft
Tebal shell	:	8/16	in

Dimensi Tutup :

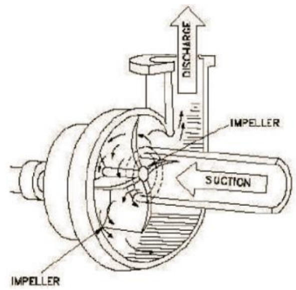
Tebal tutup atas	:	6/16	in
Tinggi tutup atas	:	0,67	ft
Tebal tutup bawah	:	6/16	in
Tinggi tutup bawah	:	0,67	ft
Bahan konstruksi	:	Carbon stell SA - 283 Grade C	

Sistem Pendingin :

Diameter jaket	:	4,27	ft
Tinggi jaket	:	20,77	ft
Jaket spacing	:	0,08	ft
Tebal jaket	:	3/16	in
Jumlah	:	1	buah

35. POMPA - 7

: Mengalirkan H_2SO_4 ke tangki penampung H_2SO_4
: Centrifugal Pump
: Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid



Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (lb/cuft) *(Perry8ed, T.2-1)*
H_2SO_4	1	1499,4	114,50

Rate massa = 1499,4 kg / jam = 3305,50 lb/jam = 0,918

Rate Volumetrik = $\frac{\text{Rate Massa}}{\rho \text{ bahan}}$

= $\frac{1499,4}{114,50}$

= 13,10 cuft/jam

= 97,95 gpm

= 0,004 cuft/dt

Asumsi : aliran turbulen

Diameter optimum = $3.9 \times q_f^{0.45} \times \rho^{0.13}$

Dengan : *[Peters, 4 ed , pers.15 : 496]*

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $3,9 \times 0,00^{0,45} \times 114,50^{0,13}$

= 0,58 in

Dipilih pipa 3 in, sch 80 *(Kern Tabel 11)*

OD = 3,50 in

ID = 2,9 in = 0,24 ft = 0,074 m

$A = 1/4 \times \pi \times ID^2$
$= 1/4 \times 3,14 \times 0,24^2$
$= 0,046 \ ft^2$

Kecepatan aliran, v $= \dfrac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Area pipa}}$
$= \dfrac{0,004 \ \text{cuft/detik}}{0,046 \ ft^2}$
$= 0,08 \ \text{ft/ detik}$

ρ reference = 62,43 lb/cuft
Sg reference = 0,996 lbf/lbm
μ reference = 0,00085

$\text{Sg bahan} = \dfrac{\rho \ \text{bahan}}{\rho \ \text{reference}} \times \text{Sg reference}$
$= \dfrac{114,50}{62,43} \times 0,996$
$= 1,8267$

Berdasarkan Sg bahan
$\mu \ \text{bahan} = \dfrac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference}} \times \mu \ \text{reference}$
$= \dfrac{1,8267}{0,996} \times 0,00085$
$= 0,00156 \ \text{lb/ft.detik}$

$NRe = \dfrac{ID \ v \ \rho}{\mu}$
$= \dfrac{0,24 \ ft \times 0,08 \ \text{ft/detik} \times 7148,02 \ \text{lb/ cuft}}{0,00156 \ \text{lb/ ft.detik}}$
$= 87.921,2 > 2100$ (Asumsi turbulen benar)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046
ε/D = 0,0006
f = 0,0090 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**
gc = 32,17 $ft.lbm/detik^2.lbf$

Digunakan persamaan Bernoulli :
$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F$$

Perhitungan friksi berdasarkan **Peters, 4ed Tabel 1 halaman 484**

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve open	7
Globe valve open	300

Panjang ekuivalen suction, **(Peters 4ed , Tabel - 1)**
ID pipa = 0,24 ft

	Taksiran panjang pipa lurus						=	50	ft
4 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,24	=	23,20	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,24	=	1,69	ft
1 Glove Valve	=	1	x	300	x	0,24	=	72,50	ft
Panjang Total Pipa							=	74,89	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2 \times f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0{,}0090 \times 0{,}08^2 \times 74{,}89}{32{,}17 \times 0{,}24}$$

$$= \frac{0{,}01}{7{,}78}$$

$$= 0{,}001 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

k = 0,5 ; A tangki >>> A pipa
α = 1 ; untuk aliran turbulen
[Peters 4ed ; 484]

$$= \frac{0{,}5 \times 0{,}08^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}0000 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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)

$$= \frac{0{,}08^2 - 0}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}0001 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena elbow 90 ˚

$$F_4 = \frac{K_{f \times V_1^2}}{2} = \frac{0{,}75 \times 0{,}08}{2} = 0{,}03 \quad ft\ lbf/lbm$$

5, Friksi karena gate valve

$$F_5 = \frac{K_{f} \times V_i^2}{2} = \frac{0{,}17 \quad x \quad 0{,}08}{2} = \quad 0{,}01 \quad \text{ft lbf/lbm}$$

$$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$$
$$= 0{,}0011 + 0{,}0000 + 0{,}0001 + 0{,}03 + 0{,}01$$
$$= 0{,}04 \quad \text{ft lbf /lbm}$$

Menghitung Energi Tekanan

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 25 ft

ρ bahan = 114,50 lb/cuft

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 114,50 x 25

= 2.874,09 lbf/ft^2

P_2 = 1 atm = 2117 lbf/ft^2

$\Delta P = P_2 - P_1$

= 2117 - 2874,09

= 757 lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{757 \text{ lbf/ft}^2}{114{,}50 \text{ lb/cuft}} = 6{,}61 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Menghitung Eergi Potensial

Asumsi : Z_2 = tinggi tangki penampung + pipa

= 18,37 + 5

= 23,37 ft

Z_1 = 0 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times \frac{g}{gc}$$
$$= (23{,}37 - 0) \times 1 \frac{\text{ft/dt}^2}{\text{ft.lbm/dt}^2\text{.lbf}}$$
$$= 23{,}37 \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Menghitung Energi Kinetik

g, percepatan gravitasi bumi = 32 ft/dt^2

gc, konstanta gravitasi bumi = 32,17 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{0{,}0793^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$= 0{,}0001$ $ft.lb_f / lb_m$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\,\alpha\, gc} + \Sigma F$$

$= 6{,}61 + 23{,}37 + 0{,}0001 + 0{,}038$

$= 30{,}02 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$

Rate massa = 0,918 lb/dt

$$Hp = \frac{-Wf \times \text{rate massa}}{550}$$

$$= \frac{30{,}02 \times 0{,}918}{550}$$

= 0,05 Hp

Effisiensi Pompa = 40% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37)*

$$Bhp = \frac{Hp}{\eta \text{ pompa}}$$

$$= \frac{0{,}0501}{40\%}$$

= 0,13 Hp

Effisiensi motor = 80% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 38)*

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}}$$

$$= \frac{0{,}1253}{80\%}$$

= 0,16 Hp

Spesifikasi :

