

APPENDIKS A

PERHITUNGAN NERACA MASSA

Kapasitas gypsum yang direncanakan = 100.000 ton / tahun

Jumlah hari kerja = 1 tahun = 330 hari

Jumlah waktu kerja per hari = 1 hari = 24 jam

$$\text{Kapasitas produksi gypsum} = \frac{100.000}{\text{tahun}} \times \frac{1000}{\text{ton}} \times \frac{1}{330} \times \frac{1}{24}$$

$$\text{Kapasitas} = 12.626,26 \text{ kg/jam}$$

Perhitungan bahan baku:

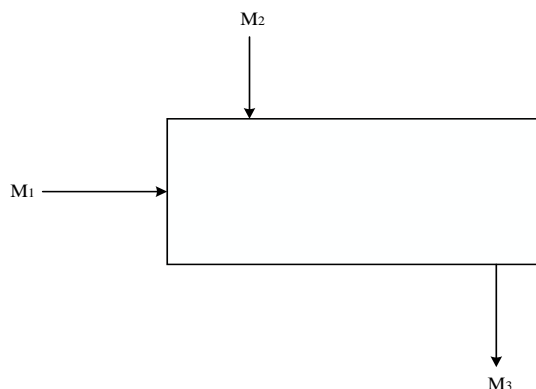
$$\text{Basis CaCO}_3 \text{ yang masuk} = 7.573,28 \text{ kg/jam}$$

Tabel Berat Molekul Komponen

Komponen	BM
CaCO ₃	100
MgCO ₃	83
SiO ₂	60
Al ₂ O ₃	102
Fe ₂ O ₃	160
CaSO ₄	136
H ₂ O	18
H ₂ SO ₄	98
CaSO ₄ .2H ₂ O	172
CO ₂	44
H ₂ CO ₃	62

1. Tangki Pelarut CaCO₃

Fungsi : untuk mencampurkan bahan baku CaCO₃ dan air sebelum masuk reaktor



Neraca massa total :

$$M_1 + M_2 = M_3$$

Keterangan :

M_1 = Bahan masuk

M_2 = Water process

M_3 = Menuju reaktor

Komponen bahan baku CaCO_3

Komponen	Persen (%)	Massa (kg)
CaCO_3	97,89%	7413,49
MgCO_3	0,95%	71,95
SiO_2	0,36%	27,26
Al_2O_3	0,17%	12,87
Fe_2O_3	0,25%	18,93
CaSO_4	0,08%	6,06
H_2O	0,30%	22,72
Total	100%	7573

Perbandingan antara CaCO_3 dan $\text{H}_2\text{O} = 1 : 1$ sehingga,

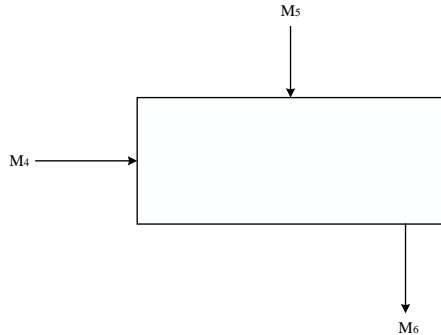
$$\begin{aligned}
 \text{H}_2\text{O masuk} &= 1 \times \text{mol CaCO}_3 \\
 &= 1 \times 75,73 \text{ kmol/jam} \\
 &= 75,73 \text{ kmol/jam} \\
 &= 1.363,19 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Neraca Massa pada mixer CaCO_3

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/jam)	Komponen	Massa (kg/jam)
Aliran M_1		Aliran M_3	
CaCO_3	7413,49	CaCO_3	7413,49
MgCO_3	71,95	MgCO_3	71,95
SiO_2	27,26	SiO_2	27,26
Al_2O_3	12,87	Al_2O_3	12,87
Fe_2O_3	18,93	Fe_2O_3	18,93
CaSO_4	6,06	CaSO_4	6,06
H_2O	22,72	H_2O	1385,91
Aliran M_2			
H_2O	1363,191045		
Total	8936,47	Total	8936,47

2. Tangki Pelarut H₂SO₄

Fungsi : untuk mengencerkan H₂SO₄ 98% menjadi H₂SO₄ 50%



Neraca massa total :

$$M_4 + M_5 = M_6$$

Keterangan:

M₄ = Feed H₂SO₄ 98%

M₅ = Water process

M₆ = Menuju reaktor

Bahan baku H₂SO₄ yang masuk reaktor (M₆) adalah 2x bahan baku CaCO₃ yang masuk

$$M_6 = 15.147 \text{ kg/jam}$$

Neraca massa komponen:

b. H₂SO₄

$$0,98 \times M_4 = 0,5 \times 15.147$$

$$0,98 \times M_4 = 7573,28$$

$$M_4 = 7727,84 \text{ kg/jam}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ masuk} = 7573,28 \text{ kg/jam}$$

$$\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ keluar} = 7573,28 \text{ kg/jam}$$

c. H₂O

$$\text{H}_2\text{O masuk} = 7.727,84 \text{ kg/jam} - 7.573,28 \text{ kg/jam}$$

$$= 154,56 \text{ kg/jam}$$

$$(0,02 \times M_4) + M_5 = 0,5 \times M_6$$

$$154,56 + M_5 = 7.573,28$$

$$M_5 = 7.418,73 \text{ kg/jam}$$

$$\text{H}_2\text{O keluar} = 7573,28 \text{ kg/jam}$$

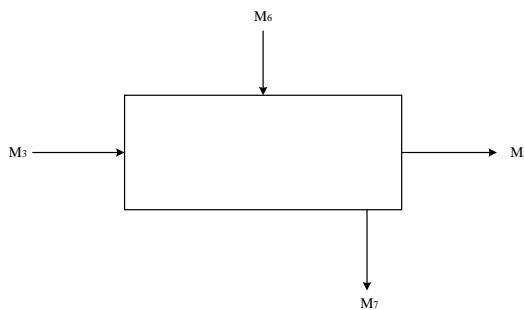
Neraca massa pada mixer H₂SO₄

Masuk	Keluar
-------	--------

Komponen	Massa (kg/jam)	Komponen	Massa (kg/jam)
Aliran M ₄		Aliran M ₆	
H ₂ SO ₄	7573,28	H ₂ SO ₄	7573,28
H ₂ O	154,56	H ₂ O	7573,28
Aliran M ₅			
H ₂ O	7418,73		
Total	15146,57	Total	15146,57

3. Reaktor

Fungsi : Untuk mereaksikan batu kapur dengan H₂SO₄



Neraca massa total :

$$M_3 + M_6 = M_7 + M_8$$

Keterangan:

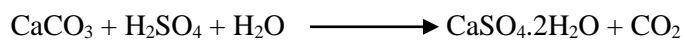
M₃ = Feed dari mixer CaCO₃

M₆ = Feed dari mixer H₂SO₄

M₇ = Menuju Rotary vacum filter

M₈ = CO₂ yang terbentuk

Reaksi :



Konversi reaksi = 95% (US : 6613141)

Neraca massa komponen:

a. CaCO₃

$$\text{CaCO}_3 \text{ masuk} = 7.413,49 \text{ kg/jam}$$

$$= 74,13 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{CaCO}_3 \text{ bereaksi} = 95\% \times 74,13 \text{ kmol/jam}$$

$$= 70,43 \text{ kmol/jam}$$

$$\text{CaCO}_3 \text{ sisa} = (74,13 - 70,43) \text{ kmol/jam}$$

$$= 3,71 \text{ kmol/jam}$$

$$= 370,67 \text{ kg/jam}$$

b. H_2SO_4

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ masuk} &= 7.573 \text{ kg/jam} \\ &= 77,28 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ bereaksi} &= 95\% \times 74,13 \text{ kmol/jam} \\ &= 70,43 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ sisa} &= (77,28 - 70,43) \text{ kmol/jam} \\ &= 6,85 \text{ kmol/jam} \\ &= 671,33 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

c. H_2O

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O masuk} &= 8.958,19 \text{ kg/jam} \\ &= 497,73 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O bereaksi} &= 95\% \times 8 \text{ kmol/jam} \\ &= 70,43 \text{ kmol/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O sisa} &= (497,73 - 70,43) \text{ kmol/jam} \\ &= 427,30 \text{ kmol/jam} \\ &= 7.691,49 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

d. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

$$\begin{aligned} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ terbentuk} &= 1 \times \text{mol CaCO}_3 \text{ bereaksi} \\ &= 70,43 \text{ kmol/jam} \\ &= 12.113,64 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

e. CO_2

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ terbentuk} &= 1 \times \text{mol CaCO}_3 \text{ bereaksi} \\ &= 70,43 \text{ kmol/jam} \\ &= 3.098,84 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

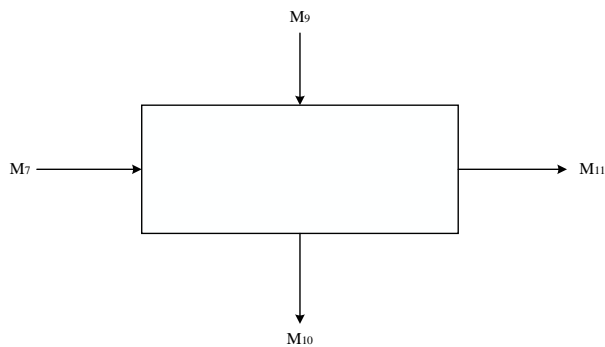
Neraca massa pada Reaktor

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/jam)	Komponen	Massa (kg/jam)
Aliran M ₃		Aliran M ₇	
CaCO ₃	7413,49	CaSO ₄ ·2H ₂ O	12113,64
MgCO ₃	71,95	CaCO ₃	370,67
SiO ₂	27,26	MgCO ₃	71,95

Al ₂ O ₃	12,87	SiO ₂	27,26
Fe ₂ O ₃	18,93	Al ₂ O ₃	12,87
CaSO ₄	6,06	Fe ₂ O ₃	18,93
H ₂ O	1385,91	CaSO ₄	6,06
Aliran M ₆		H ₂ SO ₄	671,33
H ₂ SO ₄	7573,28	H ₂ O	7691,49
H ₂ O	7573,28	Aliran M ₈	
		CO ₂	3098,84
Total	24083,04	Total	24083,04

4. Rotary Vaccum Filter (H-141)

Fungsi : Untuk memisahkan slurry dengan larutan



Neraca massa total : $M_7 + M_9 = M_{10} + M_{11}$

M_7 = Dari reaktor

M_9 = Air pencuci

M_{10} = Ke pembuangan

M_{11} = Ke rotary dryer

Efisiensi: Cake yang terikut kedalam air sebesar 2%

H₂O yang terikut cake sebesar 2%

H₂O yang dibutuhkan 20% total arus

Semua H₂SO₄ terikut ke dalam filtrat

Neraca Komponen:

a. H₂O

H₂O yang di butuhkan = 20% dari total arus output reaktor

= 20% x 24.083,04 kg/jam

= 4.816,61 kg/jam

H₂O yang terikut cake = 2% x (4.816,61 + 7.691,49) kg/jam

$$= 250,16 \text{ kg/jam}$$

$$\text{H}_2\text{O yang terikut filtrat} = 98\% \times (4.816,61 + 7.691,49) \text{ kg/jam}$$

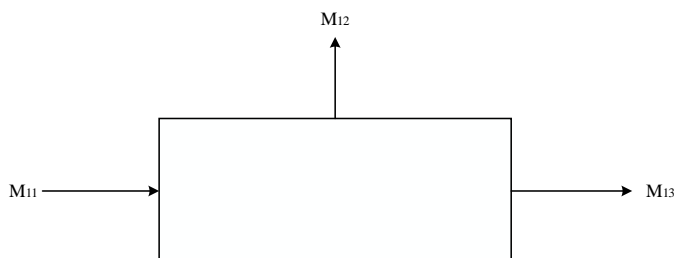
$$= 12.257,93 \text{ kg/jam}$$

Neraca massa Rotary Drum Vaccum Filter

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/jam)	Komponen	Massa (kg/jam)
Aliran M ₇		Aliran M ₁₀	
CaSO ₄ .2H ₂ O	12113,64	CaSO ₄ .2H ₂ O	11871,37
CaCO ₃	370,67	CaCO ₃	363,26
MgCO ₃	71,95	MgCO ₃	70,51
SiO ₂	27,26	SiO ₂	26,72
Al ₂ O ₃	12,87	Al ₂ O ₃	12,62
Fe ₂ O ₃	18,93	Fe ₂ O ₃	18,55
CaSO ₄	6,06	CaSO ₄	5,94
H ₂ SO ₄	671,33	H ₂ SO ₄	13,43
H ₂ O	7691,49	H ₂ O	250,16
Aliran M ₉		Aliran M ₁₁	
H ₂ O	4816,61	CaSO ₄ .2H ₂ O	242,27
		CaCO ₃	7,41
		MgCO ₃	1,44
		SiO ₂	0,55
		Al ₂ O ₃	0,26
		Fe ₂ O ₃	0,38
		CaSO ₄	0,12
		H ₂ SO ₄	657,90
		H ₂ O	12257,93
Total	25800,81	Total	25800,81

5. Rotary Dryer

Fungsi : Untuk menghilangkan kadar air bahan



Neraca massa total :

$$M_{11} = M_{12} + M_{13}$$

Keterangan:

M_{11} = Dari Rotary vacum filter

M_{12} = Menuju cyclone

M_{13} = Menuju Hammer mil

Neraca massa komponen:

a. $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ masuk} = 11.871,37 \text{ kg/jam}$$

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ yang terikut udara} = 1\%$$

$$\begin{aligned} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ produk} &= 99\% \times 11.871,37 \text{ kg/jam} \\ &= 11.752.65 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ yang terikut udara} &= 1\% \times 11.871,37 \text{ kg/jam} \\ &= 118,71 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

H_2O

$$\text{H}_2\text{O} \text{ pada produk} = 1\%$$

$$1\% = \frac{x}{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} + x} \times 100\%$$

$$1\% = \frac{x}{16.268,56 + x} \times 100\%$$

$$X = \frac{16.268,56}{0,99} \times 100\%$$

$$X = 164,33 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{H}_2\text{O} \text{ sisa} &= (250,16 - 164,33) \text{ kg/jam} \\ &= 85,83 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

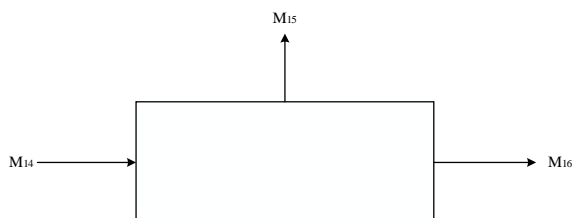
Neraca massa pada Rotary Dryer

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/jam)	Komponen	Massa (kg/jam)
Aliran M_{11}		Aliran M_{13}	
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	11871,37	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	11752,65
CaCO_3	363,26	CaCO_3	359,63
MgCO_3	70,51	MgCO_3	69,80

SiO ₂	26,72	SiO ₂	26,45
Al ₂ O ₃	12,62	Al ₂ O ₃	12,49
Fe ₂ O ₃	18,55	Fe ₂ O ₃	18,37
CaSO ₄	5,94	CaSO ₄	5,88
H ₂ SO ₄	13,43	H ₂ SO ₄	13,29
H ₂ O	250,16	H ₂ O	164,33
		Aliran M ₁₂	
		CaSO ₄ .2H ₂ O	118,71
		CaCO ₃	3,63
		MgCO ₃	0,71
		SiO ₂	0,27
		Al ₂ O ₃	0,13
		Fe ₂ O ₃	0,19
		CaSO ₄	0,06
		H ₂ SO ₄	0,13
		H ₂ O	85,83
Total	12632,55	Total	12632,55

6. Cyclone

Fungsi : Menangkap debu yang terikut udara panas



Neraca massa total :

$$M_{14} = M_{15} + M_{16}$$

Keterangan:

M₁₄ = Dari Rotary dryer

M₁₅ = Menuju udara luar

M₁₆ = Menuju Hammer mill

Efisiensi Cyclone = 97%

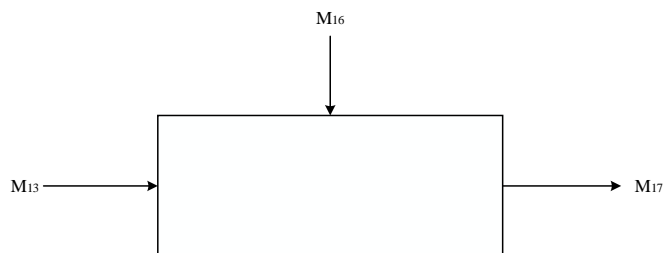
Neraca massa pada cyclone

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/jam)	Komponen	Massa (kg/jam)

Aliran M ₁₄		Aliran M ₁₆	
CaSO ₄ .2H ₂ O	118,71	CaSO ₄ .2H ₂ O	115,15
CaCO ₃	3,63	CaCO ₃	3,52
MgCO ₃	0,71	MgCO ₃	0,68
SiO ₂	0,27	SiO ₂	0,26
Al ₂ O ₃	0,13	Al ₂ O ₃	0,12
Fe ₂ O ₃	0,19	Fe ₂ O ₃	0,18
CaSO ₄	0,06	CaSO ₄	0,06
H ₂ SO ₄	0,13	H ₂ SO ₄	0,13
H ₂ O	85,83	H ₂ O	83,26
		Aliran M ₁₅	
		CaSO ₄ .2H ₂ O	3,56
		CaCO ₃	0,11
		MgCO ₃	0,02
		SiO ₂	0,01
		Al ₂ O ₃	0,00
		Fe ₂ O ₃	0,01
		CaSO ₄	0,00
		H ₂ SO ₄	0,00
		H ₂ O	2,58
Total	209,66	Total	209,66

7. Hammer Mill

Fungsi : Untuk menyamakan ukuran produk



Neraca massa total :

$$M_{13} + M_{16} = M_{17}$$

Keterangan:

M₁₃ = Dari Rotary dryer

M₁₆ = Dari cyclone

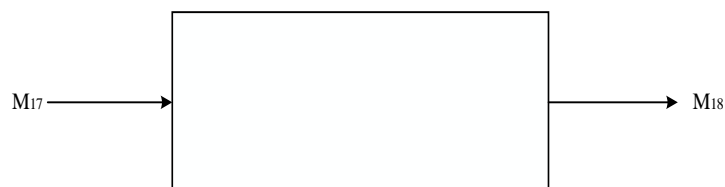
M₁₇ = Menuju Silo

Neraca massa pada hammer mill

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/jam)	Komponen	Massa (kg/jam)
Aliran M ₁₃		Aliran M ₁₇	
CaSO ₄ .2H ₂ O	11752,65	CaSO ₄ .2H ₂ O	11867,80
CaCO ₃	359,63	CaCO ₃	363,15
MgCO ₃	69,80	MgCO ₃	70,49
SiO ₂	26,45	SiO ₂	26,71
Al ₂ O ₃	12,49	Al ₂ O ₃	12,61
Fe ₂ O ₃	18,37	Fe ₂ O ₃	18,55
CaSO ₄	5,88	CaSO ₄	5,94
H ₂ SO ₄	13,29	H ₂ SO ₄	13,42
H ₂ O	164,33	H ₂ O	247,59
Aliran M ₁₆			
CaSO ₄ .2H ₂ O	115,15		
CaCO ₃	3,52		
MgCO ₃	0,68		
SiO ₂	0,26		
Al ₂ O ₃	0,12		
Fe ₂ O ₃	0,18		
CaSO ₄	0,06		
H ₂ SO ₄	0,13		
H ₂ O	83,26		
Total	12626,26	Total	12626,26