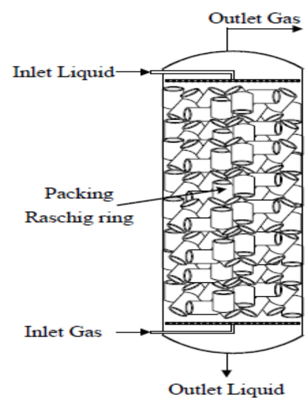
Fungsi	:	Mengalirkan H_2SO_4 ke tangki penampung H_2SO_4	
Type	:	Centrifugal pump	
Dasar pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid	
Kapasitas	:	3.305,50	lb/jam
Kecepatan aliran (v)	:	0,0793	ft/detik
BHp	:	0,13	Hp
Power Motor	:	0,16	Hp
Rate volumetrik	:	97,95	gpm
Total Dynamic Head	:	30,02	ft.lbf/lbm
	:	40%	
	:	80%	
Jumlah	:	1 Buah	

36. ABSORBER

Fungsi : Menyerap gas HCl dengan air proses dari utilitas

Type : Silinder tegak dengan tutup bawah dan atas torispherical dished dilengkapi dengan packing

Dasar Pemilihan : Umum digunakan untuk proses penyerapan



Perhitungan :

Liquid yang berada pada kolom, L :

Feed liquid masuk dari atas, L_2 :

Komponen	Berat (kg)	BM	Kmol	Fraksi mol
H_2O	21.428	18	1190,44	1

Produk bawah liquid, L_1 :

Komponen	Berat (kg)	BM	Kmol	Fraksi mol
HCl	12.404	36,5	339,83	0,19
H_2O	26.358	18	1464,34	0,81
Total	38.762		1804,17	1

Gas yang berada pada kolom, G :

Feed masuk, G_1 :

Komponen	Berat (kg)	BM	Kmol	Fraksi mol
HCl	13.057	36,5	357,72	0,50
H_2O	6.317	18	350,97	0,50
Total	19.374		708,68	1

Produk atas, G_2 :

Komponen	Berat (kg)	BM	Kmol	Fraksi mol
HCl	653	36,5	17,89	0,19
H_2O	1.387	18	77,06	0,81
Total	2.040		94,94	1

Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
HCl	0,674	13.057	1,27
H_2O	0,326	6.317	1
Total	1	19.374	2,325

$$\rho \text{ gas} = \frac{1}{\sum \frac{\text{fraksi berat}}{\rho \text{ komponen}}} \times 62{,}43$$

$$= \frac{1}{\frac{0{,}674}{1{,}27} + \frac{0{,}326}{1}} \text{ x } 62{,}43$$

= 1,1661 gr/cc x 62,43 lb/cuft

= 72,80 lb/cuft

Rate massa = 19.374 kg / jam = 42.712 lb/jam

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

$$= \frac{19.374}{72{,}80}$$

= 266,13 cuft/jam = 33,19 gpm

= 0,0739 cuft/dt

1. Perhitungan Dimensi Tower

Laju Alir aliran, Fl = 21.428 lb/jam

Densitas cairan masuk, ρl = 62,43 lb/cuft

Rate volumetrik gas, Vl = 19.374 cuft/jam = 5,382 cuft/detik

Viskositas cairan, µl = 0,8 cps = 0,0005 lb/ft s

Total rate volumetrik = 19.640 cuft/jam

Direncanakan waktu tinggal = 180 detik (<300 s) ***(Ulrich: T.4-25)***

dengan 1 tangki sehingga volume tangki = 982,01 cuft

Asumsi dimensi ratio H/D = 2 ***(Ulrich: T.4-27)***

Karena tutup atas dan bawah merupakan torispherical dished maka,

Volume Tangki = $V_{Silinder}$ + V_{Head} + V_{Bottom}

V_{Head} = 0,000049 D^3

V_{Bottom} = 0,000049 D^3

Volume tangki = $\frac{\pi}{4}$ x D^2 x H + 0,000049 D^3 + 0,000049 D^3

982,01 = $\frac{3,1}{4}$ x D^2 x H + 0,000049 D^3 + 0,000049 D^3

982,01 = 1,57 x D^3

D^3 = 625,44 ft

D = 8,55 ft
= 102,62 in
= 2,61 m

H = 17,10 ft
= 205,25 in
= 5,21 m

Packing:

Rasching ring packing disusun secara acak (randomize)

Spesifikasi standar ***(Van Winkle: 607)***

ukuran packing	=	1 in
tebal packing	=	1/8 in
bahan konstruksi	=	ceramic stoneware
tinggi packing	=	80% dari tinggi shell
tinggi packing	=	14 ft = 4,17 m
Volume packing	=	$1/4\pi D^2 H$ = 982 cuft
Jumlah packing tiap cuft	=	1350 buah ***(Van Winkle ; T.15.1)***
Jumlah packing total	=	1.325.627 buah packing

<u>Penentuan tebal shell :</u>

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$ *(Brownell, pers, 13-1 ; 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum , in
P = tekanan tangki , psi
ri = jari-jari tangki , in (1/2D)
C = faktor korosi 1/8
E = faktor pengelasan E = 0,8
f = stress allowable , psi f = 12650 psi
Carbon Steel SA - 283 grade C

P operasi = 14,7 psi

Pdesign 10% lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 14,70 x 110%
= 16,17 psi

ri = 0,5 D = 0,5 x 102,62 = 51,31 in

Asumsi tebal shell = 4/16 in

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$

$$4/16 = \frac{16,17 \quad x \quad 51,31}{f \quad 0,8 \; - \; 0,6 \quad 16,1700} + 1/8$$

$$2/16 = \frac{829,71}{f \quad 0,8 \; - \; 9,7020}$$

f = 8.309 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 4/16 in dapat digunakan

Tebal tutup atas dan bawah (Torispherical dished) :

$$t_h = \frac{0,885 \times P \times rc}{f.e - 0,1\,P} + C$$ *(Brownell , pers.13-12)*

dengan:

t_h = tebal tutup (head) shell minimum ; in

r_c = *crown radius* ; in

P = tekanan tangki ; psia

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

C = faktor korosi (digunakan 1/8 in)

f = allowable stress, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C, maka f = 12650 psi [Brownell, T.13-1]

OD = D + 2 ts
= 102,62 + 0,63
= 103,25 in

Diambil OD standart = 90 in

rc = 90 in

Asumsi tebal head = 5/16 in

$$t_h = \frac{0,885 \times P \times rc}{f.e - 0,1\,P} + C$$

$$5/16 = \frac{0,89 \quad x \quad 16,17 \quad x \quad 90}{f \quad x \quad 0,8 \; - \; 0,1 \quad x \quad 16,17} + 1/8$$

$$2/8 = \frac{1287,94}{f \quad x \quad 0,8 \; - \; 1,617}$$

f = 8.584 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 5/16 in dapat digunakan

$$h = rc - \sqrt{rc^2 - \frac{D^2}{4}}$$ *(Hesse, hal 92)*

= 90 - 73,940
= 16,060 in = 1,338 ft

Perhitungan Jaket

Suhu bahan masuk = 150 °C = 302 °F
Suhu bahan keluar = 32 °C = 89,6 °F
Air pendingin masuk = 30 °C = 86 °F
Air pendingin keluar = 45 °C = 113 °F
Air pendingin = 53.637 kg/jam = 118.249 lb/jam

ρ air pendingin = 62,43 lb/cuft

Rate Volumetrik $= \frac{\text{air pendingin}}{\rho \text{ pendingin}}$

$= \frac{118.249}{62,43}$

= 1.894 cuft/jam = 0,53 cuft/dtk

Asumsi kecepatan aliran = 0,001 ft/dtk *(Kern. T.12 :845)*

Luas penampang $= \frac{0,53}{0,001}$

= 526,1 ft²

Luas penampang $= \frac{\pi}{4} \times (\text{Dij})^2 - (\text{Do})^2$

dimana, Dij = Diameter dalam jaket ; ft
Do = Diameter luar bejana ; 8,6 ft

Luas penampang $= \frac{\pi}{4} \times (\text{Dij})^2 - (\text{Do})^2$

$526,14 = \frac{3,14}{4} \times (\text{Dij})^2 - (8,6)^2$

584,11 = 0,79 Dij²

Dij = 27,28 ft = 327,34 in

Jaket spacing $= \frac{\text{Dij} - \text{Do}}{2} = \frac{\#\#\# - 8,6}{2} =$ 9,34 ft

Penentuan Tebal Jaket :

$t = \frac{P \times Dij}{2 fE - P} + C$ *(Brownell, pers, 13-1 ; 254)*

dimana, t = Tebal dinding minimum , in
Pd = Tekanan design , psi
Dij = Diameter dalam jaket , in
C = faktor korosi 1/8
E = faktor pengelasan E = 0,8
f = stress allowable , psi f = 12650 psi
Carbon Steel SA - 283 grade C

Asumsi tebal shell = 4/16 in

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

$$4/16 = \frac{16{,}17 \quad x \quad 327{,}34}{2 \quad f \quad 0{,}8 \quad - \quad 16{,}17} + 1/8$$

$$2/16 = \frac{5293{,}03}{f \quad 1{,}6 \quad - \quad 16{,}17}$$

f = 26.475 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 4/16 in dapat digunakan

Perhitungan Tinggi Jaket :

Tinggi Jacket = tinggi shell + tinggi tutup bawah
= 17,10 ft + 1,34 ft
= 18,44 ft

Spesifikasi :

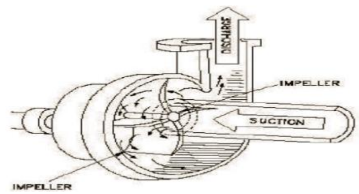
Fungsi	:	Menyerap gas HCl dengan air proses dari utilitas
Type	:	Silinder tegak dengan tutup bawah dan atas torispherical dished dilengkapi dengan packing

Dimensi absorber :

Diameter absorber	:	2,61	m	
Tinggi absorber	:	5,21	m	
Tebal absorber	:	4/16	in	
Dimensi Tutup :				
Tebal tutup atas	:	5/16	in	
Tinggi tutup atas	:	1,34	ft	
Tebal tutup bawah	:	5/16	in	
Tinggi tutup bawah	:	1,34	ft	
Bahan konstruksi	:	Carbon stell SA - 283 Grade C		
Packing :				
Jenis packing	:	Ceramic Raschig Ring		
Ukuran packing	:	25 mm = 1 in		
Tebal packing	:	3 mm		
Sistem Pendingin :				
Diameter Jaket	:	27,28	ft	8,18341151
Tinggi Jaket	:	18	ft	5,53263828
Jaket Spacing	:	9,34	ft	2,80267052
Tebal Shell	:	1/4	in	0,075
Jumlah	:	1 buah		

37. POMPA - 8

Fungsi : Mengalirkan HCl dari Abosber ke tangki penampung HCl
Type : Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan : Sesuai untuk viskositas < 10 cP dan bahan liquid



Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	Fraksi Berat	Berat (kg)	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
HCl	0,32	12403,82	1,27
H_2O	0,68	26358,10	1
Total	1	38761,92	

ρcampuran $= \dfrac{1}{\sum \dfrac{\text{fraksi berat}}{\rho\ \text{komponen}}} \times 62{,}43$

$= \dfrac{1}{\dfrac{0{,}32}{1{,}27} + \dfrac{0{,}68}{1}}$ x 62,43

= 1,07 gr/cc x 62,43 lb/cuft

= 66,99 lb/cuft

Rate massa = 38.761,92 kg/jam
= 85.276,22 lb/jam = 23,69 lb/detik

Rate Volumetrik $= \dfrac{\text{Rate Massa}}{\rho\ \text{campuran}}$

$= \dfrac{38761{,}92}{66{,}99}$

= 578,65 cuft/jam
= 72,14 gpm
= 0,16 cuft/dt

Asumsi : aliran turbulen

Di (diameter inside) optimum untuk aliran turbulen digunakan persamaan (15) peters :

Diameter optimum = $3.9 \times q_f^{0.45} \times \rho^{0.13}$

Dengan : *[Peters, 4 ed , pers.15 : 496]*

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $3{,}9 \times 0{,}16^{0{,}45} \times 66{,}99^{0{,}13}$

= 2,96 in

Dipilih pipa 3 in, sch 40 *(Kern Tabel 11)*

OD = 3,5 in

ID = 3,1 in = 0,26 ft = 0,079 m

A = $1/4 \times \pi \times ID^2$

= $1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}258^2$

= 0,052 ft^2

Kecepatan aliran, v = $\frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Area pipa}}$

= $\frac{0{,}161 \text{ cuft/detik}}{0{,}052 \text{ ft}^2}$

= 3,07 ft/ detik

ρ reference = 62,43 lb/cuft

Sg reference = 0,996 lbf/lbm

μ reference = 0,00085

Sg bahan = $\frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} \times$ Sg reference

= $\frac{66{,}99}{62{,}43} \times 0{,}996$

= 1,07

Berdasarkan Sg bahan

μ bahan = $\frac{\text{Sg bahan}}{\text{Sg reference}} \times \mu$ reference

= $\frac{1{,}07}{0{,}996} \times 0{,}00085$

= 0,00091 lb/ft.detik

NRe = $\frac{ID\ v\ \rho}{\mu}$

= $\frac{0{,}26 \times 3{,}07 \times 66{,}99}{0{,}00091}$

= 58.215,01 > 2100 (Asumsi turbulen benar)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046

ε/D = 0,0006

f = 0,0120 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

gc = 32,17 $ft.lbm/detik^2.lbf$

Digunakan persamaan Bernoulli :