8. Silo

Fungsi : Untuk menampung produk yang dihasilkan



Neraca massa total :

$$M_{17} = M_{18}$$

Keterangan:

M₁₇ = Dari Hammel mill

M₁₈ = Menuju Pengemasan

Neraca massa pada silo

Masuk		Keluar	
Komponen	Massa (kg/jam)	Komponen	Massa (kg/jam)
Aliran M ₁₇		Aliran M ₁₈	
CaSO ₄ .2H ₂ O	11867,80	CaSO ₄ .2H ₂ O	11867,80
CaCO ₃	363,15	CaCO ₃	363,15
MgCO ₃	70,49	MgCO ₃	70,49
SiO ₂	26,71	SiO ₂	26,71
Al ₂ O ₃	12,61	Al ₂ O ₃	12,61
Fe ₂ O ₃	18,55	Fe ₂ O ₃	18,55
CaSO ₄	5,94	CaSO ₄	5,94
H ₂ SO ₄	13,42	H ₂ SO ₄	13,42
H ₂ O	247,59	H ₂ O	247,59
Total	12626,26	Total	12626,26

Kemurnian gypsum : 94%

APPENDIKS B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

Kapasitas gypsum yang direncanakan = 100.0000 ton / tahun

Jumlah hari kerja = 1 tahun = 330 hari

Jumlah waktu kerja per hari = 1 hari = 24 jam

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas produksi gypsum} &= \frac{100.000}{\text{tahun}} \times \frac{1000}{\text{ton}} \times \frac{1}{330} \times \frac{1}{24} \\ &= 12.626,26 \text{ Kg/jam} \end{aligned}$$

Suhu referensi = 25 °C = 298,15°K

Suhu lingkungan = 30 °C = 303,15°K

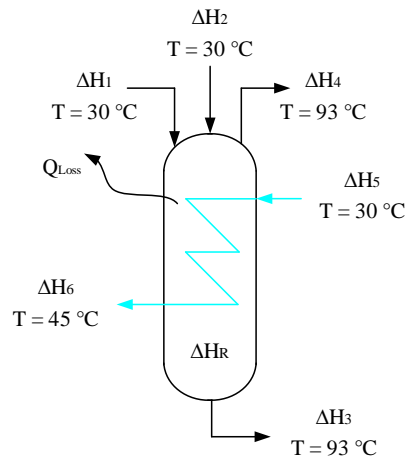
Satuan = kkal/jam

Perhitungan neraca panas dilakukan pada alat- alat yang terjadi perpindahan panas

Data Cp tiap komponen:

Komponen	Konstata Cp
CaCO3	19,68 + 0,01189 T - 307600 / T ²
MgCO3	16,9
SiO2	10,87 + 0,008712 T - 241200 / T ²
Al2O3	22,08 + 0,008971 T - 522500 / T ²
Fe2O3	24,72 + 0,01604 T - 423400 / T ²
CaSO4	18,52 + 0,02197 T - 156800 / T ²
H2O	8,712 + 0,00125 T - 2,E-07 / T ²
H2SO4	0,3352
CaSO4.2H2O	46,8
CO2	10,34 + 0,00274 T - 195500 / T ²

1. Reactor (R-130)



Overall energy balance:

Panas masuk = Panas keluar

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_5 + \sum H_R = \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_6 + Q_{Loss}$$

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + (\Delta H_5 - \Delta H_6) + \Delta H_R = \Delta H_3 + \Delta H_4 + Q_{Loss}$$

$$\Delta H_1 + \Delta H_2 + Q_{serap} + \Delta H_R = \Delta H_3 + \Delta H_4 + Q_{Loss}$$

Keterangan

ΔH_1 : Panas yang terkandung pada bahan CaCO_3

ΔH_2 : Panas yang terkandung pada bahan Asam sulfat

ΔH_3 : Panas yang terkandung pada produk bahan keluar

ΔH_4 : Panas yang terkandung pada produk samping bahan keluar

ΔH_5 : Panas yang terkandung pada cooling water masuk

ΔH_6 : Panas yang terkandung pada cooling water keluar

ΔH_R : Panas yang timbul akibat terjadi reaksi

Q_{Loss} : Panas yang hilang

Direncanakan:

Suhu bahan masuk = 30 °C = 303,15 K

Suhu air masuk = 30 °C = 303,15 K

Suhu reaktor = 93 °C = 366,15 K

Suhu bahan keluar = 93 °C = 366,15 K

Suhu referensi = 25 °C = 298,15 K

Perhitungan panas bahan masuk (ΔH_1)

Komponen	Massa (kg)	BM	kgmol	Cp	ΔT	ΔH (kkal/jam)
CaCO ₃	7.413,49	100	74,13	19,94	5	7.390,26
MgCO ₃	71,95	83	0,87	16,90		73,25
SiO ₂	27,26	60	0,45	10,89		24,73
Al ₂ O ₃	12,87	102	0,13	19,11		12,06
Fe ₂ O ₃	18,93	160	0,12	24,98		14,78
CaSO ₄	6,06	136	0,04	17,48		3,89
H ₂ O	1.385,91	18	77,00	9,09		3.499,79
Total ΔH_1						11.018,76

Perhitungan panas bahan masuk (ΔH_2)

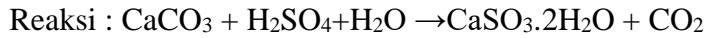
Komponen	Massa (kg)	BM	kgmol	Cp	ΔT	ΔH (kkal/jam)
H ₂ SO ₄	7.573,28	98	77,28	0,34	5	129,52
H ₂ O	7.573,28	18	420,74	9,09		19.124,51
Jumlah Total ΔH_2						19.254,03

Perhitungan panas bahan keluar (ΔH_3)

Komponen	Massa (kg)	BM	Kgmol	CP	ΔT	ΔH (kkal/jam)
CaSO ₄ .2H ₂ O	12.113,64	172	70,43	46,80	68	224.130,48
CaCO ₃	370,67	100	3,71	21,74		5.479,53
MgCO ₃	71,95	83	0,87	16,90		996,15
SiO ₃	27,26	60	0,45	12,26		378,85
Al ₂ O ₃	12,87	102	0,13	21,47		184,26
Fe ₂ O ₃	18,93	160	0,12	27,43		220,76
CaSO ₄	6,06	136	0,04	18,15		55,00
H ₂ SO ₄	671,33	98	6,85	0,34		156,14
H ₂ O	7.691,49	18	427,30	9,17		266.441,16
Total ΔH_3						498.042,32

Perhitungan panas produk samping (ΔH_4)

Komponen	Massa (kg)	BM	Kgmol	CP	ΔT	ΔH (kkal/jam)
CO ₂	3.098,84	44	70,43	9,89	68	47.340,44

Menghitung panas reaksi (ΔH_R)Panas pembentukan standar ($\Delta H_{f298,15}$) (Perry's 7 ed. T.2-220 hal 2-188)

Komponen Reaktan	$\Delta H_f 298,15$ (Kkal/kmol)	$\Delta H_{rxn 298,15}$ (kkal/jam)
CaCO ₃	-289,5	-27.941,06
H ₂ SO ₄	-193,7	-18.693,97
H ₂ O	-68,3	-6.593,65
Jumlah		-53.228,68

Komponen Produk	$\Delta H_f 298,15$ (Kkal/jam)	$\Delta H_{rxn 298,15}$ (kkal/jam)
CaSO ₄ ·2H ₂ O	-429,3	-46.259,59
CO ₂	-94,1	-9.077,42
Jumlah		-55.337,01

$$\begin{aligned} \Delta H_f 298,15 &= (\sum H_{f\text{produk}} - \sum H_{f\text{reaktan}}) \\ &= (-55.337,01 - (-53.228,68)) \\ &= -2.108,33 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_R &= (\Delta H_{f\text{produk}} + \Delta H_R) + \Delta H_{f\text{reaktan}} \\ &= (\Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_R) + (\Delta H_1 + \Delta H_2) \\ &= 498.042,32 + 47.340,44 + (-2.108,33) + 11.018,76 + 19.254,03 \\ &= 573.547,22 \text{ Kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{Loos}} &= 1\% \text{ dari entalpi bahan masuk} \\ &= 1\% \times 30.272,79 \\ &= 302,73 \text{ Kkal/jam} \end{aligned}$$

Menghitung panas pada system reaktor

$$\begin{aligned} \Delta H_1 + \Delta H_2 + Q_{\text{serap}} + \sum H_R &= \Delta H_3 + \Delta H_4 + Q_{\text{Loss}} \\ 11.018,76 + 19.254,03 + Q + 573.547,22 &= 498.042,32 + 47.340,44 + 302,73 \\ 603.820,01 + Q_{\text{serap}} &= 545.685,49 \\ Q_{\text{serap}} &= -58.134,52 \text{ Kkal/jam} \end{aligned}$$

Air pendingin digunakan untuk memenuhi kebutuhan pelepasan panas

Kebutuhan air pendingin:

$$\begin{aligned} \text{Suhu air pendingin masuk} &= 27 \text{ }^\circ\text{C} &= 300,15 \text{ K} \\ \text{Suhu air pendingin keluar} &= 45 \text{ }^\circ\text{C} &= 318,15 \text{ K} \\ \text{Suhu referensi} &= 25 \text{ }^\circ\text{C} &= 298,15 \text{ K} \\ \text{Cp air pendingin} &= 9,10 \end{aligned}$$

Massa air pendingin masuk

$$Q_{\text{serap}} = \Delta H_5 - \Delta H_6$$

$$\begin{aligned} \Delta H_5 &= m \times c_p \times \Delta T \\ &= m \times 9,10 \times 20 \\ &= m \times 182 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_6 &= m \times c_p \times \Delta T \\ &= m \times 9,10 \times 2 \\ &= m \times 18,2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{serap}} &= \Delta H_5 - \Delta H_6 \\ 58.134,52 &= 182m - 18,2m \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 58.134,52 &= 163,8m \\ m &= 354,91 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

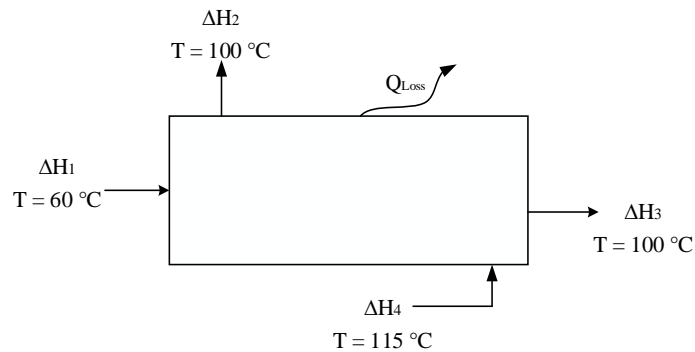
$$\begin{aligned} \Delta H_5 &= m \times 182 \\ &= 354,91 \times 182 \\ &= 64.593,62 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H_6 &= m \times 18,2 \\ &= 354,91 \times 18,2 \\ &= 6.459,36 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

Neraca Panas pada Reaktor (R-130)

Masuk (kkal/jam)		Keluar (kkal/jam)			
ΔH_1	=	11.018,76	ΔH_3 =	498.042,32	
ΔH_2	=	19.254,03	ΔH_4	=	47.340,44
ΔH_5	=	6459,36	ΔH_6	=	64593,62
ΔHR	=	573.547,22	Qloos	=	302,73
Total		610.279,11	Total		610.279,11

2. Rotary Dryer (B-150)



Overall energy balance:

Panas masuk = Panas keluar

$$\Delta H_1 + \Delta H_4 = \Delta H_2 + \Delta H_3 + Q_{\text{Loss}}$$

Keterangan

ΔH_1 : Panas yang terkandung dalam bahan masuk

ΔH_2 : Panas yang terkandung dalam bahan keluar ke cyclone

ΔH_3 : Panas yang terkandung dalam bahan keluar

ΔH_4 : Panas yang dibawa udara masuk

Q_{Loss} : panas yang hilang

Di rencanakan:

Suhu bahan masuk = 60 °C = 333,15 K

Suhu bahan masuk = 100 °C = 373,15 K

Suhu air masuk = 115 °C = 388,15 K

Suhu referensi = 25 °C = 298,15 K

Perhitungan panas bahan masuk ($\Delta H_1 = m \times c_p \times \Delta T$)

Komponen	Massa (kg)	BM	Kgmol	CP	ΔT	ΔH (kkal/jam)
CaSO ₄ .2H ₂ O	11.871,37	172	69,02	46,80	35	113.054,05
CaCO ₃	363,26	100	3,63	20,87		2.653,40
MgCO ₃	70,51	83	0,85	16,90		502,47
SiO ₃	26,72	60	0,45	11,60		180,78
Al ₂ O ₃	12,62	102	0,12	20,36		88,15
Fe ₂ O ₃	18,55	160	0,12	26,25		106,54
CaSO ₄	5,94	136	0,04	17,84		27,26
H ₂ SO ₄	13,43	98	0,14	0,34		1,61
H ₂ O	250,16	18	13,90	9,13		4.440,31
Total ΔH_1						121.054,57

Perhitungan panas bahan masuk ($\Delta H_2 = m \times cp \times \Delta T$)

Komponen	Massa (kg)	BM	Kgmol	CP	ΔT	ΔH (kkal/jam)
CaSO ₄ .2H ₂ O	11.752,65	172	68,33	46,80	75	239.836,09
CaCO ₃	359,63	100	3,60	21,91		5.908,95
MgCO ₃	69,80	83	0,84	16,90		1.065,96
SiO ₃	26,45	60	0,44	12,39		409,62
Al ₂ O ₃	12,49	102	0,12	21,68		199,07
Fe ₂ O ₃	18,37	160	0,11	27,66		238,20
CaSO ₄	5,88	136	0,04	18,21		59,04
H ₂ SO ₄	13,29	98	0,14	0,34		3,41
H ₂ O	164,33	18	9,13	9,18		6.284,48
Total ΔH_2						254.004,83

Menghitung panas udara masuk (ΔH_4)

$$C_p \text{ udara} = 0,6734 \text{ kkal/kgK}$$

$$\Delta H_4 = m \times c_p \times \Delta T$$

$$= m \times 0,6734 \times 90$$

$$= 60,61m$$

Menghitung bahan keluar cyclone ($\Delta H_3 = m \times cp \times \Delta T$)

Komponen	Massa (kg)	BM	Kgmol	CP	ΔT	ΔH (kkal/jam)
CaSO ₄ .2H ₂ O	118,71	172	0,69	46,80	75	2.422,59
CaCO ₃	3,63	100	0,04	21,91		59,69
MgCO ₃	0,71	83	0,01	16,90		10,77
SiO ₃	0,27	60	0,00	12,39		4,14
Al ₂ O ₃	0,13	102	0,00	21,68		2,01
Fe ₂ O ₃	0,19	160	0,00	27,66		2,41
CaSO ₄	0,06	136	0,00	18,21		0,60
H ₂ SO ₄	0,13	98	0,00	0,34		0,03
H ₂ O	85,83	18	4,77	9,18		3.282,59
Total ΔH_3						5.784,81

Menghitung panas yang hilang

$$Q_{\text{loss}} = 1\% \times (\Delta H_1 + \Delta H_4)$$

$$= 1\% \times (121.054,57 + 60,61m)$$

$$= 1.210,55 + 0,61m$$

Menghitung udara masuk

$$\begin{aligned}\Delta H_1 + \Delta H_4 &= \Delta H_3 + \Delta H_4 + Q_{\text{loss}} \\ 121.054,57 + 60,61m &= 254.004,83 + 5.784,81 + 1.210,55 + 0,61m \\ 60m &= 139.945,62 \\ m &= 2.332,43 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

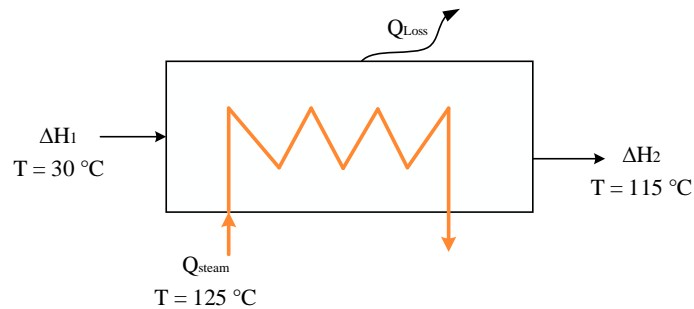
$$\begin{aligned}\Delta H_4 &= 60,61m \\ &= 60,61 \times (2.332,43) \\ &= 141.359,21 \text{ kkal/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}Q_{\text{los}} &= 1.210,55 + 0,61m \\ &= 1.210,55 + 0,61 \times (2.332,43) \\ &= 2.624,14 \text{ kkal/jam}\end{aligned}$$

Neraca panas pada rotary dryer (B-150)

Masuk (kkal/jam)		Keluar (kkal/jam)	
ΔH_1	= 121.054,57	ΔH_2	= 254.004,83
ΔH_4	= 141.359,21	ΔH_3	= 5.784,81
		Q_{loos}	= 2.624,14
Total	262.413,78	Total	262.413,78

3. Heater Udara (E-145)



Overall energy balance:

Panas masuk = Panas keluar

$$\Delta H_1 + Q = \Delta H_2 + Q_{\text{Loss}}$$

Keterangan

ΔH_1 : Panas pada udara masuk

ΔH_2 : Panas pada udara keluar

Q_{steam} : Panas yang terkandung pada steam

Q_{Loss} : panas yang hilang

a. Menghitung panas udara masuk ΔH_1

$$\text{Suhu udara masuk} = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 303,15 \text{ K}$$

$$\text{Suhu air masuk} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\text{Massa udara} = 2.332,43 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Cp udara} = 6,97 \text{ kkal/kgmol.K} \quad (\text{Hougen})$$

$$\text{BM udara} = 60$$

$$\begin{aligned} \Delta H_1 &= m \times cp \times \Delta T \\ &= (2.332,43/60) \times 6,97 \times 5 \\ &= 1.355,69 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

b. Menghitung panas udara keluar ΔH_2

$$\text{Suhu udara masuk} = 115 \text{ }^\circ\text{C} = 388,15 \text{ K}$$

$$\text{Suhu referensi} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 298,15 \text{ K}$$

$$\text{Massa udara} = 2.332,43 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Cp udara} = 7,02 \text{ kkal/kgmol.K}$$

$$\text{BM udara} = 60$$

$$\begin{aligned} \Delta H_2 &= m \times cp \times \Delta T \\ &= (2.332,43/60) \times 7,02 \times 90 \\ &= 24.551,73 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

c. Menghitung panas yang hilang

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss}} &= 1\% \times (\Delta H_1 + Q) \\ &= 1\% \times (1.355,69 + Q) \\ &= (13,56 + 0,01Q) \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

d. Menghitung panas yang diberikan steam

Neraca total

$$\begin{aligned} \Delta H_1 + Q &= \Delta H_2 + Q_{\text{loss}} \\ 1.355,69 + Q &= 24.551,73 + 13,56 + 0,01Q \\ 0,99Q &= 23.209,60 \\ Q &= 23.444,05 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{loss}} &= (13,56 + 0,01Q) \text{ kkal/jam} \\ &= 13,56 + 0,01 (23.444,05) \\ &= 248,00 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

e. Menentukan kebutuhan steam

$$\begin{aligned}\lambda &= H_{\text{vapor}} - H_{\text{liquid}} \\ &= 2.706 - 503,7 \\ &= 2.202,3 \text{ kJ/kg} \quad (\text{Smith Vannes, app hal 670}) \\ &= 526,37 \text{ kkal/kg}\end{aligned}$$

$$Q_{\text{steam}} = m \times \lambda$$

$$23.444,73 = 526,37 \times \lambda$$

$$\lambda = 44,54 \text{ kg/jam}$$

Neraca panas pada Heater (E-145)