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\,\alpha\, gc} + \Sigma F$$

Perhitungan friksi berdasarkan **Peters, 4^{ed} Tabel 1 halaman 484**

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve open	7
Globe valve open	300

Panjang ekuivalen suction, **(Peters 4^{ed} , Tabel - 1)**

ID pipa = 0,26 ft

	Taksiran panjang pipa lurus							=	50	ft
4 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,26		=	24,80	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,26		=	1,81	ft
1 Glove Valve	=	1	x	300	x	0,26		=	77,50	ft
Panjang Total Pipa								=	76,61	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2 \times f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$

$$= \frac{2 \times 0{,}0120 \times 3{,}07^2 \times 76{,}61}{32{,}17 \times 0{,}26}$$

$$= \frac{17{,}31}{8{,}31}$$

$$= 2{,}08 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

k = 0,5 ; A tangki >>> A pipa

α = 1 ; untuk aliran turbulen

[Peters 4^{ed} ; 484]

$$= \frac{0{,}5 \times 3{,}07^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}07 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3. Friksi karena enlargement (ekspansi) dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$

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

$= \dfrac{3{,}07^2 - 0}{2 \times 1 \times 32{,}17}$

$= 0{,}15$ ft.lb_f / lb_m

4. Friksi karena elbow 90 °

$F_4 = \dfrac{K_f \times V_1^2}{2} = \dfrac{0{,}75 \times 3{,}07}{2} = 1{,}15$ ft lbf/lbm

5, Friksi karena gate valve

$F_5 = \dfrac{K_f \times V_1^2}{2} = \dfrac{0{,}17 \times 3{,}07}{2} = 0{,}26$ ft lbf/lbm

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$
$= 2{,}08 + 0{,}07 + 0{,}15 + 1{,}15 + 0{,}26$
$= 3{,}71$ ft lbf /lbm

Menghitung Energi Tekanan

Tinggi bahan, H = 31,06 ft
ρ bahan = 66,99 lb/cuft
P hidrostatis = ρ x H x g/gc
= 67 x 31,06
= 2080,37 lb/ft^2
P_2 = 1 atm = 2117 lbf/ft^2
$\Delta P = P_2 - P_1 = 2116{,}8 - 2080{,}37 = 36{,}43$ lbf/ft^2

$\dfrac{\Delta P}{\rho} = \dfrac{36{,}43 \ lbf/ft^2}{66{,}99 \ lb/cuft}$

$= 0{,}54 \ \dfrac{ft.lbf}{lbm}$

Menghitung Eergi Potensial

Asumsi : Z_2 = tinggi tangki penampung + pipa
= 38,82 + 5
= 43,82 ft
Z_1 = 0 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

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

$= (43{,}82 - 0) \times 1 \ \dfrac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$

$= 43{,}82 \ \dfrac{ft.lbf}{lbm}$

Menghitung Energi Kinetik

g, percepatan gravitasi bumi = 32 ft/dt^2

gc, konstanta gravitasi bumi = 32,17 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3{,}07^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}15 \quad ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\,\alpha\, gc} + \Sigma F$$

$$= 0{,}54 + 43{,}82 + 0{,}15 + 3{,}71$$

$$= 48{,}22 \quad \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 23,69 lb/dt

$$Hp = \frac{-Wf \times \text{rate massa}}{550}$$ *(Perry 6 ed ; Pers 6-11, Page 6-5)*

$$= \frac{48{,}22 \times 23{,}69}{550}$$

$$= 2{,}08 \quad Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37)*

$$Bhp = \frac{Hp}{\eta \text{ pompa}}$$

$$= \frac{2{,}0769}{40\%}$$

$$= 5{,}19 \quad Hp$$

Effisiensi motor = 80% *(Peters 4 ed ; Figure 14 - 38)*

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}}$$

$$= \frac{5{,}1923}{80\%}$$

$$= 6{,}49 \quad Hp$$

Spesifikasi :

Fungsi	:	Mengalirkan HCl dari Abosber ke tangki penampung HCl
Type	:	Centrifugal pump
Dasar pemilihan	:	Sesuai untuk viskositas <10 cP dan bahan liquid
Kapasitas	:	85.276,22 lb/jam

Kecepatan aliran (v)	:	3,07	ft/detik
BHp	:	5,19	Hp
Power Motor	:	0,0	Hp
Rate volumetrik	:	72,14	gpm
Total Dynamic Head	:	48,22	ft.lbf/lbm
Effisiensi Pompa	:	40%	
Effisiensi Motor	:	80%	
Bahan Konstruksi	:	Commercial Steel	
Jumlah	:	1 Buah	

38. TANGKI PENAMPUNG HCl

Fungsi : Menampung produk samping HCl

Type : Silinder tegak, tutup bawah datar dan tutup atas Torispherical dished

Dasar pemilihan : Umum digunakan pada tekanan atmospheric.

Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	**Fraksi Berat**	**Berat (kg)**	ρ Bahan (gr/cc) *(Perry8ed, T.2-1)*
HCl	0,320	12.404	1,27
H_2O	0,680	26.358	1
Total	1	38.762	

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

$$= \frac{1}{\frac{0{,}32}{1{,}27} + \frac{0{,}68}{1{,}000}} \times 62{,}43$$

= 1,07 gr/cc x 62,43 lb/cuft

= 66,99 lb/cuft

Rate massa = 38.762 kg / jam

= 85.455 lb/jam

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

$$= \frac{85.455}{66{,}9872}$$

= 1.276 cuft/jam

Menentukan kapasitas tangki

Direncanakan penyimpanan untuk 3 hari proses 10 buah tangki

$$Volume = \frac{1275,684 \frac{cuft}{jam} \times \frac{24\ jam}{1\ hari} \times 3\ hari}{10} = 9.185\ cuft$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (faktor keamanan)

$$Volume\ Tangki = \frac{9184,92}{0,8}$$

$$= 11481,15\ cuft = 321,47\ m^3$$

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya

$$Dimensi\ ratio = \frac{H}{D} = 2$$ *(Ulrich ; T.4-27 : 248)*

Dengan mengabaikan volume dished head

Volume tangki = $\frac{1}{4} \pi D^2 H$

11481,15 = 0,79 x D^2 x 2 D

D^3 = 7312,84

Dt = 19,41 ft Ht = 2 Dt = 38,82 ft

= 232,92 in = 465,84 in

= 5,92 m = 11,83 m

H bahan = 80% H tangki = 31,06 ft

Menentukan tebal shell

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0,6P} + C$$ *(Brownell,pers. 13-1,hal 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum, in

P = tekanan tangki, psi

ri = jari-jari tangki, in (1/2 D)

C = faktor korosi, in (digunakan 1/8 in)

E = faktor pengelasan double welded butt joint E = 0,8

f = allowable stress, digunakan konstruksi SA-283 grade C

f = 12650 psi ***[Brownell T.13-1]***

Asumsi : Volume feed = 80%

$$P\ hidrostatis = \frac{\rho \times g \times H}{144}$$

$$= \frac{66,99 \times 1 \times 31,056}{144}$$

= 14,44702 psi

P operasi = Pin - Pout + P hidrostatis

= 14,7 psi - 14,7 psi + 14,447

= 14,45 psi

P design sebesar 10% lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 14,447 x 110%

= 15,892 psi

ri = 0,5 x D

= 116,461 in

Asumsi tebal shell = 5/16 in

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

$$5/16 = \frac{15{,}892 \times 116{,}461}{f \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 15{,}892} + 1/8$$

$$2/8 = \frac{1850{,}763}{f \times 0{,}8 - 9{,}535}$$

f = 12.326 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 5/16 in dapat digunakan

Tebal tutup atas (Torispherical dished) :

$$t_h = \frac{0{,}885 \times P \times rc}{f.e - 0{,}1\,P} + C$$ *(Brownell , pers.13-12)*

dengan:

t_h = tebal tutup (head) shell minimum ; in

r_c = *crown radius* ; in

P = tekanan tangki ; psia

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

C = faktor korosi (digunakan 1/8 in)

f = allowable stress, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C, maka f = 12650 psi [Brownell, T.13-1]

OD = D + 2 ts

= 232,922 + 0,63

= 233,547 in

Diambil OD standart = 240 in

rc = 180 in

Asumsi tebal head = 7/16 in

$$t_h = \frac{0{,}885 \times P \times rc}{f.e - 0{,}1\,P} + C$$

$$7/16 = \frac{0{,}885 \times 15{,}892 \times 180}{f \times 0{,}8 - 0{,}1 \times 15{,}892} + 1/8$$

$$3/8 = \frac{2531{,}551}{f \times 0{,}8 - 1{,}589}$$

f = 10.124 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 7/16 in dapat digunakan

$h = rc - \sqrt{rc^2 - \frac{D^2}{4}}$ *(Hesse, hal 92)*

= 180,000 - 137,248

= 42,752 in = 3,563 ft

Tebal tutup bawah datar karena tutup bawah menumpah diatas semen (pondasi), maka tebal tutup bawah = 5/16 *(Brownell : 58)*

Spesifikasi peralatan :

Fungsi : Menampung produk samping HCl

Type : Silinder tegak, tutup bawah datar dan tutup atas Torispherical dished

Dimensi shell:

Diameter tangki : 19,41 ft

Tinggi tangki : 38,82 ft

Tebal shell : 5/16 in

Tebal tutup atas : 7/16 in

Tebal tutup bawah : 5/16 in

Tinggi tutup : 3,56 ft

Bahan konstruksi : Carbon steel SA-283 Grade C

Jumlah : 10 buah

39. TANGKI PENAMPUNG H_2SO_4

Fungsi : Menampung sulfuric acid dari coke tower

Type : Silinder tegak, tutup bawah datar dan tutup atas Torispherical dished

Dasar pemilihan : Umum digunakan pada tekanan atmospheric.

Kondisi operasi :

Waktu tinggal = 7 hari

Suhu operasi = 30 ˚ C

Tekanan operasi = 1 atm

Perhitungan :

Komponen bahan masuk

Komponen	**Fraksi Berat**	**Berat (kg)**	ρ Bahan (lb/cuft) *(Perry8ed, T.2-1)*
H_2SO_4	1	1.499	114,50

Rate massa = 1.499 kg / jam = 3.305 lb/jam

Rate Volumetrik $= \frac{\text{Rate Massa}}{\rho \text{ bahan}} = \frac{3.305}{114,50} =$ 28,87 cuft/jam

Menentukan kapasitas tangki

Direncanakan 1 tangki penyimpanan untuk 7 hari proses
sehingga volume bahan masing-masing adalah

$$\text{Volume} = \frac{28{,}87\ \frac{\text{cuft}}{\text{jam}} \times \frac{24\ \text{jam}}{1\ \text{hari}} \times 7\ \text{hari}}{1} = 4.850\ \text{cuft}$$

Asumsi bahan mengisi 80% volume tangki (faktor keamanan)

$$\text{Volume Tangki} = \frac{4.850\ \text{cuft}}{0{,}8}$$

$$= 6.063\ \text{cuft} = 172\ m^3$$

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya

$$\text{Dimensi ratio} = \frac{H}{D} = 2$$ *(Ulrich ; T.4-27 : 248)*

Dengan mengabaikan volume dished head

Volume tangki = $\frac{1}{4}\pi D^2 H$

6.063 = 0,79 x D^2 x 2 D

D^3 = 3.862

Dt = 15,69 ft
= 188,26 in
= 4,78 m

Maka, Ht = 2 Dt = 31,38 ft
= 376,53 in
= 9,56 m

Tinggi cairan dalam tangki :

Volume feed = $\pi/4 \times D^2 \times H$

4.850 = 0,79 x 246 x H

4.850 = 193 H

H = 25 ft

Menentukan tebal shell

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fE - 0{,}6P} + C$$ *(Brownell,pers. 13-1,hal 254)*

dimana, t_{min} = tebal shell minimum, in
P = tekanan tangki, psi
ri = jari-jari tangki, in (1/2 D)
C = faktor korosi, in (digunakan 1/8 in)
E = faktor pengelasan digunakan double welded E = 0,8
f = allowable stress, digunakan konstruksi SA-283 grade C
f = 12650 psi ***[Brownell T.13-1]***

Asumsi : Volume feed = 80%

P hidrostatis = ρ x g x H

$$= \frac{114{,}50 \text{ lb/cuft} \times 32 \text{ ft/s}^2 \times 25 \text{ ft}}{32 \text{ ft.lb/s}^2\text{.lbf} \times 144 \text{ inch}^2/\text{ft}^2}$$

= 19,96 psi

P operasi = Pin - Pout + P hidrostatis
= 14,7 psi - 14,7 psi + 19,96 psi
= 19,96 psig

P design sebesar 10% lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 19,96 x 110%
= 21,95 psi

ri = 0,5 x D
= 94,13 in

Asumsi tebal shell = 1/2 in

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

$$1/2 = \frac{21{,}95 \times 94{,}13}{f \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 21{,}95} + 1/8$$

$$3/8 = \frac{2066{,}67}{f \times 0{,}8 - 13{,}17}$$

f = 6.872 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 1/2 in dapat digunakan

Tebal tutup atas (Torispherical dished) :

$$t_h = \frac{0{,}885 \times P \times rc}{f.e - 0{,}1\,P} + C$$ *(Brownell , pers.13-12)*

dengan:

t_h = tebal tutup (head) shell minimum ; in
r_c = *crown radius* ; in
P = tekanan tangki ; psia
E = faktor pengelasan, digunakan jenis *double welded butt joint.* E = 0,8
C = faktor korosi (digunakan 1/8 in)
f = allowable stress, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade C,
maka f = 12650 psi [Brownell, T.13-1]