Masuk (kkal/jam)		Keluar (kkal/jam)	
$\Delta H_1 =$	1.355,69	$\Delta H_2 =$	24.551,73
Q =	23.444,05	Qloos =	248,00
Total	24.799,73	Total	24.799,73

APPENDIKS C
SPEKIFIKASI PERLATAN

1. Gudang Limestone (F-112)

Fungsi : Untuk tempat penyimpanan dan penyediaan limestone

Type : Open storage

Dasar perancangan

Suhu udara : 30 °C

Tekanan : 1 atm = 14,70 psi

$$\begin{aligned} \text{Rate batu kapur} &= 7.573,28 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}} \\ &= 5.452.764,2 \text{ kg/bulan} \end{aligned}$$

Densitas (kg/m ³)		Massa(Kg/jam)	xi	xi . pi	
ρ	CaCO ₃	2710,00	7.413,49	0,98	2.652,82
ρ	MgCO ₃	3307,00	71,95	0,01	31,42
ρ	SiO ₂	2334,00	27,26	0,00	8,40
ρ	Al ₂ O ₃	3982,60	12,87	0,00	6,77
ρ	Fe ₂ O ₃	5179,80	18,93	0,00	12,95
ρ	CaSO ₄	2320,00	6,06	0,00	1,86
ρ	H ₂ O	995,65	22,72	0,00	2,99
Total		7.573,28	1,00		2.717,20

Sehingga:

$$\begin{aligned} \rho \text{ campuran} &= \frac{\sum xi \cdot pi}{\sum xi} \\ &= \frac{2717,2}{1,00} \\ &= 2717,20 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

- Perhitungan

$$\text{Volume batu kapur} = \frac{m}{\rho} = \frac{5.452.764,18}{2717,20} = 2006,8 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{maka volume stora} &= 2006,8 \text{ m}^3 \\ &= 70868,05 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Ditetapkan : Panjang = 2 x Lebar gudang

Tinggi = 4 m = 13,12 ft

Maka : 2006,8 = p x l x t

$$2006,8 = 2l \times l \times 4$$

$$l^2 = \frac{2006,8}{8}$$

$$l^2 = 250,84$$

$$l = 15,84 = 17 \text{ m} = 55,77 \text{ ft}$$

$$p = 17 \text{ m} \times 2 = 34 \text{ m} = 111,5 \text{ ft}$$

Spesifikasi

Nama : Gudang Limestone
 Type : Open storage
 Ukuran : Panjang : 111,55 ft
 Lebar : 55,77 ft
 tinggi : 13,12 ft

2. Bucket Elevator (C-113)

Fungsi : Untuk transportasi limestone menuju tangki pelarut
 Type : Sentrifugal discharge

Dasar perncanaan :

Suhu Udara = 30 °C
 Tekanan operasi = 1 atm = 14,70 psi
 Kapasitas = 7.573,28 kg/jam

Densitas (kg/m ³)		Massa(Kg/jam)	xi	xi . pi	
ρ	CaCO ₃	2710,00	7.413,49	0,98	2.652,82
ρ	MgCO ₃	3307,00	71,95	0,01	31,42
ρ	SiO ₂	2334,00	27,26	0,00	8,40
ρ	Al ₂ O ₃	3982,60	12,87	0,00	6,77
ρ	Fe ₂ O ₃	5179,80	18,93	0,00	12,95
ρ	CaSO ₄	2320,00	6,06	0,00	1,86
ρ	H ₂ O	995,65	22,72	0,00	2,99
Total			7.573,28	1,00	2.717,20

Sehingga:

$$\rho \text{ campuran} = \frac{\sum xi \cdot pi}{\sum xi}$$

$$= \frac{2717,2}{1,00}$$

$$= 2717,2 \text{ kg/m}^3$$

$$= 169,63 \text{ lb/ft}^3$$

direncanakan suhu bucket elevator den.:

Tinggi = 15 m (Ulrich, tabel 4-4 hal 71)
 Ukuran = (6 x 4 x 4^{1/2}) in
 Kapasitas (untuk 100 lb/ft³) = 14 ton/jam
 Size of lump handeld = 3/4 in
 Bucket speed = 225 ft/menit
 Head shaft = 43 rpm

HP required at heat shaft	=	1	HP
Diameter shaft	: head	= 115 / 16	in
	tail	= 111 / 16	in
Diameter purley	: head	= 20	in
	tail	= 14	in
Lebar belt	=	7	in

(Perry's ed-7, tabel 21-8 hal 21-15)

Tahap-tahap perancangai :

- Kecepatan Bucket Elevator
- Dimensi dan daya yang dibutuhkan

- Perhitungan

Dengan faktor keamanan 20 %, m_f : (Vilbrant, tabel 2-2 hal 23)

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas} &= 1,2 \times 7.573,28 \text{ kg/jam} \\ &= 9087,9 \text{ kg/jam} = 20035,45 \text{ lb/jam} \\ &= 10,0 \text{ ton/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan bucket} &= \frac{10,0 \text{ ton/jam}}{14 \text{ ton/jam}} \times \frac{169,63 \text{ lb/ft}^3}{100 \text{ lb/ft}^3} \times 225 \text{ ft/m} \\ &= 272,5 \text{ ft/menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya total} &= \frac{10,0 \text{ ton/jam}}{14 \text{ ton/jam}} \times \frac{169,63 \text{ lb/ft}^3}{100 \text{ lb/ft}^3} \times 1 \text{ HP} \\ &= 1,21 \text{ HP} \end{aligned}$$

$$\eta \text{ motor} = 81\% \quad (\text{Peter and Timmmerhaus, fig 14 hal 521})$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Daya Motor} &= \frac{1,2}{81\%} \\ &= 1,5 \text{ HP} = 2 \text{ HP} \end{aligned}$$

Spesifikasi Alat :

Nama	=	Bucket elevator
Type	=	Centrifugal discharge
Kapasitas	=	20035,45 lb/jam
Ukuran	=	(6 x 4 x 4 1/2) in
Lebar	=	7 in
Kecepatan	=	272,5 ft/menit
Daya motor	=	2,0 HP
Jumlah	=	1 Buah

3. Bin

Fungsi : Menampung batu kapur sebelum masuk pelarut

APP C-4

Type : tangki silinder dengan bagian bawah berbentuk conical dengan sudut 60°

Dasar perencanaan :

Suhu : 30 °C

Massa Batu kapur : 7.573,28 kg/jam = 16699 lb/jam

	Densitas (kg/m ³)	Massa (Kg/jam)	xi	xi . pi	
ρ	CaCO ₃	2710,00	7.413,49	0,98	2.652,82
ρ	MgCO ₃	3307,00	71,95	0,01	31,42
ρ	SiO ₂	2334,00	27,26	0,00	8,40
ρ	Al ₂ O ₃	3982,60	12,87	0,00	6,77
ρ	Fe ₂ O ₃	5179,80	18,93	0,00	12,95
ρ	CaSO ₄	2320,00	6,06	0,00	1,86
ρ	H ₂ O	995,65	22,72	0,00	2,99
Total		7.573,28	1,00	2.717,20	

Sehingga:

$$\begin{aligned} \rho \text{ campuran} &= \frac{\sum xi \cdot pi}{\sum xi} \\ &= \frac{2717,2}{1,00} \\ &= 2717,2 \text{ kg/m}^3 \\ &= 169,63 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan bin digunakan untuk menampung bahan selama 0,2 jam

Perhitungan :

- Menentukan diameter tangki

$$\text{Batu kapur yang ditampung} = 16699 \text{ lb/jam} \times 0,2 = 2671,9$$

$$\text{Volume batu kapur} = \frac{m}{\rho} = \frac{2671,9}{169,63} = 15,75$$

Volume batu kapur mengisi 80% dari volume bin, maka :

$$\text{Volume bin} = \frac{\text{Volume batu kapur}}{80\%} = \frac{15,75}{80\%} = 19,69 \text{ ft}^3$$

$$\text{Asumsi : } L_s = 1,5 \text{ d}$$

$$\text{Volume bin} = \frac{\pi \cdot di^3}{24 \cdot \text{tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi}{4} di^2 L_s$$

$$19,69 \text{ ft}^3 = \frac{\pi di^3}{24 \text{ tg}30^\circ} + \frac{\pi}{4} di^2 \cdot 1,5 \text{ di}$$

$$19,69 \text{ ft}^3 = 0,838 di^3 + 1,1775 di^3$$

$$19,69 \text{ ft}^3 = 2,0155 di^3$$

$$di^3 = 9,7687 \text{ ft}^3$$

$$di = 2,1 \text{ ft} = 25,65 \text{ in}$$

Menentukan tekanan design (Pi)

Volume batu kapur dalam shel = Volume batu kapur - Volume conis

$$\begin{aligned}
 &= 15,75 - \frac{\pi \cdot 2,1^2}{24 \cdot \text{tg}30^\circ} \\
 &= 15,75 - 2,0 \\
 &= 13,70 \text{ ft}^3 \\
 \text{Tinggi liquida dalam shel} &= \frac{\text{Volume batu kapur dalam shell}}{1/4 \cdot \pi \cdot d_i^2} \\
 &= \frac{13,70}{1/4 \pi \cdot 2,1^2} = 3,82 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tekanan hidrostatik (Ph)} &= \frac{\rho (H-1)}{144} = \frac{169,63 (3,8 - 1)}{144} \\
 &= 3,32 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tekanan design (Pi)} = 3,3 + 15 = 18,02 \text{ psig}$$

- Menentukan tebal silinder

Bahan : Stainless steel SA 240 Grade M Type 316

fallowble : 18750 psi

Faktor korosi (C) : 1/16 in

type pengelasan (E) : double welded butt joint 0,8

Tekanan design (Pi) = 18,02 psig

$$\begin{aligned}
 t_s &= \frac{p_i \cdot d_i}{2(f \cdot E - 0,6 \cdot p_i) + C} \\
 &= \frac{18,02 \times 25,65}{2(18750 \times 0,8 - 0,6 \times 18,02)} + \frac{1}{16} \\
 &= 0,0154 + \frac{16}{16} \\
 &= \frac{0,25}{16} = \frac{3}{16}
 \end{aligned}$$

Standarisasi do :

$$\begin{aligned}
 d_o &= d_i + 2 t_s \\
 &= 25,65 + 2 \times 3/16 \\
 &= 26,03 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Dengan pendekatan ke atas maka di dapatkan harga do = 28 dari tabel 5-7 Brownell and young, hal 89 di dapatkan harga :

$$d_o = 28$$

$$i_c r = 1 \frac{3}{4}$$

$$r = 26$$

Menentukan harga di baru :

$$\begin{aligned}
 d_i &= d_o - 2 t_s \\
 &= 28 - 2 \times 3/16 \\
 &= 27,63 \text{ in} = 2,3 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Cek hubungan Ls dengan di :

$$\text{Vuolume Bin} = \frac{\pi \cdot d_i^2}{24 \cdot \text{tg}30^\circ} + \frac{\pi}{4} d_i^2 L_s$$

$$\begin{aligned}
 19,69 &= \frac{\pi \cdot 2,3^3}{24 \cdot \operatorname{tg} 30^\circ} + \frac{\pi}{4} \cdot 2,3^2 \cdot L_s \\
 &= 0,25 + 4,2 \cdot L_s \\
 L_s &= 4,7 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

- Menentukan tebal tutup bawah berbentuk conis

$$\begin{aligned}
 \text{thb} &= \frac{\text{Pi} \cdot d_i}{2 \cdot (\text{f.E} - 0,6 \cdot \text{Pi}) \cdot \cos 30^\circ} + C \\
 &= \frac{18,02 \cdot 27,63}{2 \cdot 18750 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 18,02 \cdot \cos 30^\circ} + \frac{1}{16} \\
 &= 0,0192 + \frac{16}{16} \\
 &= \frac{0,3}{16} = \frac{3}{16}
 \end{aligned}$$

- Menentukan tinggi bin

$$\text{Tinggi shell} = L_s = 4,7 \text{ ft}$$

Tinggi tutup bawah berbentuk conis

$$\begin{aligned}
 \operatorname{tg} 1/2\alpha &= \frac{1/2 \cdot d_i}{h} \\
 h &= \frac{1/2 \cdot d}{\operatorname{tg} 1/2\alpha} = \frac{1/2 \cdot 2,3}{\operatorname{tg} 30^\circ} \\
 h &= 0,2 \text{ ft} = 2,2 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi bin} &= \text{Tinggi shell} + \text{Tinggi tutup bawah} \\
 &= 2,3 + 0,2 \\
 &= 2,5 \text{ ft} = 29,77 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : Bin batu kapur

Type : silinder tegak tutup bawah berbentuk conis dengan sudut 60°

Dimensi : $d_i = 27,63 \text{ in}$

$$\text{thb} = 3/16 \text{ in}$$

$$\text{ts} = 3/16 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi tutup bawah} = 0,2 \text{ ft} = 2,2 \text{ in}$$

$$\text{Tinggi bin} = 2,5 \text{ ft} = 30 \text{ in}$$

Bahan konstruksi : 1 Buah

4. Tangki pelarut CaCO_3 (M-120)

Fungsi : Untuk melarutkan CaCO_3 dengan menggunakan H_2O

Type : Silinder vertikal berpengaduk dengan torispherical head closures dan torinoconical

$$\text{Kapasitas} = 7.573,28 \text{ kg/jam} = 16699 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Tekanan} = 1,00 \text{ atm} = 14,7 \text{ psi}$$

$$\text{Laju Alir Massa} = 8.936,47 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Suhu Operasi} = 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

Asumsi

Waktu Tinggal = 1 jam

	Densitas (kg/m ³)	Massa (Kg/jam)	xi	xi . pi	
ρ	CaCO ₃	2710,00	7.413,49	0,98	2.652,82
ρ	MgCO ₃	3307,00	71,95	0,01	31,42
ρ	SiO ₂	2334,00	27,26	0,00	8,40
ρ	Al ₂ O ₃	3982,60	12,87	0,00	6,77
ρ	Fe ₂ O ₃	5179,80	18,93	0,00	12,95
ρ	CaSO ₄	2320,00	6,06	0,00	1,86
ρ	H ₂ O	995,65	22,72	0,00	2,99
Total			7.573,28	1,00	2.717,20

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ campuran} &= \frac{\sum xi \cdot pi}{\sum xi} \\
 &= \frac{2717,2}{1,00} \\
 &= 2717,2 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 169,63 \text{ lb/ft}^3
 \end{aligned}$$

- Perhitungan

Menentukan diameter tangki

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan CaCO}_3 &= \frac{16699,09 \text{ lb/jam}}{169,63} \times 1 \text{ jam} \\
 &= 98,44 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Volume larutan CaCO₃ mengisi 80% dari volume tangki pelarut maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tangki} &= \frac{\text{volume larutan CaCO}_3}{80\%} \\
 &= \frac{98,44}{80\%} \\
 &= 123,06 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Asumsi : Ls

Volume tangki

$$\begin{aligned}
 &= \text{Volume tutup atas} + \text{volume silinder} + \text{volume tutup bawah} \\
 123,06 \text{ ft}^3 &= 0,0847 d^3 + \frac{1}{4} \pi di^3 \cdot 1,5 + \frac{\pi di^3}{24} \text{tg } 1/2 \alpha \\
 123,06 &= 0,0847 d^3 + 1,1775 d^3 + 0,2266 d^3 \\
 123,06 &= 1,4888 d^3 \\
 di^3 &= 82,65 \\
 di &= 4,36 \text{ ft} \\
 &= 52,27 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan tinggi shell

$$\begin{aligned}
 Ls &= 1,5 \text{ di} \\
 &= 1,5 \times 52
 \end{aligned}$$

$$= 78,41 \text{ in}$$

Menentukan tinggi liquid dalam shell

$$L_{Ls} = \frac{V_{\text{liquid}}}{0,785 \times d_i^2} = \frac{98,44}{0,785 \times 18,97} = 6,6 \text{ ft} = 79,31 \text{ in}$$

Menentukan tekanan design (Pi)

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho (H-1)}{144} = \frac{169,63 (6,6 - 1)}{144} = 6,61 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} \text{Tekanan design (pi)} &= 14,7 + 6,61 \\ &= 21,31 \text{ psi} \\ &= 6,61 \text{ psig} \end{aligned}$$

Menentukan tebal silinder (ts)

$$\begin{aligned} ts &= \frac{P_i \cdot d_i}{2 (f \cdot E - 0,6 P_i)} + \frac{1}{16} \\ &= \frac{6,61 \times 52,27}{2 (18750 \times 0,8 - 0,6 \times 6,6)} + \frac{1}{16} \\ &= \frac{345,60}{29992} + \frac{1}{16} \\ &= 0,01 + 0,1 \\ &= 0,07 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi :

$$\begin{aligned} do &= di + 2 ts \\ &= 52,27 + 0,15 \\ &= 52,42 \text{ in} \end{aligned}$$

dengan pendekatan ke atas maka didapat harga $do = 52$, berdasarkan tabel 5.7 pg. 91 brownell (1959), pada OD standart 54 in, maka diperoleh:

$$\begin{aligned} do &= 54 \\ icr &= 3 \frac{1}{4} \\ r &= 54 \end{aligned}$$

Standarisasi di baru dari brownell and young hal 91:

$$\begin{aligned} di &= do - 2 ts \\ &= 54 - 0,148 \\ &= 53,85 \text{ in} \end{aligned}$$

Menentukan tebal tutup atas berbentuk standart dished (tha)

$$\begin{aligned} tha &= \frac{0,885 P_i d_i}{f \cdot E - 0,1 P_i} + \frac{1}{16} \\ &= \frac{0,885 \times 6,6 \times 53,85}{18750 \times 0,8 - 0,1 \times 6,6} + \frac{1}{16} \\ &= \frac{315,10}{14999} + \frac{1}{16} \\ &= 0,02 + 0,1 \\ &= 0,08 \text{ in} \end{aligned}$$

Menentukan tebal tutup bawah berbentuk conis (thb)

$$thb = \frac{P_i \cdot d_i}{2 (f \cdot E - 0,6 P_i) \cos 1/2 \alpha} + \frac{1}{16}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{6,61 \times 53,85}{2 (18750 \times 0,8 - 0,6 \times 6,61) \cos 60} + \frac{1}{16} \\
&= \frac{356,0424}{29996,03} + \frac{1}{16} \\
&= 0,012 + 0,06 \\
&= 0,074 \text{ in}
\end{aligned}$$