OD = D + 2 ts
= 188,26 + 1
= 189,26 in

Diambil OD standart = 240 in

rc = 180 in

Asumsi tebal head = 5/8 in

$$t_h = \frac{0{,}885 \times P \times rc}{f.e - 0{,}1\ P} + C$$

$$5/8 = \frac{0{,}885 \times 22 \times 180}{f \times 0{,}8 - 0{,}1 \times 22} + 1/8$$

$$4/8 = \frac{3497{,}411}{f \times 0{,}8 - 2{,}2}$$

f = 8.741 psi

f hitung < f allowable, jadi tebal shell 5/8 in dapat digunakan

$$h = rc - \sqrt{rc^2 - \frac{D^2}{4}}$$ *(Hesse, hal 92)*

= 180 - 153,42

= 26,58 in = 2,21 ft

Tebal tutup bawah datar karena tutup bawah menumpah diatas semen (pondasi), maka tebal tutup bawah = 5/16 *(Brownell : 58)*

Spesifikasi peralatan :

Fungsi	:	Menampung sulfuric acid dari supplier
Type	:	Silinder tegak, tutup bawah datar dan tutup atas Torispherical dished

Dimensi shell:

Diameter tangki	:	15,69 ft
Tinggi tangki	:	31,38 ft
Tebal shell	:	1/2 in
Tebal tutup atas	:	5/8 in
Tebal tutup bawah	:	5/16 in
Tinggi tutup	:	2,21 ft
Bahan konstruksi	:	Carbon steel SA-283 Grade C
Jumlah	:	1 buah

APPENDIX D
PERHITUNGAN ANALISIS EKONOMI

Kapasitas Produksi	=	450.000	ton/tahun		
Waktu Operasi	=	1 hari	=	24	jam
	=	1 tahun	=	330	hari

Analisa ekonomi merupakan hal penting dalam perencanaan suatu pabrik, karena perhitungan layak ekonomi sangat menenukan apakah pabrik tersebut layak atau tidak untuk didirkan

Faktor - faktor yang perlu ditinjau dalam analisis ekonomi antara lain :

1. Laju pengembalian modal (*Internal Rate of Return, IRR*)
2. Laju investasi yang sehat (*Rate of Investment, ROI)*
3. Lama pengembalian modal (*Pay-Back Periode*)
4. Perhitungan Resiko Hutang (*Rate on Equity*)
5. Titik impas (*Break Even Point, BEP*)

Untuk meninjau faktor - faktor diatas, perlu adanya penaksiran beberapa faktor, Penaksiran tersebut antara lain :

1. Penaksiran modal industri (*Total Capital Investment*) yang terdiri dari :
   a. Modal tetap (*Fixed Capital Investment*)
   b. Modal kerja (*Working Capital Investment*)
2. Penentuan biaya produksi total (*Production Cost*) yang terdiri dari :
   a. Biaya pembuatan (*Manufacturing Cost*)
   b. Biaya pengeluaran umum (*General Expences*)
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 2023
Co	=	Harga alat pada tahun data 2014
Ip	=	Cost Index pada tahun 2023
Io	=	Cost Index pada tahun data 2014

Perhitungan peralatan didasarkan pada cost equipment. Sedangkan Cost Index didasarkan 'pada Peters 'Plant Design and Economic for Chemical Engineering'

Tabel D.1. Indeks Harga Peralatan

Tahun	Indeks	Tahun	Indeks
2009	521,9	2016	541,7
2010	550,8	2017	567,5
2011	585,7	2018	603,1
2012	584,6	2019	607,5
2013	567,3	2020	603,9
2014	576,1	2021	720,2
2015	556,8	2022	776,9

Sumber : CEPCI (Chemical Engineering Plant Cost Index) tahun 2022

Dengan metode *least square* dan data-data pada tabel di atas dilakukan pendekatan penafsiran indeks harga peralatan pada awal tahun dimana data-data tersebut dibentuk dalam persamaan : $Y = a + bX$

Keterangan :

Y = Indeks harga peralatan tahun ke - n

x = Tahun ke - n

Menentukan Indeks Harga Peralatan pada Tahun 2023

No	X	Y	X^2	Y^2	XY
1	2009	521,9	4036081	272380	1048497,1
2	2010	550,8	4040100	303381	1107108
3	2011	585,7	4044121	343044	1177842,7
4	2012	584,6	4048144	341757	1176215,2
5	2013	567,3	4052169	321829	1141974,9
6	2014	576,1	4056196	331891	1160265,4
7	2015	556,8	4060225	310026	1121952
8	2016	541,7	4064256	293439	1092067,2
9	2017	567,5	4068289	322056	1144647,5
10	2018	603,1	4072324	363730	1217055,8
11	2019	607,5	4076361	369056	1226542,5
12	2020	603,9	4080400	364641	1219787,1
13	2021	720,2	4084441	518688	1455524,2
14	2022	776,9	4088484	603574	1570891,8
Σ	**28217**	**8363,955**	**56871591**	**5059492**	**16860371,4**

Jumlah data n = 14

Pers. 21 Peter & Timmerhauss :

$$\Sigma \ (X - X)^2 = \Sigma \ X^2 - \frac{(\Sigma X)^2}{n} = 227{,}50$$

$$\Sigma \ (Y - Y)^2 = \Sigma \ Y^2 - \frac{(\Sigma Y)^2}{n} = 62653{,}35$$

Pers. 20 Peters & Timmerhauss :

$$\Sigma\ (X - X)(Y - Y) = \Sigma XY - \frac{\Sigma X . \Sigma Y}{n} = 2820{,}10$$

$$b = \frac{\Sigma\ (X - X)\ (Y - Y)}{\Sigma\ (X - X)^2} = 12{,}4$$

Rata-rata y = Sy/14 = a = 597,43
Rata-rata x = Sx/14 = c = 2016

y = a + b (x-c)
= 597,43 + 12,4 (x - 2016)
= 597,43 + 12,4 x - 24984,2
= -24386,8 + 12,4 x

Dari persamaan di atas diperoleh indeks harga pada tahun 2023 sebesar
y = -24386,8 + 12,40 x (2023)
= 690,40

Untuk mendapatkan harga tahun 2023 adalah :

$$\text{Harga tahun 2023} = \frac{\text{Indeks tahun 2023}}{\text{Indeks tahun 2014}} \times \text{Harga tahun 2014}$$

Index harga tahun 2023 = 690,40
Harga alat dalam perencanaan ini didapat dari :
www.matche.com dan www.hargabeton.com

Kurs Dollar pada (11 Mei 2023)
(US $) 1 = Rp. 14.820 www.kursdollar.net

Contoh Perhitungan Harga Peralatan

Screw Conveyor
Panjang = 50 ft
Lebar = 9 in
Jumlah = 1
Indeks harga tahun 2014 = 576,1 (US $)

$$\text{Harga tahun 2023} = \frac{\text{indeks harga saat ini}}{\text{indeks harga tahun A}} \times \text{harga tahun A}$$