Menentukan tinggi tangki

Tinggi tutup atas berbentuk standart dished

$$\begin{aligned}
h_a &= 0,169 \times d_i \\
&= 0,169 \times 53,85 \\
&= 9,10 \text{ in}
\end{aligned}$$

Tinggi tutup bawah berbentuk conis

$$\begin{aligned}
h_b &= \frac{1/2 d_i}{\text{tg } 1/2 \alpha} \\
&= \frac{1/2 \times 53,85}{\text{tg } 60} \\
&= 11,22 \text{ in}
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tinggi tangki} &= h_a + L_s + h_b \\
&= 9,1 + 78,41 + 11,22 \\
&= 98,73 \text{ in}
\end{aligned}$$

Perencanaan Pengaduk

Digunakan pengaduk jenis turbine with 6 blades at 45° angle

Data-data jenis pengaduk :

$$\begin{aligned}
D_t/D_i &= 3 \\
Z_i &= 0,8 - 1,3 \\
Z_l &= 2,7 - 3,9 \\
W/D_i &= 0,2
\end{aligned}$$

Dimana :

$$\begin{aligned}
D_t &= \text{Diameter dalam tangki} \\
D_i &= \text{Diameter impeller} \\
Z_i &= \text{tinggi impeller dari dasar tangki} \\
Z_l &= \text{tinggi zat cair dalam silinder} \\
W &= \text{lebar baffle impeller}
\end{aligned}$$

Menentukan diameter impeller

$$D_t/D_i = 3$$

$$D_i = \frac{D_t}{3} = \frac{54}{3} = 18 \text{ in} = 0,5 \text{ m}$$

Menentukan tinggi impeller dari dasar tangki

$$\begin{aligned}
Z_i/D_i &= 0,75 - 1,3 \quad \text{Diambil} = 1 \\
Z_i &= 1 \times D_i = 1 \times 18 = 18 \text{ in}
\end{aligned}$$

Menentukan panjang impeller

$$\frac{L}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$L = \frac{1}{3} D_i = 6 \text{ in}$$

Menentukan lebar impeller

$$\frac{W}{D_i} = 0,2$$

$$W = 0,2 \times D_i = 3,1 \text{ in}$$

Menentukan daya pengaduk

motor penggerak = 200 - 250 Diambil $V = 240$

$$V = \pi \times D_i^2 \times n$$

$$N_{Re} = \frac{n \times D_i^2 \times \rho}{\mu}$$

$$P = \frac{\Phi \times \rho \times n^3 \times D_i^5}{g_c}$$

Dimana :

n = Putaran pengaduk (rpm)

D_i = Diameter impeller (m)

P = Daya motor (HP)

V = Motor penggerak

ρ = 169,63 lb/ft³

μ = 5 cp = 0,202 lb.ft.menit

(Geankoplis, hal 876)

g_c = 3,2 lb.ft/det².lbf = 115920 lb.ft/men².lbf

Φ = 4

(Brown, hal 507)

Sehingga :

$$n = \frac{V}{\pi \times D_i} = \frac{240}{\pi \times 0,5} = 167,18 \text{ rpm} = 2,8 \text{ rps}$$

$$N_{Re} = \frac{2,8 \times 0,5 \times 324 \times 169,63}{0,202}$$

$$N_{Re} = 346604,4 > 2100 \text{ (Aliran turbulen)}$$

$$P = \frac{4 \times 169,63 \times 2,8^3 \times 1889568}{115920}$$

$$= 239257 \text{ lb.ft/menit} = 3995,59 \text{ lb.ft/detik}$$

$$= 7,37 \text{ Hp}$$

Diterapkan: η motor = 80%

η pengaduk = 60%

Maka:

$$P = \frac{7,37}{0,8} \times \frac{7,37}{0,6} = 113,02 \text{ Hp} = 113 \text{ Hp}$$

Spesifikasi alat:

Nama : Tangki pelarut CaCO₃

Jenis : Silinder tegak dengan tutup bawah berbentuk standart

dished tutup atas berbentuk standart dished dan dilengkapi pengaduk

Dimensi vessel : $do = 52 \text{ in}$; $di = 53,85 \text{ in}$; $ts = 0,07 \text{ in}$
 $tha = 0,08 \text{ in}$; $thb = 0,074 \text{ in}$; $ha = 9,10 \text{ in}$
 $hb = 11,22 \text{ in}$; tinggi tangki = $98,73 \text{ in}$

Bahan : Stainless steel SA 240 Grade M Type 316

Jumlah : 1 buah

Jenis pengaduk : axial turbine with 6 blades at 45° angle

Dimensi pengaduk : $Di = 18 \text{ in}$; $Zi = 18 \text{ in}$
 $L = 6 \text{ in}$; $W = 3,06 \text{ in}$

Bahan pengaduk : Carbon steel SA 240 grade M type 316

5. Pompa (L-123)

Fungsi : untuk mempompa slurry dari tangki pelarut menuju ke reaktor

Type : Centrifugal Pump

- Dasar perhitungan

$$\text{Kapasitas} = 7.573,28 \text{ kg/jam} = 16699 \text{ lb/jam}$$

	Densitas (kg/m^3)	Massa(Kg/jam)	x_i	$x_i \cdot \rho_i$
ρ CaCO ₃	2710,00	7.413,49	0,98	2.652,82
ρ MgCO ₃	3307,00	71,95	0,01	31,42
ρ SiO ₂	2334,00	27,26	0,00	8,40
ρ Al ₂ O ₃	3982,60	12,87	0,00	6,77
ρ Fe ₂ O ₃	5179,80	18,93	0,00	12,95
ρ CaSO ₄	2320,00	6,06	0,00	1,86
ρ H ₂ O	995,65	22,72	0,00	2,99
Total		7.573,28	1,00	2.717,20

Sehingga:

$$\begin{aligned} \rho \text{ campuran} &= \frac{\sum x_i \cdot \rho_i}{\sum x_i} \\ &= \frac{2717,20}{1,00} \\ &= 2717,20 \text{ kg/m}^3 \\ &= 169,63 \text{ lb/ft}^3 \\ \mu &= 0,0005 \text{ kg/ms} \end{aligned}$$

Perhitungan :

Menghitung rate volumetrik

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} = \frac{16699}{169,63} = 98,44 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,0273 \text{ ft}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

(Peter and Timmerhaus pers, 15 hal 496)

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times 0,0273^{0,45} \times 169,63^{0,13}$$

$$1,50 \text{ in}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 1,5 \text{ in sch 40}$$

(Geankoplis App A.5 hal 892)

Sehingga diperoleh harga :

$$\text{OD} = 1,9 \text{ in} = 0,198 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 1,61 \text{ in} = 0,172 \text{ ft}$$

$$A = 0,0141 \text{ ft}^3$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0273}{0,0141} = 1,93 \text{ ft/detik}$$

$$N_{Re} = \frac{D \times V \times \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0,172 \times 1,93 \times 169,63}{0,0005}$$

$$= 112849,51 \text{ (aliran turbulen)}$$

Digunakan pipa yang terbuat dari commercial steel

Sehingga diperoleh harga (Geankoplis hal 88)

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000046 \text{ ft}$$

$$\varepsilon = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,172} = 0,000267 \text{ ft}$$

$$f = 0,006$$

Menentukan panjang pipa

Direncanakan panjang pipa 200 ft

No	Nama	Jumlah	Kf	ΣKf
1	Elbow 90°	5	0,75	3,75
2	Coupling	7	0,04	0,28
3	Gate valve	1	4,5	4,5
4	Cglobe valve	1	6	6
Total				14,53

$$K_{ex} = \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2 = (1-0)^2 = 1$$

$$K_e = 0,55 \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2 = 0,55 (1-0)^2 = 0,55$$

Menentukan friksi pada pipa :

(Geankoplis pers. 2.10 hal 94)

$$\Sigma F = \left(4 \times f \times \frac{\Delta L}{D} + K_e + K_f\right) \times \frac{V^2}{2}$$

$$\Sigma F = 4 \times 0,006 \times \frac{200}{0,172} + 1 + 0,55 + 14,53 \times \frac{1,9^2}{2}$$

84,65 lb.ft/lbm

Menentukan daya pipa

(Geankoplis pers. 2.7 hal 97)

$$\left(\frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{g_c} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 32 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta V = 1,878 \text{ ft/detik}$$

Sehingga diperoleh harga :

$$-W_s = \frac{1,878^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{32 \times 9,8}{32,174} + \frac{0}{169,63} + 84,65$$

$$= 94,451$$

$$\text{WHP} = \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{94,451 \times 0,0273 \times 169,63}{550}$$

$$= 0,7966$$

$$\text{Kapasitas} = \frac{16699 \text{ lb/jam} \times 7,481}{60 \text{ meni} \times 62,93 \text{ lb/ft}^3} = 33,086 \text{ gpm}$$

(Peter and Timmerhaus fig 14-37 hal 520)

$$\eta_{\text{motor}} = 82\%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{WHP}}{\eta_{\text{motor}}} = \frac{0,797}{82\%} = 0,97 = 1 \text{ HP}$$

Spesifikasi alat :

Nama = Pompa

Type = Centrifugal pump

Dimensi pipa : $d_o = 1,9 \text{ in}$

$d_i = 1,61 \text{ in}$

$A = 0,0141 \text{ ft}^3$

Daya pompa = 1 HP

kapasitas = 33,086 gpm

6. Tangki Penampung H_2SO_4 (F-111)

Fungsi : Untuk tempat menyimpan dan penyediaan larutan H_2SO_4

Type : Silinder tegak dengan tutup atas standart dished

Bahan konstruksi : *High Alloy Steel SA- 240 grade M type 316*

Allowable stress (f) : 18750

Type pengelasan : *Double Welding Butt Join*

Faktor korosi (c) : 0,0625

Faktor pengelasan	:	0,8
Waktu tinggal	:	7 hari
Kapasitas	:	7.573,28 kg/jam = 16699 lb/jam
Jumlah storage	:	1 buah
Suhu Operasi	:	30 °C
Tekanan Operasi	:	1 atm = 14,70 psia

Densitas (kg/m ³)		Massa(Kg/jam)	xi	xi . pi	
ρ	H ₂ SO ₄	1830,00	7.573,28	0,98	1.793,40
ρ	H ₂ O	995,65	154,56	0,02	20,32
Total		7.727,84	1,00	1.813,72	

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{campuran}} &= \frac{\sum x_i \cdot \rho_i}{\sum x_i} \\
 &= \frac{1813,7}{1,00} \\
 &= 1813,0 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 113,18 \text{ lb/ft}^3
 \end{aligned}$$

Menentukan rate bahan (V₁)

$$\text{Rate volume H}_2\text{SO}_4 = \frac{m}{\rho} = \frac{7.727,84}{113,18} = 68,28 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

Volume H₂SO₄ selama 7 hari

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= 68,28 \text{ ft}^3/\text{jam} \times 7 \times 24 \text{ jam} \\
 &= 11471 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Menentukan volume tangki (V_T)

Asumsi : H₂SO₄ pada storage mengisi 80% dari volume total storage sehingga ruang kosong sebesar 20%

$$\begin{aligned}
 V_T &= V_{\text{ruang kosong}} + V_{\text{berisi}} \\
 V_T &= 20\% V_{\text{ruang kosong}} + 11471 \text{ ft}^3 \\
 80\% V_T &= 11471 \text{ ft}^3 \\
 V_T &= 14339 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Menentukan dimensi tangki (D_T)

Perbandingan tinggi silinder (L_s) dengan diameter tangki (D_T) adalah

$$\begin{aligned}
 L_s &= 1,5 D_T \quad (\text{Ulirch,1984}) \\
 V_T &= V_{\text{silinder}} + V_{\text{dished}} \quad (\text{Brownell and Young, 1959}) \\
 V_T &= \left(\frac{\pi}{4} D_T^2 L_s \right) + (0,0847 D_T^3)
 \end{aligned}$$

$$14339 \text{ m}^3 = (0,25 \times 3,1 \times D_T^2 \times ((1,5) D_T) + (0,0847 D_T^3))$$

$$14339 \text{ m}^3 = (1,1775 D_T^3) + (0,0847 D_T^3)$$

$$14339 D_T^3 = 1,2622 \text{ ft}^3$$

$$D_T^3 = 11359,96 \text{ ft}^3$$

$$D_T = 22,48 \text{ ft}$$

$$D_T = 269,7575 \text{ in}$$

$$H = h_a + L_s$$

Dimana :

H : Tinggi tangki storage (ft)

Ls : Tinggi silinder (ft)

$$h_a = 0,169 \times D_T \quad (\text{Brownell and Young, 1959})$$

$$= 0,169 \times 22,48 \text{ ft}$$

$$= 3,80 \text{ ft}$$

$$= 45,589 \text{ in}$$

Perbandingan tinggi silinder (Ls) dengan diameter tangki (D_T) adalah (Ls/D_T) sehingga Ls/D = 1,5

$$L_s = 0,4 \times D_T$$

$$= 0,4 \times 22,48 \text{ ft}$$

$$= 8,99 \text{ ft}$$

$$= 107,90 \text{ in}$$

Dari perhitungan diatas maka didapatkan tinggi tangki sebagai berikut:

$$H = h_a + L_s$$

$$= 3,80 + 8,99$$

$$= 12,79 \text{ ft} = 3,90 \text{ m} = 153,59 \text{ in}$$

Menentukan tinggi liquida (L_{ls})

$$V_L = 0,3 \times \pi \times D_T^2 \times L_{ls}$$

$$11470,84 \text{ ft}^3 = 0,3 \times 3,1 \times 1278,99^2 \times L_{ls}$$

$$L_{ls} = 0,200807 \text{ in}$$

Menentukan Tebal silinder (T_s)

Dalam merancang tebal silinder didasarkan oleh kondisi operasi seperti tekanan operasi dari liquida itu sendiri, maka dasar perancangan pada tekanan 1 atm = 14,696 psia

$$P_i = P_{\text{operasi}} + P_{\text{hidrostatik}}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \frac{(p \times g \times L_{ls})}{144 \times 32,174}$$

$$= \frac{113,18 \times 32,174 \times 0,2008}{144 \times 32,174}$$

$$= 0,1578$$

$$P_i = 0,1578 + 14,696$$

$$= 14,854 \text{ psig}$$

Tekanan operasi pada tangki sudah ditetapkan maka tebal silinder dapat dirancang dimana dasar perancangannya adalah sebagai berikut :

Tipe pengelasan : Double Welding Butt Joint

Allowable stress (f) : 18750

Faktor pengelasan (E) : 0,8

Faktor korosi (C) : 0,0625 in

(Brownell and Young,1959)

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{P_i \times D_T}{2 ((f \times E) - (0,6 \times P_i))} + 0,0625 \\ &= \frac{14,854 \times 269,76}{2 \times (18750 \times 0,8) - (0,6 \times 14,854)} + 0,0625 \\ &= 0,1336 + 0,0625 \\ &= 0,1961 \text{ in} \end{aligned}$$

Menentukan tebal tutup atas (tha)

$$\begin{aligned} t_{ha} &= \frac{0,855 \times P_i \times D_T}{(f \times E) - (0,1 \times P_i)} + C \\ &= \frac{0,855 \times 14,85 \times 269,76}{18750 \times 0,8 - 0,1 \times 14,854} + 0,0625 \\ &= 0,080073 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi Alat :

Nama : Tangki penampung H₂SO₄

Volume tangki : 14339 ft³

Tinggi tangki : 153,59 in

Tebal silinder : 0,1961 in

Tinggi silinder : 107,90 in

Tebal tutup atas : 0,08 in

Jumlah : 1 buah

7. Pompa (L-112)

Fungsi : untuk mempompa larutan H₂SO₄ menuju ke tangki pelarut

Type : Centrifugal Pump

- Dasar perhitungan

$$\text{Kapasitas} = 7.573,28 \text{ kg/jam} = 16699 \text{ lb/jam}$$

	Densitas (kg/m ³)	Massa(Kg/jam)	xi	xi . pi
ρ H ₂ SO ₄	1830,00	7.573,28	0,98	1.793,40
ρ H ₂ O	995,65	154,56	0,02	19,91
Total	2825,65	7.727,84	1,00	1.813,31

Sehingga:

$$\begin{aligned}\rho \text{ campuran} &= \frac{\sum x_i \cdot \rho_i}{\sum x_i} \\ &= \frac{1813,31}{1,00} \\ &= 1813,31 \text{ kg/m}^3 \\ &= 113,2 \text{ lb/ft}^3 \\ \mu &= 1,1 \text{ cp} = 0,0008 \text{ lb/ft.detik}\end{aligned}$$

Perhitungan :

Menghitung rate volumetrik

$$\begin{aligned}Q &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} = \frac{16699}{113,2} = 147,52 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,041 \text{ ft}^3/\text{detik}\end{aligned}$$

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

(Peter and Timmerhaus pers, 15 hal 496)

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times 0,041^{0,45} \times 113,2^{0,13}$$

1,71 in

$$\text{Standarisasi ID} = 2 \text{ in sch 40}$$

(Geankoplis App A.5 hal 892)

Sehingga diperoleh harga :

$$\text{OD} = 2,375 \text{ in} = 0,198 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 2,067 \text{ in} = 0,172 \text{ ft}$$

$$A = 0,0233 \text{ ft}^3$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,041}{0,0233} = 1,76 \text{ ft/detik}$$

$$\begin{aligned}N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,172 \times 1,76 \times 113,2}{0,0008} \\ &= 42802,90 \text{ (aliran turbulen)}\end{aligned}$$

Digunakan pipa yang terbuat dari commercial steel

Sehingga diperoleh harga

(Geankoplis hal 88)

$$\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000046 \text{ ft}$$

$$\epsilon = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,172} = 0,000267 \text{ ft}$$

$$D = 0,172$$

$$f = 0,006$$

Menentukan panjang pipa

Direncanakan panjang pipa 200 ft

No	Nama	Jumlah	Kf	Σ Kf
1	Elbow 90°	5	0,75	3,75

2	Coupling	7	0,04	0,28
3	Gate valve	1	4,5	4,5
4	Cglobe valve	1	6	6
Total				14,53

$$K_{ex} = \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2 = (1-0)^2 = 1$$

$$K_e = 0,55 \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2 = 0,55 (1-0)^2 = 0,55$$

Menentukan friksi pada pipa :

(Geankoplis pers. 2.10 hal 94)

$$\Sigma F = \left(4 \times f \times \frac{\Delta L}{D} + K_e + K_f\right) \times \frac{V^2}{2}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F &= 4 \times 0,006 \times \frac{200}{0,172} + 1 + 0,55 + 14,53 \times \frac{1,8^2}{2} \\ &= 84,65 \text{ lb.ft/lbm} \end{aligned}$$

Menentukan daya pipa

(Geankoplis pers. 2.7 hal 97)

$$\left(\frac{\Delta V^2}{2 \cdot a \cdot gc}\right) + \left(\frac{\Delta Z}{gc}\right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho}\right) + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 32 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta V = 1,878 \text{ ft/detik}$$

Sehingga diperoleh harga :

$$\begin{aligned} -W_s &= \frac{1,878^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{32 \times 9,8}{32,174} + \frac{0}{113,2} + 84,65 \\ &= 94,451 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WHP} &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{94,451 \times 0,041 \times 113,2}{550} \\ &= 0,7966 \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = \frac{16699 \text{ lb/jam} \times 7,481}{60 \text{ meni} \times 62,93 \text{ lb/ft}^3} = 33,086 \text{ gpm}$$