Indeks harga tahun 2023 = 690,40 (US $)
Harga alat pada tahun 2014 = 5.900 (US $) www.matche.com/equipco
Harga alat pada tahun 2023 = $\frac{690{,}40}{576{,}10}$ x 5900 = 7070,53 (US $)
Sehingga harga alat pada tahun 2023 adalah = 104.785.299

Tabel D.2. Hasil Perhitungan Harga Peralatan Proses

No.	Nama Alat	Harga per unit ($)		Jumlah alat	Harga total ($)
		2014	2023		
1	Storage H2SO4	931.812	1.116.679	7	7.816.755
2	Pompa - 1	98.264	117.759	1	117.759
3	Storage NaCl	338.841	406.065	1	406.065
4	Belt Conveyor	9.759	11.695	1	11.695
5	Bucket Elevator - 1	232.106	278.155	1	278.155
6	Hopper - 1	179.586	215.215	1	215.215
7	Screw Conveyor - 1	99.958	119.789	1	119.789
8	Tangki Pengencer H_2SO_4	3.349.441	4.013.954	1	4.013.954
9	Pompa - 2	98.264	117.759	1	117.759
10	Tangki Fuel Oil	140.619	168.517	1	168.517
11	Pompa - 3	98.264	117.759	1	117.759
12	Blower - 1	191.445	229.427	1	229.427
13	Furnace Manheim	808.000	968.304	1	968.304
14	Blower - 2	267.684	320.791	1	320.791
15	Screw Conveyor - 2	99.958	119.789	1	119.789
16	Rotary Cooler	399.300	478.519	3	1.435.558
17	Blower - 3	669.210	801.979	3	2.405.936
18	Cyclone - 1	725.119	868.979	3	2.606.938
19	Cooling Screw Conveyor	99.958	119.789	1	119.789
20	Bucket Elevator - 2	137.230	164.456	1	164.456
21	Hopper - 2	179.586	215.215	1	215.215
22	Solution Tank	797.970	956.283	1	956.283
23	Hopper - 3	179.586	215.215	1	215.215
24	Pompa - 4	98.264	117.759	1	117.759
25	Filter Press	1.477.346	1.770.444	2	3.540.888
26	Crystallizer	2.551.471	3.057.671	1	3.057.671
27	Centrifuge	1.479.040	1.772.474	1	1.772.474
28	Screw Conveyor - 3	99.958	119.789	1	119.789
29	Bucket Elevator - 3	352.394	422.308	1	422.308
30	Pompa - 5	98.264	117.759	1	117.759
31	Ball Mill	397.400	476.242	1	476.242
32	Tangki Na2SO4.10H2O	1.009.745	1.210.074	1	1.210.074
33	Coke Tower	1.067.348	1.279.105	1	1.279.105
34	Pompa - 6	98.264	117.759	1	117.759
35	Cooler	581.112	696.402	1	696.402
36	Absorber	931.812	1.116.679	1	1.116.679

37	Pompa - 7	98.264	117.759	1	117.759
38	Tangki Penampung H_2SO_4	931.812	1.116.679	1	1.116.679
39	Tangki Penampung HCl	969.084	1.161.346	1	1.161.346
	JUMLAH			52	39.581.835

Tabel D.3. Hasil Perhitungan Harga Peralatan Utilitas

No.	Nama Alat	Harga per unit ($)		Jumlah alat	Harga total ($)
		2014	2023		
1	Boiler	242.200	290.251	1	290.251
2	Cooling Tower	256.300	307.149	1	307.149
3	Bak Penampung Air Sunga	170.000	203.727	1	203.727
4	Tangki Koagulasi	87.700	105.099	1	105.099
5	Tangki Flokulasi	88.600	106.178	1	106.178
6	Clarifier	10.200	12.224	1	12.224
7	Bak Penampung Flok	7.600	9.108	1	9.108
8	Bak Penampung Air Bersil	6.100	7.310	1	7.310
9	Sand Filter	26.600	31.877	2	63.755
10	Bak Air Sand Filter	6.000	7.190	1	7.190
11	Bak Air Sanitasi	2.000	2.397	1	2.397
12	Kation Exchanger	76.800	92.037	1	92.037
13	Anion Exchanger	76.800	92.037	1	92.037
14	Bak Air Demineralisasi	8.500	10.186	1	10.186
15	Bak Cooling Water	4.300	5.153	1	5.153
16	Pompa Air Sungai	11.500	13.782	1	13.782
17	Pompa Koagulasi	11.500	13.782	1	13.782
18	Pompa Flokulasi	11.500	13.782	1	13.782
18	Pompa Sand Filter	11.500	13.782	1	13.782
19	Pompa Air Sanitasi	3.900	4.674	1	4.674
20	Pompa Air Pendingin	8.300	9.947	1	9.947
21	Pompa Kation Exchanger	5.100	6.112	1	6.112
22	Pompa Anion Exchanger	5.100	6.112	1	6.112
23	Pompa Boiler	5.100	6.112	1	6.112
24	Pompa Air Proses	3.900	4.674	1	4.674
25	Pompa Cooling Tower	8.300	9.947	1	9.947
26	Generator Set	300.000	359.519	1	359.519
27	Tangki Bahan Bakar	6.000	7.190	1	7.190
28	Pompa Cooling Water	8.300	9.947	1	9.947
	JUMLAH			30	1.783.212

Total Harga Peralatan = Harga Peralatan Proses + Harga Peralatan Utilita
= Rp. 586.602.789.872 + Rp.26.427.207.657
= Rp. 613.029.997.529

2. Harga Bahan Baku

Tabel Biaya Bahan Baku

No	Bahan baku	kapasitas (kg/jam)	Harga (Rp/kg)	Harga (Rp/Tahun)
1	Garam NaCl	22290	Rp. 5.500	Rp. 970.936.940.292
2	Asam Sulfat	19416	Rp. 3.500	Rp. 538.205.580.000
3	Nartirum Karbonat	76,43	Rp. 1.200	Rp. 726.416.638
Total harga bahan baku per tahun				**Rp. 1.509.868.936.930**

3. Harga Penjualan Produk

Tabel Hasil Penjualan Produk

Produk	Kapasitas produksi (kg/jam)	Harga (Rp/kg)	Harga (Rp/tahun)
Glauber's Salt	56.818	Rp. 8.000	Rp 3.599.982.082.147
HCl	38.762	Rp. 4.000	Rp. 1.227.977.525.598
Total penjualan produk per tahun			**Rp 4.827.959.607.745**

4. Biaya Pengemasan Produk

A. Produk Utama (Glauber's Salt)

Kapasitas produk per tahun = 56.818 kg/jam
= 449.997.760 kg/tahun
Produk Dikemas pada karung = 25 kg
Kebutuhan Karung = 17.999.910 karung/tahun
Harga 1 karung = Rp. 20.000 per karung
Biaya Pengemasan salt/tahun = Rp 359.998.208.215