(Peter and Timmerhaus fig 14-37 hal 520)

$$\eta \text{ motor} = 82\%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{WHP}}{\eta \text{ motor}} = \frac{0,797}{82\%} = 0,97 = 1 \text{ HP}$$

Spesifikasi alat :

$$\text{Nama} = \text{Pompa}$$

$$\text{Type} = \text{Centrifugal pump}$$

$$\text{Dimensi pipa : } d_o = 2,375 \text{ in}$$

$$d_i = 2,067 \text{ in}$$

$$A = 0,0233 \text{ ft}^3$$

Daya pompa = 1 HP
 kapasitas = 33,086 gpm

8. Tangki Pelarut H₂SO₄ (M-121)

Fungsi : Untuk melarutkan H₂SO₄ dengan menggunakan H₂O

Type : Silinder vertikal berpengaduk dengan torispherical head closures dan torinoconical

Kapasitas = 7.727,84 kg/jam = 17040 lb/jam

Tekanan = 1,00 atm = 14,7 psi

Laju Alir Massa = 0,00 kg/jam

Suhu Operasi = 30 °C

Asumsi

Waktu Tinggal = 1 jam

Densitas (kg/m ³)		Massa(Kg/jam)	xi	xi . pi
ρ	H ₂ SO ₄	1830,00	0,50	915,00
ρ	H ₂ O	995,65	0,50	497,83
Total		2825,65	1,00	1.412,83

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 \rho \text{ campuran} &= \frac{\sum xi \cdot \rho_i}{\sum xi} \\
 &= \frac{1412,83}{1,00} \\
 &= 1412,83 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 88,20 \text{ lb/ft}^3
 \end{aligned}$$

- Perhitungan

Menentukan diameter tangki

$$\begin{aligned}
 \text{Volume larutan H}_2\text{SO}_4 &= \frac{17039,888 \text{ lb/jam} \times 1 \text{ jam}}{88,20} \\
 &= 193,20 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Volume larutan H₂SO₄ mengisi 80% dari volume tangki pelarut maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tangki} &= \frac{\text{volume larutan H}_2\text{SO}_4}{80\%} \\
 &= \frac{193,20}{80\%} \\
 &= 241,50 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Asumsi : Ls

Volume tangki

$$= 1,5 \text{ di}$$

$$= \text{Volume tutup atas} + \text{volume silinder} + \text{volume tutup bawah}$$

$$\begin{aligned}
241,50 \text{ ft}^3 &= 0,0847 d^3 + \frac{1}{4} \pi di^3 \cdot 1,5 + \frac{\pi di^3}{24} \operatorname{tg} 0,5 \alpha \\
241,50 &= 0,0847 d^3 + 1,1775 d^3 + 0,2266 d^3 \\
241,50 &= 1,4888 d^3 \\
di^3 &= 162,21 \\
di &= 5,45 \text{ ft} \\
&= 65,44 \text{ in}
\end{aligned}$$

Menentukan tinggi shell

$$\begin{aligned}
L_s &= 1,5 di \\
&= 1,5 \times 65 \\
&= 98,17 \text{ in}
\end{aligned}$$

Menentukan tinggi liquid dalam shell

$$L_{Ls} = \frac{V_{\text{liquid}}}{0,785 \times di^2} = \frac{193,20}{0,785 \times 29,74} = 8,3 \text{ ft} = 99,296 \text{ in}$$

Menentukan tekanan design (Pi)

$$\text{Tekanan hidrostatik} = \frac{\rho(H-1)}{144} = \frac{88,20 (8,3 - 1)}{144} = 4,46 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned}
\text{Tekanan design (pi)} &= 14,7 + 4,46 \\
&= 19,16 \text{ psi} \\
&= 4,46 \text{ psig}
\end{aligned}$$

Menentukan tebal silinder (ts)

$$\begin{aligned}
ts &= \frac{Pi \cdot di}{2 (f \cdot E - 0,6 Pi)} + \frac{1}{16} \\
&= \frac{4,46 \times 65,44}{2 (18750 \times 0,8 - 0,6 \times 4,5)} + \frac{1}{16} \\
&= \frac{291,86}{29995} + \frac{1}{16} \\
&= 0,01 + 0,1 \\
&= 0,07 \text{ in}
\end{aligned}$$

Standarisasi :

$$\begin{aligned}
do &= di + 2 ts \\
&= 65,44 + 0,14 \\
&= 65,59 \text{ in}
\end{aligned}$$

dengan pendekatan ke atas maka didapat harga $do = 65$, berdasarkan tabel 5.7 pg. 91 brownell (1959), pada OD standart 66 in, maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
do &= 66 \\
icr &= 4 \\
r &= 66
\end{aligned}$$

Standarisasi di baru dari brownell and young hal 91:

$$\begin{aligned}
di &= do - 2 ts \\
&= 66 - 0,1445 \\
&= 65,86 \text{ in}
\end{aligned}$$

Menentukan tebal tutup atas berbentuk standart dished (tha)

$$\begin{aligned}
 \text{tha} &= \frac{0,885 \text{ Pi di}}{\text{f.E} - 0,1 \text{ Pi}} + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{0,885 \times 4,5 \times 65,86}{18750 \times 0,8 - 0,1 \times 4,5} + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{259,92}{15000} + \frac{1}{16} \\
 &= 0,02 + 0,1 \\
 &= 0,08 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal tutup bawah berbentuk conis (thb)

$$\begin{aligned}
 \text{thb} &= \frac{\text{Pi.di}}{2 (\text{f.E} - 0,6 \text{ Pi}) \cos 1/2 \alpha} + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{4,46 \times 65,86}{2 (18750 \times 0,8 - 0,6 \times 4,5) \cos 60} + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{293,6968}{29997,32} + \frac{1}{16} \\
 &= 0,010 + 0,06 \\
 &= 0,072 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan tinggi tangki

Tinggi tutup atas berbentuk standart dished

$$\begin{aligned}
 \text{ha} &= 0,169 \times \text{di} \\
 &= 0,169 \times 65,86 \\
 &= 11,13 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Tinggi tutup bawah berbentuk conis

$$\begin{aligned}
 \text{hb} &= \frac{1/2 \text{ di}}{\text{tg } 1/2 \alpha} \\
 &= \frac{1/2 \times 65,86}{\text{tg } 60} \\
 &= 13,72 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Tinggi tangki = ha + Ls + hb

$$\begin{aligned}
 &= 11 + 98,17 + 13,72 \\
 &= 123,02 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Perencanaan Pengaduk

Digunakan pengaduk jenis turbine with 6 blades at 45° angle

Data-data jenis pengaduk :

$$\text{Dt/Di} = 3$$

$$\text{Zi} = 0,8 - 1,3$$

$$\text{Zl} = 2,7 - 3,9$$

$$\text{W/Di} = 0,2$$

Dimana :

$$\text{Dt} = \text{Diameter dalam tangki}$$

$$\text{Di} = \text{Diameter impeller}$$

Zi = tinggi impeller dari dasar tangki

Zl = tinggi zat cair dalam silinder

W = lebar baffle impeller

Menentukan diameter impeller

$$Dt/Di = 3$$

$$Di = \frac{Dt}{3} = \frac{66}{3} = 22 \text{ in} = 0,6 \text{ m}$$

Menentukan tinggi impeller dari dasar tangki

$$Zi/Di = 0,75 - 1,3 \quad \text{Diambil} = 1$$

$$Zi = 1 \times Di = 1 \times 22 = 22 \text{ in}$$

Menentukan panjang impeller

$$\frac{L}{Dt} = \frac{1}{3}$$

$$L = \frac{1}{3} Di = 7,3 \text{ in}$$

Menentukan lebar impeller

$$\frac{W}{Di} = 0,2$$

$$W = 0,2 \times Di = 3,7 \text{ in}$$

Menentukan daya pengaduk

$$\text{motor penggerak} = 200 - 250 \quad \text{Diambil } V = 240$$

$$V = \pi \times Di^2 \times n$$

$$N_{Re} = \frac{n \times Di^2 \times \rho}{\mu}$$

$$P = \frac{\Phi \times \rho \times n^3 \times Di^5}{gc}$$

Dimana :

n = Putaran pengaduk (rpm)

Di = Diameter impeller (m)

P = Daya motor (HP)

V = Motor penggerak

$\rho = 88,20 \text{ lb/ft}^3$

$\mu = 5 \text{ cp} = 0,202 \text{ lb/ft.menit}$

(Geankoplis, hal 876)

$$gc = 3,2 \text{ lb.ft/det}^2.\text{lb} = 115920 \text{ lb.ft/men}^2.\text{lb}$$

$$\Phi = 4$$

(Brown, hal 507)

Sehingga :

$$n = \frac{V}{\pi \times Di} = \frac{240}{\pi \times 0,6} = 136,78 \text{ rpm} = 2,8 \text{ rps}$$

$$N_{Re} = \frac{2,8 \times 0,6 \times 484 \times 88,20}{0,202}$$

$$N_{Re} = 329041,9 > 2100 \text{ (Aliran turbulen)}$$

$$P = \frac{4 \times 88,20 \times 21,63 \times 5153632}{115920}$$

$$= 339298,6 \text{ lb.ft/menit} = 5666,29 \text{ lb.ft/detik}$$

$$= 10,45 \text{ Hp}$$

Diterapkan: η motor = 80%
 η pengaduk = 60%

Maka:

$$P = \frac{10,45 \times 10,45}{0,8 \times 0,6} = 227,3 \text{ Hp} = 227 \text{ Hp}$$

Spesifikasi alat:

- Nama : Tangki pelarut H₂SO₄
 Jenis : Silinder tegak dengan tutup bawah berbentuk standart tutup atas berbentuk standart dished dan dilengkapi pengaduk
 Dimensi vessel : do = 66 in ; di = 65,86 in ; ts = 0,07 in
 tha = 0,08 in ; thb = 0,072 in ; ha = 11,1 in
 hb = 13,72 in ; tingi tangki = 123,02 in
 Bahan : Stainless steel SA 240 Grade M Type 316
 Jumlah : 1 buah
 Jenis pengaduk : axial turbine with 6 blades at 45° angle
 Dimensi pengaduk : Di = 22 in ; Zi = 22 in
 L = 7,3333 in ; W = 3,74 in
 Bahan pengaduk : Carbon steel SA 240 grade M type 316

9. Pompa (L-122)

Fungsi : untuk memompa larutan H₂SO₄ menuju ke reaktor

Type : Centrifugal Pump

- Dasar perhitungan

$$\text{Kapasitas} = 7.727,84 \text{ kg/jam} = 17040 \text{ lb/jam}$$

Densitas (kg/m ³)		Massa(Kg/jam)	xi	xi . pi	
ρ	H ₂ SO ₄	1830,00	7.573,28	0,98	1.793,40
ρ	H ₂ O	995,65	7.573,28	0,98	975,74
Total		2825,65	15.146,57	1,96	2.769,14

Sehingga:

$$\rho \text{ campuran} = \frac{\sum xi \cdot pi}{\sum xi}$$

$$= \frac{2769,14}{1,96}$$

$$= 1412,83 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu = 88,2 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu = 1,1 \text{ cp} = 0,0008 \text{ lb/ft.detik}$$

Perhitungan :

Menghitung rate volumetrik

$$Q = \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} = \frac{17040}{88,2} = 193,20 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0537 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

(Peter and Timmerhaus pers, 15 hal 496)

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times 0,0537^{0,45} \times 88,2^{0,13}$$

$$1,87 \text{ in}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 2 \text{ in sch 40}$$

(Geankoplis App A.5 hal 892)

Sehingga diperoleh harga :

$$\text{OD} = 2,375 \text{ in} = 0,198 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 2,067 \text{ in} = 0,172 \text{ ft}$$

$$A = 0,0233 \text{ ft}^3$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,0537}{0,0233} = 2,30 \text{ ft/detik}$$

$$N_{\text{Re}} = \frac{D \times V \times \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0,172 \times 2,30 \times 88,2}{0,0008}$$

$$= 43676,43 \text{ (aliran turbulen)}$$

Digunakan pipa yang terbuat dari commercial steel

Sehingga diperoleh harga (Geankoplis hal 88)

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000046 \text{ ft}$$

$$\varepsilon = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,172} = 0,000267 \text{ ft}$$

$$f = 0,006$$

Menentukan panjang pipa

Direncanakan panjang pipa 200 ft

No	Nama	Jumlah	Kf	ΣKf
1	Elbow 90°	5	0,75	3,75
2	Coupling	7	0,04	0,28
3	Gate valve	1	4,5	4,5
4	Cglobe valve	1	6	6
Total				14,53

$$K = \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2 = (1 - 0)^2 = 1$$

$$K_e = 0,55 \left[1 - \frac{A_1}{A_2} \right]^2 = 0,55 (1-0)^2 = 0,55$$

Menentukan friksi pada pipa :

(Geankoplis pers. 2.10 hal 94)

$$\Sigma F = \left(4 \times f \times \frac{\Delta L}{D} + K_e + K_f \right) \times \frac{V^2}{2}$$

$$\Sigma F = 4 \times 0,006 \times \frac{200}{0,172} + 1 + 0,55 + 14,53 \times \frac{2,3^2}{2}$$

$$84,65 \text{ lb.ft/lbm}$$

Menentukan daya pipa

(Geankoplis pers. 2.7 hal 97)

$$\left(\frac{\Delta V^2}{2 \cdot g_c} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{g_c} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 32 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta V = 1,878 \text{ ft/detik}$$

Sehingga diperoleh harga :

$$-W_s = \frac{1,878^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{32 \times 9,8}{32,174} + \frac{0}{88,2} + 84,65$$

$$= 94,451$$

$$\text{WHP} = \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{94,451 \times 0,0537 \times 88,2}{550}$$

$$= 0,8128$$

$$\text{Kapasitas} = \frac{17040 \text{ lb/jam} \times 7,481}{60 \text{ meni} \times 62,93 \text{ lb/ft}^3} = 33,761 \text{ gpm}$$

(Peter and Timmerhaus fig 14-37 hal 520)

$$\eta \text{ motor} = 82\%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{WHP}}{\eta \text{ motor}} = \frac{0,813}{82\%} = 0,99 = 1 \text{ HP}$$

Spesifikasi alat :

$$\text{Nama} = \text{Pompa}$$

$$\text{Type} = \text{Centrifugal pump}$$

$$\text{Dimensi pipa : } d_o = 2,375 \text{ in}$$

$$d_i = 2,067 \text{ in}$$

$$A = 0,0233 \text{ ft}^3$$

$$\text{Daya pompa} = 1 \text{ HP}$$

$$\text{kapasitas} = 33,761 \text{ gpm}$$

10. Reaktor (R-130)

Lihat BAB VI Perancangan Alat Utama
Dewi Anisatul Fitria NIM. 1914001

11. Pompa (L-131)

Fungsi : untuk mempompa larutan gypsum dari reaktor
 menuju ke rotary vacuum filter

Type : Centrifugal Pump

- Dasar perhitungan

$$\text{Kapasitas} = 24.083,04 \text{ kg/jam} = 53103 \text{ lb/jam}$$

	Densitas (kg/m ³)	Massa(Kg/jam)	xi	xi . pi	
ρ	CaSO ₄ .2H ₂ O	2615,50	12.113,64	0,5773	1509,86
ρ	CaCO ₃	2710,00	370,67	0,0177	47,87
ρ	MgCO ₃	3307,00	71,95	0,0034	11,34
ρ	SiO ₂	2334,00	27,26	0,0013	3,03
ρ	Al ₂ O ₃	3982,60	12,87	0,0006	2,44
ρ	Fe ₂ O ₃	5179,80	18,93	0,0009	4,67
ρ	CaSO ₄	2320,00	6,06	0,0003	0,67
ρ	H ₂ SO ₄	1830,00	671,33	0,032	58,55
ρ	H ₂ O	995,65	7.691,49	0,3665	364,94
	Total		20.984,20	1,00	2.003,38

Sehingga:

$$\begin{aligned} \rho \text{ campuran} &= \frac{\sum xi \cdot \rho_i}{\sum xi} \\ &= \frac{2003,38}{1,00} \\ &= 2003,38 \text{ kg/m}^3 \\ &= 125,07 \text{ lb/ft}^3 \\ \mu &= 1,1 \text{ cp} = 0,0008 \text{ lb/ft.detik} \end{aligned}$$

Perhitungan :

Menghitung rate volumetrik

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} = \frac{53103}{125,07} = 424,60 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,1179 \text{ ft}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

(Peter and Timmerhaus pers, 15 hal 496)

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times 0,1179^{0,45} \times 125,07^{0,13}$$

2,79 in

Standarisasi ID = 3 in sch 40

(Geankoplis App A.5 hal 892)

Sehingga diperoleh harga :

$$\text{OD} = 3,5 \text{ in} = 0,198 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 3,068 \text{ in} = 0,172 \text{ ft}$$

$$A = 0,0513 \text{ ft}^3$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,1179}{0,0513} = 2,30 \text{ ft/detik}$$

$$N_{\text{Re}} = \frac{D \times V \times \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0,172 \times 2,30 \times 125,07}{0,0008}$$

$$= 61821,41 \quad (\text{aliran turbulen})$$

Digunakan pipa yang terbuat dari commercial steel

Sehingga diperoleh harga (Geankoplis hal 88)

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000046 \text{ ft}$$

$$\varepsilon = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,172} = 0,000267 \text{ ft}$$

$$f = 0,006$$

Menentukan panjang pipa

Direncanakan panjang pipa 200 ft

No	Nama	Jumlah	Kf	ΣKf
1	Elbow 90°	5	0,75	3,75
2	Coupling	7	0,04	0,28
3	Gate valve	1	4,5	4,5
4	Globe valve	1	6	6
Total				14,53

$$K_{\text{ex}} = \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2 = (1-0)^2 = 1$$

$$K_e = 0,55 \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2 = 0,55 (1-0)^2 = 0,55$$

Menentukan friksi pada pipa :

(Geankoplis pers. 2.10 hal 94)

$$\Sigma F = \left(4 \times f \times \frac{\Delta L}{D} + K_e + K_f\right) \times \frac{V^2}{2}$$

$$\Sigma F = 4 \times 0,006 \times \frac{200}{0,172} + 1 + 0,55 + 14,53 \times \frac{2,3}{2}^2$$

$$84,65 \text{ lb.ft/lbm}$$

Menentukan daya pipa

(Geankoplis pers. 2.7 hal 97)

$$\left(\frac{\Delta V^2}{2 \cdot a \cdot gc}\right) + \left(\frac{\Delta Z}{gc}\right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho}\right) + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 32 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta V = 1,878 \text{ ft/detik}$$

Sehingga diperoleh harga :

$$-W_s = \frac{1,878^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{32 \times 9,8}{32,174} + \frac{0}{125,07} + 84,65$$

$$= 94,451$$

$$\text{WHP} = \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{94,451 \times 0,1179 \times 125,07}{550}$$

$$= 2,5332$$

$$\text{Kapasitas} = \frac{53103 \text{ lb/jam} \times 7,481}{60 \text{ meni} \times 62,93 \text{ lb/ft}^3} = 105,21 \text{ gpm}$$

(Peter and Timmerhaus fig 14-37 hal 520)

$$\eta \text{ motor} = 82\%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{WHP}}{\eta \text{ motor}} = \frac{2,533}{82\%} = 3,09 = 3 \text{ HP}$$

Spesifikasi alat :

$$\text{Nama} = \text{Pompa}$$

$$\text{Type} = \text{Centrifugal pump}$$

$$\text{Dimensi pipa : } d_o = 3,5 \text{ in}$$

$$d_i = 3,068 \text{ in}$$

$$A = 0,0513 \text{ ft}^3$$

$$\text{Daya pompa} = 3 \text{ HP}$$

$$\text{kapasitas} = 105,21 \text{ gpm}$$

12. Rotary Vaccum filter (H-140)

Fungsi : Alat untuk memisahkan antara padatan dan mother liquor

Type : Recyprocoating pusher, single stage with cyclinder screen

Kondisi operasi :

$$\text{Tekanan} : 15 \text{ psi}$$

$$\text{Suhu} : 40 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Rate bahan masuk} : 12.626,3 \text{ kg/jam} = 27836,11 \text{ lb/jam}$$

$$463,936 \text{ lb/menit}$$

Dari GG brown, hal 263 didapat :

$$\text{Diameter} = 40 \text{ in}$$

$$\text{Kecepatan putar} = 1200 \text{ rpm}$$

power yang dibutuhkan :

$$Hp = 5,2 \times 10^{-9} \times G \times R^2 \times (\text{rpm})^2$$

Dimana :

Hp = power teoritis

G = through put, lb/menit = 364,59 lb/menit

R = jari-jari silinder $\frac{40}{2} = 20 \text{ in} = 1,7 \text{ ft}$

rpm = kecepatan putaran

sehingga :

$$Hp = 5,2 \times 10^{-9} \times 364,59 \times 1,7^2 \times 1200^2$$

$$= 7,5$$

Efisiensi mekanis : 60%

$$\text{Jadi power motor} = \frac{7,5}{60\%} = 13 = 13 \text{ Hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama : Rotary drum vaccum filter

Diameter : 40 in

Kecepatan putar : 1200 rpm

power : 13 Hp

13. Pompa (L-141)

Fungsi : untuk memompa larutan filtrat dari reaktor

Type : Centrifugal Pump

- Dasar perhitungan

$$\text{Kapasitas} = 13.168,26 \text{ kg/jam} = 29036 \text{ lb/jam}$$

	Densitas (kg/m ³)	Massa(Kg/jam)	xi	xi . pi	
ρ	CaSO ₄ .2H ₂ O	2615,50	242,27	0,0115	30,19721
ρ	CaCO ₃	2710,00	7,41	0,0004	0,96
ρ	MgCO ₃	3307,00	1,44	7E-05	0,23
ρ	SiO ₂	2334,00	0,55	3E-05	0,06
ρ	Al ₂ O ₃	3982,60	0,26	1E-05	0,05
ρ	Fe ₂ O ₃	5179,80	0,38	2E-05	0,09
ρ	CaSO ₄	2320,00	0,12	6E-06	0,01
ρ	H ₂ SO ₄	1830,00	657,90	0,0314	57,37
ρ	H ₂ O	995,65	12.257,93	0,5842	581,61
Total		13.168,26	0,63		670,58

Sehingga:

$$\rho \text{ campuran} = \frac{\sum xi \cdot pi}{\sum xi}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{670,58}{0,63} \\
 &= 1068,60 \text{ kg/m}^3 \\
 &= 66,711 \text{ lb/ft}^3 \\
 \mu &= 1,1 \text{ cp} = 0,0008 \text{ lb/ft.detik}
 \end{aligned}$$

Perhitungan :

Menghitung rate volumetrik

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} = \frac{29036}{66,711} = 435,25 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,1209 \text{ ft}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

(Peter and Timmerhaus pers, 15 hal 496)

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times 0,1209^{0,45} \times 66,711^{0,13}$$

2,60 in

$$\text{Standarisasi ID} = 3 \text{ in sch 40}$$

(Geankoplis App A.5 hal 892)

Sehingga diperoleh harga :

$$\text{OD} = 3,5 \text{ in} = 0,198 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 3,068 \text{ in} = 0,172 \text{ ft}$$

$$A = 0,0513 \text{ ft}^3$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{0,1209}{0,0513} = 2,36 \text{ ft/detik}$$

$$N_{\text{Re}} = \frac{D \times V \times \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0,172 \times 2,36 \times 66,711}{0,0008}$$

$$= 33803,06 \quad (\text{aliran turbulen})$$

Digunakan pipa yang terbuat dari commercial steel

Sehingga diperoleh harga

(Geankoplis hal 88)

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000046 \text{ ft}$$

$$\varepsilon = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,172} = 0,000267 \text{ ft}$$

$$D = 0,172$$

$$f = 0,006$$

Menentukan panjang pipa

Direncanakan panjang pipa 200 ft

No	Nama	Jumlah	Kf	Σ Kf
1	Elbow 90°	5	0,75	3,75
2	Coupling	7	0,04	0,28
3	Gate valve	1	4,5	4,5

4	Cglobe valve	1	6	6
Total				14,53

$$K_{ex} = \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2 = (1-0)^2 = 1$$

$$K_e = 0,55 \left[1 - \frac{A_1}{A_2}\right]^2 = 0,55 (1-0)^2 = 0,55$$

Menentukan friksi pada pipa :

(Geankoplis pers. 2.10 hal 94)

$$\Sigma F = \left(4 \times f \times \frac{\Delta L}{D} + K_e + K_f\right) \times \frac{V^2}{2}$$

$$\Sigma F = 4 \times 0,006 \times \frac{200}{0,172} + 1 + 0,55 + 14,53 \times \frac{2,4^2}{2}$$

$$84,65 \text{ lb.ft/lbm}$$

Menentukan daya pipa

(Geankoplis pers. 2.7 hal 97)

$$\left(\frac{\Delta V^2}{2 \cdot a \cdot gc}\right) + \left(\frac{\Delta Z}{gc}\right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho}\right) + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 32 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta V = 1,878 \text{ ft/detik}$$

Sehingga diperoleh harga :

$$-W_s = \frac{1,878^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{32 \times 9,8}{32,174} + \frac{0}{66,711} + 84,65$$

$$= 94,451$$

$$WHP = \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{94,451 \times 0,1209 \times 66,711}{550}$$

$$= 1,3851$$

$$\text{Kapasitas} = \frac{29036 \text{ lb/jam} \times 7,481}{60 \text{ meni} \times 62,93 \text{ lb/ft}^3} = 57,529 \text{ gpm}$$

(Peter and Timmerhaus fig 14-37 hal 520)

$$\eta \text{ motor} = 82\%$$

$$\text{Daya motor} = \frac{WHP}{\eta \text{ motor}} = \frac{1,385}{82\%} = 1,6891 = 2 \text{ HP}$$

Spesifikasi alat :

$$\text{Nama} = \text{Pompa}$$

$$\text{Type} = \text{Centrifugal pump}$$

$$\text{Dimensi pipa : } d_o = 3,5 \text{ in}$$

$$d_i = 3,068 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 A &= 0,0513 \text{ ft}^3 \\
 \text{Daya pompa} &= 2 \text{ HP} \\
 \text{kapasitas} &= 57,529 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

14. Screw Conveyor (J-142)

Fungsi : Mengangkut produk gypsum dari rotary vaccum filter ke rotary dryer

Perhitungan

$$\begin{aligned}
 \text{Rate} &= 12.632,5 \text{ kg/jam} = 27849,97 \text{ lb/jam} \\
 \rho \text{ gypsum} &= 163,28 \text{ lb/ft}^3 = 2615,50 \text{ kg/m}^3 \\
 \text{Rate volumetrik} &= \frac{m}{\rho} = \frac{27849,97 \text{ lb/jam}}{163,28 \text{ lb/ft}^3} \times \frac{1}{60} \\
 &= 170,57 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 2,84 \text{ ft}^3/\text{menit}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 5.4 a Walas dipilih diameter conveyor sebesar 14 in, untuk 80% full beroperasi pada :

$$\begin{aligned}
 \text{Kecepatan putaran } (\omega) &= \frac{170,57 \times 45}{950} \\
 &= 8,1 \text{ rpm}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 5.4 c wallas dipilih bearing faktor untuk self lubricating bronze sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Bearing factor (s)} &= 255 \\
 \text{HP faktor (F)} &= 14
 \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi (h)} &= 5 \text{ m} = 16,40 \text{ ft} \\
 \text{Panjang (l)} &= 10 \text{ m} = 32,81 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Daya screw conveyor

$$\begin{aligned}
 P &= \{[(s \times \omega) + (F \times Q \times \rho)] \times L + (0,51 \times h \times 30000)\} / 10^6 \\
 &= 13,05 \text{ Hp} = 14 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{torque} &= \frac{6300 \times P}{\omega} \\
 &= 10916,61 \text{ in.lb}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

$$\begin{aligned}
 \text{Nama} &= \text{Screw conveyor} \\
 \text{Type} &= \text{vertical screw conveyor} \\
 \text{Kapasitas} &= 170,57 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 \text{Tinggi} &= 16,40 \text{ ft} \\
 \text{Panjang} &= 32,81 \text{ ft} \\
 \text{Daya} &= 14 \text{ Hp} \\
 \text{Bahan kontruksi} &= \text{Carbon steel} \\
 \text{Jumlah} &= 1
 \end{aligned}$$

15. Rotary Dryer (B-150)

Lihat BAB VI Perancangan Alat Utama
Muhammad Nasrul NIM. 1914042

16. Cyclone (H-151)

Fungsi : Menangkap padatan yang terikut udara panas dari rotary dryer

Type : Duclone collector

Perhitungan :

Menghitung dimensi cyclone

$$D_{pc} = \sqrt{\frac{9 \times \mu \times B_c}{2 \times \pi \times N_e \times (\rho_s - \rho)}}$$

(Perry, s edisi 7, hal 17-28)

Dimana :

D_{pc} = Ukuran partikel yang bisa lolos dari saringan

D_p = ukuran partikel yang diijinkan lolos dari saringan

B_c = lebar inlet dust (ft)

V_c = kecepatan gas masuk cyclone

μ = viscositas gas (lb/ft.det)

ρ = densitas gas (lb/ft³)

ρ_s = densitas material (lb/ft³)

D_c = Diameter cyclone (ft)

Dari perry's edisi 7 hal 17-30 :

N_e = 3,5

V_c = 50 ft/detik

D_p = 0,0003 ft

η = 98%

D_p/D_{pc} = 8

Maka :

$$D_{pc} = \frac{D_p}{8} = \frac{0,0003}{8} = 0,00004 \text{ ft}$$

Spesifik volume gas keluar = 20 ft³/lb

$$\rho_{\text{gas}} = \frac{1}{20 \text{ ft}^3/\text{lb}} = 0,0493 \text{ lb/ft}^3$$

μ pada 100 °C = 3,E-05 lb/ft.detik

(Kern, hal 825)

Maka :

$$D_{pc} = \sqrt{\frac{9 \times \mu \times B_c}{2 \times \pi \times N_e \times V_c (\rho_s - \rho)}}$$

$$D_{pc} = \sqrt{\frac{9 \times 3 \times 10^{-5} \times B_c}{2 \times 3,14 \times 3,5 \times 50 (199,5915 - 0,049)}}$$

$$Bc = 1,0078 \text{ ft}$$

$$Bc = \frac{Dc}{4} \quad (\text{Perry, s edisi 7, hal 17-27})$$

$$Dc = 1,0078 \times 4 = 4,0312 \text{ ft}$$

$$De = 1/2.Dc = 1/2 \times 4,0312 = 2,016 \text{ ft}$$

$$He = 1/2.Dc = 1/2 \times 4,0312 = 2,016 \text{ ft}$$

$$Le = 2.Dc = 2 \times 4,0312 = 8,062 \text{ ft}$$

$$Sc = 1/8.Dc = 0,1 \times 4,0312 = 0,5039 \text{ ft}$$

$$Zc = 2.Dc = 2 \times 4,0312 = 8,0624 \text{ ft}$$

$$Jc = 1/4.Dc = 0,3 \times 4,0312 = 1,0078 \text{ ft}$$

Menghitung pressure drop pada cyclone :

$$\Delta p_i = 0,013 \times \rho \times Vc^2 \quad (\text{Perry, s edisi, hal 20-84})$$

Dimana :

$$\Delta p_i = \text{pressure drop (in of water)}$$

$$\rho = \text{densitas gas (lb/ft}^3\text{)}$$

$$Vc^2 = \text{kecepatan gas (ft/detik)}$$

Kecepatan gas masuk cyclone : 50 - 90 ft/detik, design menggunakan kecepatan 50 ft/detik, sehingga :

$$\Delta p_i = 0,013 \times 0,049 \times \text{lb/ft}^3 \times 50 \text{ (ft/detik)}^2$$

$$1,601 \text{ in water}$$

$$1,601 \times 0,0361 = 0,1 \text{ psi}$$

Spesifikasi alat :

Nama : Cyclone

Type : Duclone collector

Dimensi : De = 2,016 ft

He = 2,016 ft

Le = 8,062 ft

Sc = 0,504 ft

Zc = 8,062 ft

Jc = 1,008 ft

Bahan konstruksi : Carbon steel

Jumlah : 1 Buah

17. Heater Udara (E-145)

Fungsi : Menaikkan suhu udara dari suhu 30 °C ke 100 °C

Type : *Double Pipe Heat Exchanger*

Direncanakan

Faktor kekotoran gabungan minimum = 0

Penurunan tekanan aliran maksimal (ΔP) = 2 psi

Penurunan tekanan aliran maksimal steam (ΔP) = 3 psi

Susunan tube = Triangular pitch
 - Shell = Udara
 - Tube = Steam

Kondisi Operasi

Suhu masuk udara (t_1) = 30 °C = 86 °F
 Suhu keluar udara (t_2) = 115 °C = 239 °F
 Suhu masuk steam (T_1) = 310 °C = 590 °F
 Suhu keluar steam (T_2) = 310 °C = 590 °F
 Massa udara masuk (m) = 1.355,7 kg/jam = 2.989 lb/jam
 Massa steam masuk (M) = 248,00 kg/jam = 546,78 lb/jam
 Beban panas (Qsteam) = 2.706,0 kkal/jam = 10.738 btu/jam

Perhitungan

A. Menghitung ΔT_{LMTD}

$$\Delta t_1 = T_1 - t_2 = 351 \text{ °F}$$

$$\Delta t_2 = T_2 - t_1 = 504 \text{ °F}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_{LMTD} &= \frac{\Delta t_2 - \Delta t_1}{\ln \Delta t_2 / \Delta t_1} \\ &= \frac{153}{0,3618} \\ &= 422,90 \text{ F} \end{aligned}$$

B. Mencari data properties fluida

- Cold Fluid

$$\begin{aligned} t_{av} &= \frac{t_1 + t_2}{2} && \text{Didapatkan} \\ &= \frac{325}{2} && C_p = 0,25 \text{ btu/lb °F} \\ &= 162,50 \text{ °F} && k = 0,02 \text{ btu/hr ft °F} \\ &&& \mu = 0,05 \text{ lbm/h ft} \\ &&& \rho = 0,06 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

- Hot Fluid

$$\begin{aligned} T_{av} &= \frac{T_1 + T_2}{2} && \text{Didapatkan} \\ &= \frac{1180}{2} && C_p = 0,84 \text{ btu/lb °F} \\ &= 590 \text{ °F} && k = 0,03 \text{ btu/hr ft °F} \\ &&& \mu = 0,05 \text{ lbm/h ft} \\ &&& \rho = 3,25 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

C. Mencari Ukuran Heat Exchanger

- Mencari luas perpindahan panas

Hot Fluid : Steam Didapatkan Ud trial : 5 - 50
 Cold Fluid : Gasses (Kern, Tabel 8)

$$\begin{aligned}
 U_{d \text{ trial}} &= 5 \\
 A &= \frac{Q}{U_d \times \Delta T_{LMTD}} \\
 &= \frac{10738,266}{2114,486} \\
 &= 5,078 \text{ ft}^2 \quad (<120 \text{ ft}^2, \text{ maka menggunakan Double Pipe})
 \end{aligned}$$

dicoba DPHE ukuran 3×2 " IPS sch 40 dengan aliran steam dibagian pipa dari tabel 6.2 "Kern" Hal. 110 didapatkan:

$$a_{an} = 2,9 \text{ in}^2 = 0,2442 \text{ ft}^2$$

$$a_p = 3,4 \text{ in}^2 = 0,2792 \text{ ft}^2$$

$$d_e = 1,6 \text{ in} = 0,1308 \text{ ft}$$

$$d_e' = 0,7 \text{ in} = 0,0575 \text{ ft}$$

dari tabel 11 "Kern" Hal. 844 didapatkan:

$$d_{o_p} = 2,4 \text{ in} = 0,1983 \text{ ft}$$

$$d_{i_p} = 2,1 \text{ in} = 0,1723 \text{ ft}$$

$$a'' = 0,6 \text{ ft}^2/\text{ft}$$

Evaluasi Perpindahan Panas	
Bagian Anulus (Udara)	Bagian Pipa (Steam)
<p>1. Menghitung N_{Re}</p> $G_{an} = \frac{W}{a_{an}}$ $= \frac{2988,99}{0,2442}$ $= 12241,59 \text{ lb/jam ft}^2$ <p>(fig. 14 "Kern", hal. 823)</p> $\mu = 0,0537$ $N_{Rean} = \frac{G_{an} \times d_e}{\mu}$ $= \frac{12241,59 \times 0,1308}{0,0537}$ $= 355,8339$ <p>2. JH = 9 "dikutip dari Kern hal. 834"</p> <p>3. Menghitung harga koefisien film</p> $C_p = 0,7 \text{ Btu/lb F}$ <p>"Kern fig. 2 hal. 804"</p> $k = 0,21 \text{ Btu/jam ft F}$ <p>"Kern Tabel 4 hal. 802"</p> $(C_p \cdot \mu / k)^{1/4} = (0,7 \times 0,0537)^{1/4}$	<p>1'. Menghitung N_{Re}</p> $G_p = \frac{M}{a_p}$ $= \frac{546,78}{0,2792}$ $= 1958,6 \text{ lb/jam ft}^2$ <p>(fig. 14 "Kern", hal. 823)</p> $\mu = 0,05$ $N_{reap} = \frac{G_p \times d_i}{\mu}$ $= \frac{1958,613 \times 0,1723}{0,051212135}$ $= 6587,71815$ <p>2'. Mencari faktor panas (JH) JH tidak perlu dicari karena steam</p> <p>3'. Menghitung harga koefisien film untuk steam:</p> $h_{i0} = 1500 \text{ Btu/jam ft}^2 \text{ F}$

$$\frac{0,21}{0,21} = 0,574$$

$$\left[\frac{\mu}{\mu_w}\right]^{0,14} = 1 \text{ (untuk bahan yang encer dan viscositas } < 1 \text{ Cp)}$$

$$h_o = j_H \times \frac{k}{De} \times (C_p \cdot \mu / k)^{1/4} \left[\frac{\mu}{\mu_w}\right]^{0,14}$$

$$= 9 \times \frac{0,2100}{0,1308} \times 0,574$$

$$\times 1$$

$$= 8,2923 \text{ Btu/jam ft}^2 \text{ F}$$

D. Mencari tahanan panas pipa bersih

$$U_c = \frac{h_o \times h_{io}}{h_o + h_{io}}$$

$$= \frac{8,2923 \times 1500}{8,2923 + 1500}$$

$$= 8,2467 \text{ Btu/jam ft}^2 \text{ F}$$

E. Mencari dirt factor (faktor kekotoran) pipa terpakai

$$R_d = \frac{U_C - U_D}{U_C \cdot U_D}$$

$$50 = \frac{8,247 - U_D}{8,247 \times U_D}$$

$$412,34 U_D = 8,2 - U_D$$

$$413,34 U_D = 8,2$$

$$U_D = 0,02 \text{ Btu/jam ft}^2 \text{ F}$$

F. Menghitung Rrequired Surface and Required Length

- Required Surface

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta T_{LMTD}} \text{ (Pers. 6.11 Halaman 107, Kern)}$$

$$= \frac{10.738,266}{0,02 \times 422,90}$$

$$= 1272,69 \text{ ft}^2$$

- Required Length

$$L = \frac{A}{a''} = \frac{1272,69}{1,57} = 810,63 \text{ ft}$$

$$R_d = \frac{U_C - U_D}{U_C \cdot U_D} = \frac{8,247 - 0,0200}{8,246747 \times 0,0200} = 50$$

$$R_d \text{ hitung} > R_d \text{ Ketetapan}$$

$$50,0000 > 50,0000$$

(Diterima)