B. Produk Samping (HCl)

Kapasitas produk per tahun = 38.762 kg/jam
= 306.994.381 kg/tahun
Produk Dikemas pada Drum = 300 kg
Kebutuhan Drum = 1.023.315 Drum/tahun
Harga 1 Drum = Rp. 100.000 per Drum
Biaya Pengemasan HCl/tahun = Rp 102.331.460.467

Biaya Pengemasan per tahun = 462.329.668.681
Biaya Pendukung (10% pengemasan) = Rp. 46.232.966.868
Total Biaya Pengemasan per tahun = Rp 508.562.635.549

Total Harga Penjualan Produk = Rp 4.827.959.607.745
Total Biaya Pengemasan produk = Rp. 508.562.635.549
Total Biaya Penjualan = Rp 5.336.522.243.294

5. Gaji Karyawan

No	Jabatan	Gaji per Bulan (Rp)	Orang	Jumlah Gaji per Bulan (Rp)
1	Direktur Utama	50.000.000	1	50.000.000
2	Direktur Produksi dan Teknik	40.000.000	1	40.000.000
3	Direktur Keuangan	40.000.000	1	40.000.000
4	Sekretaris Direktur	30.000.000	3	90.000.000
5	Staff Ahli	30.000.000	4	120.000.000
6	Kepala Produksi dan Teknik	15.000.000	1	15.000.000
7	Kepala Keuangan	15.000.000	1	15.000.000
8	Kepala Bagian Produksi	15.000.000	1	15.000.000
9	Kepala Bagian Teknik	15.000.000	1	15.000.000
10	Kepala Bagian Pemasaran	15.000.000	1	15.000.000
11	Kepala Bagian Umum	15.000.000	1	15.000.000
12	Kepala Bagian Keuangan	15.000.000	1	15.000.000
13	Kasi Proses	8.000.000	1	8.000.000
14	Kasi Riset dan Pengembangan	8.000.000	1	8.000.000
15	Kasi Utilitas dan Energi	8.000.000	1	8.000.000
16	Kasi Pemeliharaan dan Perbaikan	8.000.000	1	8.000.000
17	Kasi Pembelian	8.000.000	1	8.000.000
18	Kasi Gudang	8.000.000	1	8.000.000
19	Kasi Pemasaran dan Penjualan	8.000.000	1	8.000.000
20	Kasi Administrasi	8.000.000	1	8.000.000
21	Kasi Personalia dan Kesejahteraan	8.000.000	1	8.000.000
22	Kasi Keamanan	8.000.000	1	8.000.000
23	Karyawan Bagian Proses (Kepala)	7.500.000	6	45.000.000
24	Karyawan Bagian Proses (Regu)	6.000.000	40	240.000.000
25	Karyawan Bagian Laboratorium	6.000.000	8	48.000.000
26	Karyawan Bagian Utilitas	6.000.000	24	144.000.000
27	Karyawan Bagian Personalia	6.000.000	5	30.000.000
28	Karyawan Bagian Pemasaran	6.000.000	5	30.000.000
29	Karyawan Bagian Administrasi	6.000.000	5	30.000.000
30	Karyawan Bagian Pembelian	6.000.000	6	36.000.000
31	Karyawan Bagian Pemeliharaan	5.500.000	8	44.000.000
32	Karyawan Bagian Gudang	5.500.000	8	44.000.000
33	Karyawan Bagian Keamanan	5.500.000	10	55.000.000
34	Karyawan Bagian Kebersihan	5.500.000	10	55.000.000
35	Dokter	13.000.000	3	39.000.000
36	Perawat	6.000.000	5	30.000.000
37	Supir	5.500.000	6	33.000.000
38	Satpam dan Pesuruh	5.500.000	20	110.000.000
Jumlah			**196**	**1.538.000.000**

Gaji Karyawan per tahun = **Rp. 18.456.000.000**

6. Biaya Utilitas

a. Biaya untuk air

Kebutuhan air setiap hari = 3.162,1465 m^3/hari
Biaya air tiap hari = 3.162,1465 m^3/hari x Rp. 4.675 /m^3
= Rp. 14.783.035 /hari
Biaya per tahun = Rp. 4.878.401.562

b. Biaya penunjang pengolahan air

1. Tawas

Kebutuhan = 24.793,7585 kg/tahun
Harga = Rp. 6.000 / kg
Biaya per tahun = Rp. 148.762.551

2. PAC (Poly Alumunium Chlorida)

Kebutuhan = 6.199,0453 kg/tahun
Harga = Rp. 12.000 / kg
Biaya per tahun = Rp. 74.388.543

3. Resin kation (Dowex)

Kebutuhan = 526,41 m^3/tahun
Harga = Rp. 258.224 /m^3
Biaya per tahun = Rp. 135.932.012

4. Resin anion (Dowex)

Kebutuhan = 316,43 m^3/tahun
Harga = Rp. 255.876 /m^3
Biaya per tahun = Rp. 80.965.901

5. Asam klorida

Kebutuhan = 26.260,39 L/tahun
Harga = Rp. 25.000 /L
Biaya per tahun = Rp. 656.509.772

6. Chlorine

Kebutuhan = 2.841,70 kg/tahun
Harga = Rp. 10.000 /kg
Biaya per tahun = Rp. 28.416.960

7. Natrium hidroksida

Kebutuhan = 17.259,60 kg/tahun
Harga = Rp. 15.000 /kg
Biaya per tahun = Rp. 258.894.068

c. Bahan bakar

Kebutuhan	=		21.031,65	L/hari
Harga	=	Rp.	9.300	/L
Biaya per tahun	=	Rp.	64.546.128.699	

d. Listrik

Kebutuhan listrik / jam	=		1313,54	kWh	
Biaya listrik /kWh	=	Rp.	1.115	/kWh	(Kementrian ESDM, 2022)
Biaya listrik per tahun	=	Rp.	11.596.898.619		

Total biaya utilitas per tahun = **Rp** **82.405.298.688**

7. Luas Tanah dan Bangunan

Luas tanah	=		25.000	m^2
Harga tanah / m^2	=	Rp.	3.000.000	(JIIPE Industrial Estate)
Total harga tanah	=	Rp.	75.000.000.000	

Luas bangunan pabrik	=		16.650	m^2
Harga bangunan / m^2	=	Rp.	2.600.000	(www.ciptawijayamas.com)
Total harga bangunan	=	Rp.	43.290.000.000	

Luas bangunan gedung	=		1.300	m^2
Harga bangunan gedung / m^2	=	Rp.	1.297.000	(Bappenas)
Total harga bangunan gedung	=	Rp.	1.686.100.000	

Total Harga bangunan gedung pabrik	=	Rp.	44.976.100.000
Total harga tanah dan bangunan	=	Rp.	119.976.100.000