G. Mencari panjang ekonomis

Ukuran pipa tiap hairpin, diambil 12 ft (Kern hal. 103)

L (ft)	n	n _{pake}	L _{baru}	A _{baru}	UD _{baru}	Rd _{baru}	Rd _{over desain}
12	0	14	336	528	0,002	477	0,92
15	0	11	330	518	0,002	518	1,00
20	0	8	320	502	0,002	502	0,97

Jadi, diambil over desain yang terkecil = 0,9697

L = 320 ft

n = 8 buah

Evaluasi ΔP	
Bagian Anulus (Produk)	Bagian Pipa (Steam)
<p>1. Menghitung Nre dan Friksi $NRe = 355,83$ (Kern fig.29, hal. 839) $f = 0,004$</p>	<p>1'. Menghitung Nre dan friksi $NRe = 6587,718$ (Kern fig.29, hal. 839) $f = 0,002$</p>
<p>2. Mencari ΔP karena panjang pipa $\rho = 0,0584 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$ $\Delta P_1 = \frac{4 \times f \times G_{an}^2 \times L \times \rho}{2 \times g \times \rho^2 \times de \times 144}$ $= \frac{4 \times 0,004 \times 12242^2}{2 \times 4.18 \times 10 \times 0,06^2 \times 0,05 \times 144}$ $= 203,35 \text{ psi}$ $V = \frac{G}{3600 \times \rho}$ $= \frac{12241,591}{3600 \times 0,06}$ $= 58,23698 \text{ fps}$ $Fl = 1 \times \frac{v^2}{2g}$ $= 1 \times \frac{58,237^2}{2 \times 32,174}$ $= 52,70631$ $\Delta Pa = \Delta P_1 + Fl$ $= 203,35 + 52,706$ $= 256,06 \text{ psi}$</p>	<p>2. Menghitung ΔP pipa $\rho = 3,2489 \text{ lb}_m/\text{ft}^3$ $\Delta P_p = \frac{4 \times f \times G_t^2 \times L \times \rho}{2 \times g \times \rho^2 \times di \times 144}$ $= \frac{4 \times 0,002 \times 1958,6^2}{2 \times 4.18 \times 10 \times 3,249^2 \times 0,06 \times 144}$ $= 0,04 \text{ psi}$ $\Delta P_p < \Delta P \text{ tetapan}$ $0,04 < 10 \text{ (psi)}$ maka memenuhi syarat</p>

$\Delta P_a < \Delta P \text{ tetapan}$ $256,1 < 2,5 \text{ (psi)}$	
---	--

Spesifikasi Alat

Fungsi	: Menaikkan suhu udara dari suhu 30 °C ke 100 °C
Tipe	: <i>Double Pipe Heat Exchanger</i>
Bahan Konstruksi	: <i>Stainless Steel SA-167 grade 3 Type 304</i>
Kapasitas	: 2988,99 kg/jam = 6589,52 lb/jam
Rate steam	: 546,8 kg/jam = 1205,43 lb/jam
Jumlah hairpin	: 8 buah
Diameter luar pipa	: 2,38 in = 0,1983 ft
Diameter dalam pipa	: 2,07 in = 0,1723 ft
Panjang	: 320 ft

18. Kompresor (G-144)

Fungsi : Mengalirkan udara ke heater

Type : centrifugal kompresor

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate udara} &= 250 \text{ kg/jam} = 551,25 \text{ lb/jam} \\ &= 9,19 \text{ lb/menit} \end{aligned}$$

$$\text{Suhu udara masuk} = 30 \text{ °C} = 86 \text{ °F}$$

$$\text{Humidity udara (H)} = 0,014 \quad (\text{Hougen, fig.19 hal:120})$$

Dari perry, edisi 3, hal 8-11 di dapat:

$$\begin{aligned} \text{Spesifik volume udara} &= 0,0405 \times 460 \times t \times 0,6 \times H \\ &= 0,0405 \times 460 \times 86 \times 0,6 \times 0,014 \\ &= 13,907 \text{ ft}^3/\text{lb} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= 9,2 \text{ lb/menit} \times 13,907 \text{ ft}^3/\text{lb} \\ &= 127,77 \text{ ft}^3/\text{menit} \end{aligned}$$

$$\text{Power kompresor} = \frac{144 \times Q \times (P_1 - P_2)}{33000} \quad (\text{Perry, s edisi 6, hal 14-13})$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana : } P_1 - P_2 &= 0,5 - 10 \text{ lb/in}^2 \\ & \quad (\text{Perry, s edisi 4, hal 6-20}) \end{aligned}$$

Maka :

$$\begin{aligned} \text{Power blower} &= \frac{144 \times 127,77 \text{ ft}^3/\text{menit} \times 0,5 \text{ lb/in}^2}{33000} \\ &= 0,3 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\eta \text{ motor} = 85\%$$

(peter and timmerhaus, hal 521)

Sehingga :

$$\text{Daya motor} = \frac{0,28}{0,85} = 0,33 \text{ Hp} = 1 \text{ Hp}$$

Spesifikasi alat :

Nama : Kompresor
 Type : Centrifugal kompresor
 Power motor : 1 Hp
 Jumlah : 1 Buah

19. Filter Udara (H-143)

Fungsi : Menyaring debu yang terdapat dalam udara
 Type : dry filter

Perhitungan :

Udara kering yang dibutuhkan = 250 kg/jam = 551,16 lb/jam
 Suhu Udara = 30 °C
 ρ udara (30°) = 1,1676 kg/m³ = 0,07289 lb/ft³
 (*Geankoplis, app. 3-3*)

Rate volume udara = $\frac{\text{udara kering yang dibutuhkan}}{\rho \text{ udara}}$
 = $\frac{551,16 \text{ lb/jam}}{0,0729 \text{ lb/ft}^3}$
 = 7561,46 ft³/jam = 126,02 ft³/menit

Hp = $\frac{\text{kapasitas x resisten air}}{4000}$ (*Perry's edisi 6 hal 20-107*)

Dimana : penurunan tekanan ideal = 1,2 - 0,5 in air

Hp = $\frac{126,02 \text{ ft}^3/\text{menit} \times 0,5 \text{ in air}}{4000} = 0 = 1 \text{ Hp}$

Efisiensi motor = 60%

Efisiensi motor = $\frac{1}{60\%} = 2 \text{ Hp}$

kadar debu dalam udara = 1 gr/1000 ft³ (*Perry's edisi 7 hal 17-48*)

berat debu dalam udara = $\frac{1 \text{ gr}}{1000 \text{ ft}^3} \times 0,001 \text{ gr/menit}$

Dari perry's edisi 6 tabel 20-38, didapatkan :

ukuran dry filter = 38 x 15 ft

kapasitas 1 liter = 1000 ft³/menit sehingga :

N = $\frac{126,02}{1000} = 0,1 = 1 \text{ Buah}$

Spesifikasi alat :

Nama : filter udara
 Type : dry filter
 kapasitas : 1000 ft³/menit
 Rate volume udara : 0,1 ft³/menit
 ukuran dry filter : 38 x 15

Bahan : Carbon steel
 Jumlah : 1 buah

20. Belt Conveyor (J-152)

Fungsi : Untuk memindahkan produk dari rotary dryer ke bucket elevator

Type : troughed belt with

Dasar perencanaan :

Kapasitas = 12.626,3 kg/jam
 = 12,63 ton/jam = 27836,11 lb/jam

Dimensi belt conveyor berdasarkan tabel 21-7 peery 7th maka dipilih belt conveyor untuk kapasitas 32 ton/jam adalah sebagai berikut :

lebar belt = 14 in = 1,1667 ft

luas area = 0,1 ft² = 0 m²

kecepatan belt = 100 ft/min = 31 m/min

Dimana :

m (kapasitas bahan) = 12.626,3 kg

L (panjang belt conveyor) = 50 m = 164,04 ft

Maka :

Berdasarkan tabel 21-7 peery 7th dengan kapasitas 32 ton/jam didapatkan :

Daya motor = 0,4 HP = 1 HP

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan belt conveyor} &= \frac{\text{Kapasitas belt conveyor}}{\text{Kapasitas belt conveyor secara teori}} \times \\ &\quad \text{Kecepatan putar} \\ &= \frac{12,63}{32} \times 100 \text{ ft/min} \\ &= 39,46 \text{ ft/min} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama : Belt conveyor

Fungsi : Untuk memindahkan produk dari rotary dryer ke bucket elevator

Type : Troughed beld with idlers

Kapasitas : 12.626,3 kg

Dimensi : Panjang belt = 164 ft

Lebar belt = 1,2 ft

Luas area = 0,1 ft²

Kecepatan belt : 39,46 ft/min

Daya : 1 HP

Bahan kontruksi : Rubber

Jumlah : 1 Buah

21. Bucket Elevator (J-153)

Fungsi : Mengangkat produk (CaSO₄) dari rotary dryer ke bin produk

Type : Centrifugal discharge

Dasar perencanaan :

Suhu udara = 30 °C
 Tekanan operasi = 1 atm
 Kapasitas = 12.626,3 kg/jam
 ρ = 163,27 lb/ft³

Direncanakan sebuah bucket elevator dengan

Tinggi = 15 m *(Ulrich tabel 4-4 hal 71)*
 Ukuran = (6 x 6 x 4 1/4) in
 Kapasitas (untuk 100 lb/ft³) = 14 ton/jam
 Size of lumps handled = 3/4 in
 Bucked speed = 225 ft/menit
 Head shaft = 43 rpm
 HP required at head shaft = 1 HP
 Diameter shaft = 115 / 16 in
 = 111 / 16 in
 Diameter pulley = 20 in
 = 14 in
 Lebar belt = 7 in

(Perry, s edisi 7, tabel 21-8 hal 21-15)

Tahap - tahap perencanaan :

- Kecepatan Bucket elevator
- Dimensi dan daya yang dibutuhkan

Perhitungan :

Dengan faktor keamanan 20%, maka : *(Vilbrant, tabel 2-2 hal 23)*

Kapasitas = 1,2 x 12.626,3 kg/jam
 = 15151,51 kg/jam = 16,667 ton/jam = 33403,33 lb/jam

Kecepatan bucket = $\frac{16,667 \text{ ton/jam}}{14 \text{ ton/jam}} \times \frac{163,27 \text{ lb/ft}^3}{100 \text{ lb/ft}^3} \times 225 \text{ ft/menit}$
 = 437,33 ft/menit

Daya total = $\frac{16,667 \text{ ton/jam}}{14 \text{ ton/jam}} \times \frac{163,27 \text{ lb/ft}^3}{100 \text{ lb/ft}^3} \times 1 \text{ HP}$
 = 1,9437 HP

η motor = 82% *(Peter and Timmerhaus, fig 14 hal 521)*

Sehingga daya motor = $\frac{1,9437}{82\%} = 2,4 \text{ HP} = 3 \text{ HP}$

Spesifikasi alat :

Nama : Bucket elevator
 Type centrifugal discharge
 Kapasitas 33403 lb/jam

Ukuran	(6 x 4 x 4 1/4) in
Lebar	7 in
Kecepatan	437,33 ft/menit
Daya motor	3 HP
Jumlah	1 Buah

22. Hammer Mill (C-154)

Fungsi = Untuk memperkecil ukuran gypsum hingga 100 mesh

Type = Hammer mill

Kapasitas = 12.626,3 kg/jam = 3,51 kg/detik = 27836 lb/jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Power yang di konsumsi (P)} &= 1 \times m^{0,88} \times 35 && (\text{Ulrich, hal 76}) \\ &= 1 \times 3,5^{0,88} \times 35 \\ &= 105,67 \text{ HP} = 106 \text{ HP} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama	: Hammer mill
Type	: Hammer mill
Kapasitas	: 27.836,1 ton/jam
Daya	: 106 HP
Bahan konstruksi	: High allow steel
Jumlah	: 1 Buah

23. Silo (F-155)

Fungsi : Menampung gypsum sebelum masuk mesin packing

Type : tangki silinder dengan bagian bawah berbentuk conical dengan sudut 60°

Dasar perencanaan :

Suhu : 30 °C

Massa gypsum : 12.626,3 kg/jam = 27841 lb/jam

Densitas produk : 163,28 lb/ft³

Direncanakan bin digunakan untuk menampung bahan selama 0,2 jam

Perhitungan :

- Menentukan diameter tangki

$$\text{Gypsum yang ditampung} = 27841 \text{ lb/jam} \times 0,2 = 4454,5$$

$$\text{Volume Gypsum} = \frac{m}{\rho} = \frac{4454,5}{163,28} = 27,28$$

Volume Gypsum mengisi 80% dari volume bin, maka :

$$\text{Volume bin} = \frac{\text{Volume Gypsum}}{80\%} = \frac{27,28}{80\%} = 34,10 \text{ ft}^3$$

$$\text{Asumsi : } L_s = 1,5 \text{ d}$$

$$\text{Volume bin} = \frac{\pi \cdot d_i^3}{24 \cdot \tan 1/2 \alpha} + \frac{\pi}{4} d_i^2 L_s$$

$$34,10 \text{ ft}^3 = \frac{\pi d_i^3}{24 \cdot \tan 1/2 \alpha} + \frac{\pi}{4} d_i^2 \cdot 1,5 d_i$$

$$\begin{aligned}
 34,10 \text{ ft}^3 &= 0,838 \text{ di}^3 + 1,1775 \text{ di}^3 \\
 34,10 \text{ ft}^3 &= 2,0155 \text{ di}^3 \\
 \text{di}^3 &= 16,92 \text{ ft}^3 \\
 \text{di} &= 2,6 \text{ ft} = 30,81 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan tekanan design (Pi)

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Gypsum dalam shell} &= \text{Volume Gypsum} - \text{Volume conis} \\
 &= 27,28 - \frac{\pi \cdot 2,6^2}{24 \cdot \text{tg}30^\circ} \\
 &= 27,28 - 3,0 \\
 &= 24,33 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi liquida dalam shel} = \frac{\text{Volume Gypsum dalam shell}}{1/4 \cdot \pi \cdot \text{di}^2}$$

$$= \frac{24,33}{1/4 \pi \cdot 2,6^2} = 4,70 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tekanan hidrostatik (Ph)} &= \frac{\rho (H-1)}{144} = \frac{163,28 (4,7 - 1)}{144} \\
 &= 4,20 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tekanan design (Pi)} = 4,2 + 15 = 18,90 \text{ psig}$$

- Menentukan tebal silinder

Bahan : Stainless steel SA 240 Grade M Type 316

fallowble : 18750 psi

Faktor korosi (C) : 1/16 in

type pengelasan (E) : double welded butt joint 0,8

Tekanan design (Pi) = 18,90 psig

$$\begin{aligned}
 ts &= \frac{\pi \cdot \text{di}}{2(f \cdot E - 0,6 \cdot \pi) + C} \\
 &= \frac{18,90 \times 30,81}{2(18750 \times 0,8 - 0,6 \times 18,90)} + \frac{1}{16} \\
 &= 0,0194 + \frac{16}{16} \\
 &= \frac{0,31}{16} = \frac{3}{16}
 \end{aligned}$$

Standarisasi do :

$$\begin{aligned}
 \text{do} &= \text{di} + 2 \text{ ts} \\
 &= 30,81 + 2 \times 3/16 \\
 &= 31,18 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Dengan pendekatan ke atas maka di dapatkan harga do = 32 dari tabel 5-7 Brownell and young, hal 89 di dapatkan harga :

$$\text{do} = 30$$

$$\text{icr} = 2$$

$$\text{r} = 30$$

Menentukan harga di baru :

$$\begin{aligned} di &= do - 2 \text{ ts} \\ 30 &- 2 \times 3/16 \\ 29,63 \text{ in} &= 2,5 \text{ ft} \end{aligned}$$

Cek hubungan Ls dengan di :

$$\begin{aligned} \text{Vuolume Bin} &= \frac{\pi \text{ di}^2}{24 \text{ tg}30^\circ} + \frac{\pi}{4} \text{ di}^2 \text{ Ls} \\ 34,10 &= \frac{\pi \text{ 2,5}^3}{24 \text{ tg } 30^\circ} + \frac{\pi}{4} \text{ 2,5}^2 \text{ Ls} \\ &= 0,31 + 4,8 \text{ Ls} \\ \text{Ls} &= 7,1 \text{ ft} \end{aligned}$$

- Menentukan tebal tutup bawah berbentuk conis

$$\begin{aligned} \text{thb} &= \frac{\text{Pi.di}}{2 (\text{f.E- } 0,6 \text{ Pi}) \cos 30^\circ} + C \\ &= \frac{18,90 \times 29,63}{2 \times 18750 \times 0,8 - 0,6 \times 18,90 \cos 30^\circ} + \frac{1}{16} \\ &= 0,0216 + \frac{16}{16} \\ &= \frac{0,3}{16} = \frac{3}{16} \end{aligned}$$

- Menentukan tinggi bin

$$\begin{aligned} \text{Tinggi shell} &= \text{Ls} = 7,1 \text{ ft} \\ \text{Tinggi tutup bawah berbentuk conis} & \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{tg } 1/2\alpha &= \frac{1/2 \cdot di}{h} \\ h &= \frac{1/2 \cdot d}{\text{tg } 1/2\alpha} = \frac{1/2 \cdot 2,5}{\text{tg } 30^\circ} \\ h &= 0,2 \text{ ft} = 2,3 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi bin} &= \text{Tinggi shell} + \text{Tinggi tutup bawah} \\ &= 2,5 + 0,2 \\ &= 2,7 \text{ ft} = 31,92 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

$$\begin{aligned} \text{Nama} &: \text{ Bin produk gypsum} \\ \text{Type} &: \text{ silinder tegak tutup bawah berbentuk conis dengan sudut } 60^\circ \\ \text{Dimensi} &: di = 29,63 \text{ in} \\ &\text{ thb} = 3/16 \text{ in} \\ &\text{ ts} = 3/16 \text{ in} \\ &\text{ Tinggi tutup bawah} = 0,2 \text{ ft} = 2,3 \text{ in} \\ &\text{ Tinggi bin} = 2,7 \text{ ft} = 32 \text{ in} \\ \text{Bahan kontruksi} &: 1 \text{ Buah} \end{aligned}$$

24. Mesin Packaging (F-156)

Fungsi : Mengemas produk gypsum dari bin ke dalam kemasan (Bag)

Perhitungan :

$$\text{Kapasitas Bahan} = 12.626,3 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Waktu pengemasan} = 2 \text{ jam} = 25252,52 \text{ kg/jam} = 55672,21 \text{ lb/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas mesin} &= 2 \times 12.626,3 \text{ kg/jam} \\ &= 25252,52 \text{ kg} = 55672,21 \text{ lb} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas bahan} = 163,28 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume mesin} &= \frac{\text{kapasitas mesin}}{\rho \text{ bahan}} \\ &= \frac{55672,21}{163,28} = 340,96 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

$$\text{Nama} = \text{Mesin pengemasan}$$

$$\text{Bahan} = \text{Carbon steel}$$

$$\text{Kapasitas bahan} = 55672,21 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Kapasitas mesin} = 55672,21 \text{ lb}$$

$$\text{Volume mesin} = 340,96 \text{ ft}^3$$

25. Gudang Produk (F-157)

Fungsi : Untuk tempat penyimpanan produk ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Dasar perancangan

$$\text{Suhu udara} : 30 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Tekanan} : 1 \text{ atm} = 14,70 \text{ psi}$$

$$\text{Waktu tinggal} : 30 \text{ Hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate gypsum} &= 12626,3 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 30 \frac{\text{hari}}{\text{bulan}} \\ &= 9090907,2 \text{ kg/ bulan} \end{aligned}$$

$$\text{Densitas bahan} = 153,00 \text{ lb/ft}^3 = 2450,8 \text{ kg/m}^3$$

- Perhitungan

$$\text{Volume gypsum} = \frac{m}{\rho} = \frac{9.090.907,20}{2450,83} = 3709,3 \text{ m}^3$$

$$\text{maka volume storage} = \frac{3709,3}{80\%} = 4636,6 \text{ m}^3 = 163741,771 \text{ ft}^3$$

$$\text{Ditetapkan: Panjang} = 2 \times \text{Lebar gudang}$$

$$\text{Tinggi} = 8 \text{ m} = 26,247 \text{ ft}$$

$$\text{Maka} : 4636,6 = p \times l \times t$$

$$4636,6 = 2l \times l \times 8$$

$$l^2 = \frac{4636,6}{16}$$

$$l^2 = 289,79$$

$$l = 17,02 \quad = 17,02 \text{ m} = 55,85 \text{ ft}$$

$$p = 17,02 \times 2 = 34,05 \text{ m} = 111,7 \text{ ft}$$

Spesifikasi

Nama : Gudang Gypsum

Fungsi : Tempat penyimpanan gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)

Kapasitas : $4636,65 \text{ m}^3$

Dimensi : Panjang : 111,7 ft

Lebar : 55,85 ft

tinggi : 26,247 ft

APPENDIKS D PERHITUNGAN UTILITAS

Unit utilitas pada suatu pabrik adalah salah satu bagian yang sangat penting bagi penunjang jalannya proses produksi dalam suatu Industri Kimia, sehingga kapasitas produksi semaksimal mungkin dapat dicapai.

Unit utilitas yang diperlukan pada pra-rencana pabrik Gypsum ini yaitu :

1. Air yang berfungsi sebagai air pendingin, air umpan boiler dan sanitasi
2. Steam sebagai media pemanas dalam proses produksi
3. Listrik yang berfungsi untuk menjalankan alat-alat produksi, utilitas dan untuk penerangan pabrik
4. Bahan bakar untuk mengoperasikan boiler dan generator.

Dari kebutuhan unit utilitas yang diperlukan, maka utilitas tersebut dibagi menjadi 3 unit, yaitu :

1. Unit pengolahan air (Water Treatment)
 - Air pendingin
 - Air umpan boiler serta pengolahan steam
 - Air proses
 - Air sanitasi
2. Unit penyediaan tenaga listrik
3. Unit penyediaan bahan bakar

D.1. Unit Pengolahan Air (Water Treatment)

Untuk memenuhi kebutuhan air pada pabrik, direncanakan menggunakan air kawasan. Pengambilan air sungai ditampung dalam bak penampung air sungai, untuk selanjutnya dilakukan pengolahan agar bisa dipakai sebagai air sanitasi. Sedangkan untuk air proses, air pendingin dan air umpan boiler akan diolah lanjut sesuai kebutuhan masing-masing.

A. Air Proses

Air proses yang digunakan untuk alat -alat sebagai berikut:

Tabel D.1.1. Total Kebutuhan Air Proses

Kode Alat	Nama Alat	Kebutuhan air proses (kg/jam)
M-121	Tangki Pelarut H ₂ SO ₄	7.418,73
M-120	Tangki Pelarut Limestone	1.363,19
H-140	Rotary Vaccum Filter	4.816,61
Total		13.598,53

Direncanakan banyaknya air proses yang display adalah excess 20%

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan air proses} &= 1,2 \times 13.598,53 \\
 &= 16318,23 \quad \text{kg/jam}
 \end{aligned}$$

B. Air Pendingin

Air pendingin yang dibutuhkan digunakan pada alat-alat seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel D.1.2. Total Kebutuhan Air Pendingin

Kode Alat	Nama Alat	Kebutuhan air pendingin (kg/jam)
R-130	Reaktor	355,41
Total		355,41

Direncanakan banyaknya air proses yang disuplay adalah excess 20%

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air pendingin} &= 1,2 \times 355,41 \\ &= 426,49 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Make Up untuk kebutuhan air pendingin direncanakan 10% excess, maka:

$$\begin{aligned} \text{Make Up air pendingin} &= 1,1 \times 426,49 \\ &= 469,14 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

C. Air Umpan Boiler

Pada pra-rencana pabrik gypsum ini, kebutuhan air pengisi boiler atau air umpan boiler berdasarkan pada kebutuhan steam. Adapun kebutuhan steam tersebut digunakan sebagai media pada peralatan:

Tabel D.1.2. Total Kebutuhan Steam

Kode Alat	Nama Alat	Kebutuhan Steam (kg/jam)
E-145	Heater	44,54
Total		44,54

Direncanakan banyaknya air proses yang disuplay adalah excess 20%

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan steam} &= 1,2 \times 44,54 \\ &= 53,45 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Make Up untuk kebutuhan steam direncanakan 10% excess, maka:

$$\begin{aligned} \text{Make Up steam} &= 1,1 \times 53,45 \\ &= 58,79 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

jadi jumlah steam yang harus dihasilkan oleh Boiler adalah:

$$\text{Masa steam (M}_s) = 58,79 \text{ kg/jam} = 129,64 \text{ lb/jam}$$

Steam yang digunakan adalah saturated steam dengan kondisi sebagai berikut :

- Suhu (T) = 115 °C = 239 °F
- Tekanan (P) = 1 atm = 14,70 psia
- Air umpan Boiler masuk pada suhu 30 °C = 86 °F
- Menghitung kebutuhan Steam Boiler (Q-240) =

Dasar Perhitungan:

Dari persamaan 171, Savern W.H. hal. 140 didapatkan Kapasitas Boiler, (Q) :

$$Q = \frac{m_s \times (H_g - H_f)}{1000}$$

Dimana :

m_s = massa steam yang dihasilkan
 H_g = entalphi steam pada 248 °F
 H_f = entalphi air masuk pada 86 °F

Dari "Van Ness", App. F, tabel F-3, hal 706 didapatkan :

H_g pada 248 °F = 28,7943 psia = 1113,6 btu/lb

H_f pada 86 °F = 0,6152 psia = 54,03 btu/lb

jadi

$$Q = \frac{129,64 \text{ lb/jam} \times (1113,6 - 54,03) \text{ btu/lb}}{1000}$$

$$= 137357,444 \text{ kbtu/jam} = 137357444 \text{ btu/jam}$$

Energi = $\frac{m_s \times (H_g - H_f)}{1044,9 \times 34,5}$ (Pers. 8-2, Kusnarjo hal 108)

Boiler = $\frac{129,64 \text{ lb/jam} \times (1113,6 - 54,03) \text{ btu/lb}}{36049,05}$

$$= \frac{129,64 \text{ lb/jam} \times (1113,6 - 54,03) \text{ btu/lb}}{36049,05}$$

$$= 3,81029303 \text{ HP} \approx 4 \text{ HP}$$

Panas yang dipindahkan oleh permukaan air = 190.198,44 btu/jam.ft²
(Perry's 6th ed. table 9.49)

$$\text{Luas permukaan panas (A)} = \frac{137357444 \text{ btu/jam}}{190.198,44 \text{ btu/jam.ft}^2}$$

$$= 722,18 \text{ ft}^2$$

Dari persamaan 173, Savern W.H. hal. 140, didapatkan :

$$\text{Faktor evaporasi} = \frac{H_g - H_f}{970,3}$$

$$= \frac{1113,6 - 54,03}{970,3}$$

$$= \frac{1059,6}{970,3}$$

$$= 1,09$$

$$\text{Jumlah air yang dibutuhkan} = \text{faktor evaporasi} \times \text{rate steam}$$

$$= 1,09 \times 129,64$$

$$= 141,56 \text{ lb/jam}$$

Bahan bakar yang digunakan fuel oil 33 °API dengan Heating Value :

$$H_v = 136000 \text{ btu/lb}$$

(Perry's 7th ed. fig. 27-3, hal. 27-10)

$$= 79084 \text{ kkal/kg}$$

Diperkirakan efisiensi Boiler 85%, maka :

$$\text{Kebutuhan bahan bakar} = \frac{m_s \times (H_g - H_f)}{\text{efisiensi} \times H_v}$$

$$= \frac{129,64 \times (1113,6 - 54,03) \text{ btu/lb}}{0,85 \times 136000}$$

$$0,80 \times 136000 \text{ btu/lb} \\ = 1,26 \text{ lb/jam} = 0,5726 \text{ kg/jam}$$

Jumlah perpindahan panas Boiler dan jumlah tube dapat dihitung sebagai berikut :

- Heating value surface = 10 ft²/Hp boiler
- panjang pipa (L) = 20 ft
- Ukuran pipa = 4 in
- Luas permukaan (at) = 1,178 ft²/ft (Kern, tabel 10, hal. 844)

$$\begin{aligned} \text{Heating surface Boiler} &= H_v \text{ surface} \times H_p \text{ Boiler} \\ &= 10 \text{ ft}^2/\text{Hp} \times 4 \text{ hp} \\ &= 38,10 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tube yang dibutuhkan,

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{A}{at \times L} \\ &= \frac{38,10 \text{ ft}^2}{1,178 \text{ ft}^2/\text{ft} \times 20 \text{ ft}} \\ &= 1,62 \approx 2 \text{ tube} \end{aligned}$$

Spesifikasi Boiler

- Tipe : Fire Tube Boiler
- Kapasitas Boiler : 137357444,02 btu/jam
- Rate steam : 129,64 lb/jam
- Bahan bakar : Fuel oil 33 °API
- Effisiensi : 85%
- Heating surface : 38,10 ft²
- Jumlah tube : 2 tube
- Ukuran tube : 4 in
- Panjang tube : 20 ft
- Jumlah Boiler : 1 buah

Dari perhitungan di atas, diketahui bahwa jumlah air umpan yang dibutuhkan sebesar lb/jam. Air umpan Boiler disediakan excess 20% sebagai pengganti steam yang hilang, kebocoran akibat dari transmisi diperkirakan sebesar pengganti steam yang hilang, kebocoran akibat dari transmisi diperkirakan faktor keamanan 10%. Sehingga kebutuhan air umpan Boiler sebesar :

Excess 20%,

$$1,2 \times 137357444,02 \text{ lb/jam} = 164828932,82 \text{ lb/jam}$$

Faktor kebocoran 5%,

$$0,05 \times 137357444,02 \text{ lb/jam} = 6867872,201 \text{ lb/jam}$$

Faktor keamanan 10%,

$$0,1 \times 137357444,02 \text{ lb/jam} = 13735744,4 \text{ lb/jam}$$

Jadi total kebutuhan air umpan Boiler adalah :

$$\begin{aligned}
 &= 164828932,82 + 6867872,20 + 13735744,40 \text{ lb/jam} \\
 &= 185432549,42 \text{ lb/jam} \\
 &= 84096394,30 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

D. Air Sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk memenuhi kebutuhan karyawan, laboratorium, tanaman dan kebutuhan yang lain. Air sanitasi yang yang digunakan harus memenuhi syarat kualitas air sebagai berikut :

a. Syarat fisik

- Suhu : berada di bawah suhu kamar
- Warna : tidak berwarna / jernih
- Rasa : tidak berasa
- Bau : tidak berbau
- Kekeruhan : < 1 mg SiO₂/liter
- pH : netral

b. Syarat kimia

- Tidak mengandung logam berat seperti : Pb, As, Cr, Cd dan Hg
- Tidak mengandung zat-zat kimia beracun

c. Syarat mikrobiologis

- Tidak mengandung kuman maupun bakteri, terutama bakteri patogen yang dapat merubah sifat-sifat fisik air

Kebutuhan air sanitasi pada pra-rencana Pabrik Gypsum ini adalah :

a. Untuk kebutuhan karyawan

Menurut standar WHO, kebutuhan air setiap orang adalah 120 L/hari

$$\text{Jumlah karyawan pada pabrik} = 384 \text{ orang}$$

$$\text{Jam kerja untuk setiap karyawan} = 8 \text{ jam/hari}$$

Jadi, kebutuhan air karyawan per jam kerja adalah :

$$120 \text{ L/hari} \times \frac{8 \text{ jam}}{24 \text{ jam}} = 40 \text{ L}$$

$$\text{Kebutuhan per jam} = 5 \text{ L/jam}$$

Kebutuhan air untuk 384 karyawan,

$$5 \text{ L/jam} \times 384 = 1920 \text{ L/jam}$$

$$\text{Jika densitas air} = 995,68 \text{ kg/m}^3$$

$$= 0,5186 \text{ kg/L}$$

maka kebutuhan air sanitasi karyawan :

$$V = \frac{m}{\rho} \Rightarrow m = V \times \rho$$

$$= 1920 \text{ L/jam} \times 0,5186 \text{ kg/L}$$

$$= 995,68 \text{ kg/jam}$$

b. Untuk laboratorium dan taman

Direncanakan kebutuhan air untuk taman dan laboratorium adalah sebesar 0,5 dari kebutuhan karyawan.

Sehingga, kebutuhan air untuk laboratorium dan taman :

$$0,5 \times 995,68 \text{ kg/jam} = 497,84 \text{ kg/jam}$$

Jadi, kebutuhan air untuk karyawan, laboratorium dan taman adalah :

$$995,68 + 497,84 = 1493,52 \text{ kg/jam}$$

c. Untuk pemadam kebakaran dan cadangan air

Air sanitasi yang digunakan untuk pemadam kebakaran dan cadangan air direncanakan 0,4 dari kebutuhan air untuk karyawan, laboratorium dan taman, sehingga kebutuhan untuk pemadam kebakaran dan cadangan air :

$$0,4 \times 1493,52 \text{ kg/jam} = 597,41 \text{ kg/jam}$$

Jadi, kebutuhan total untuk air sanitasi adalah :

$$597,41 + 1493,52 = 2090,93 \text{ kg/jam}$$

Total kebutuhan air yang perlu disupply pada pra-rencana Pabrik Gypsum ini adalah sebagai berikut :

No	Keterangan	Jumlah (kg/jam)
1.	Air proses	16318,23
2.	Air pendingin	469,14
3.	Air Umpan Boiler	84096394,30
4.	Air Sanitasi	2090,93
Jumlah		84115272,60

Air yang diperoleh berasal dari air sungai, sehingga perlu pengolahan awal.

Sebelum digunakan, air sungai tersebut perlu diproses untuk memenuhi kebutuhan air proses air pendingin, air umpan Boiler dan air sanitasi.

Peralatan yang digunakan pada bagian pengolahan air

1. Pompa Air Sungai (L-212)

Fungsi : untuk mempompa air sungai ke bak sedimentasi

Type : Centrifugal Pump

- Dasar perencanaan:

$$\text{rate aliran} = 84115272,60 \text{ kg/jam}$$

$$= 185474176,08 \text{ lb/jam}$$

$$\text{densitas air} = 62,1581 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu \text{ air} = 0,000538 \text{ lb/ft.detik}$$

$$= 1,937 \text{ lb/ft.jam}$$

Perhitungan :

Menghitung rate volumetrik

$$Q = \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} = \frac{185474176,08}{62,1581} = 2983910,00 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 828,86 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 2100$), maka :

$$ID \text{ optimal} = 4 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

(Peter and Timmerhaus pers, 15 hal 496)

$$ID \text{ optimal} = 4 \times 828,86^{0,45} \times 62,158^{0,13}$$

$$= 137,26 \text{ in}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40}$$

(Geankoplis App A.5 hal 892)

Sehingga diperoleh harga :

$$OD = 8,625 \text{ in} = 0,7187 \text{ ft}$$

$$ID = 7,981 \text{ in} = 0,6651 \text{ ft}$$

$$A = 0,3474 \text{ ft}^3$$

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{828,86}{0,3474} = 2385,91 \text{ ft/detik}$$

$$= 8589270,0 \text{ ft/jam}$$

$$N_{Re} = \frac{D \times V \times \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0,6651 \times 2385,91 \times 62,16}{0,000538}$$

$$= 183334034,41 \text{ (aliran turbulen)}$$

Digunakan pipa yang terbuat dari commercial steel

Sehingga diperoleh harga (Geankoplis, fig 2.10-3 hal 88)

$$\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,00005 \text{ ft}$$

$$\epsilon = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,66508} = 0,000267 \text{ ft}$$

$$D = 0,66508$$

$$f = 0,006$$

Direncanakan

a. panjang = 100 ft = 30,4804 m

b. Elbow, 90° = 3 buah

$$Le/D = 35 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93})$$

$$L \text{ elbow} = 35 \text{ ID}$$

$$= 35 \times 3 \times 1$$

$$= 69,83 \text{ ft}$$

c. Gate valve = 2 buah (wide open)

$$Le/D = 9$$

$$\begin{aligned} L_{\text{elbow}} &= 9 \text{ ID} \\ &= 9 \times 2 \times 1 \\ &= 11,97 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

$$K_f = 2 \times 0,17 = 0$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned} \Delta L &= 100 + 69,83 + 11,97 \\ &= 181,80 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menentukan friksion loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned} F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \text{ gc } D} \\ &= \frac{4 \times 0,006 \times (2385,91)^2 \times 181,80}{2 \times 1 \times 32,17 \times 0,6651} \\ &= 580455,92 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° 3 buah

$$K_f = 1 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 94})$$

$$\begin{aligned} h_f &= \left[3 \frac{K_f \times V^2}{2 \text{ gc}} \right] \\ &= 3 \frac{0,75 \times (2385,91)^2}{2 \times 32,17} \\ &= 199071,44 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate valve 2 buah

$$\begin{aligned} K_f &= 0,17 \\ h_f &= \left[2 \frac{K_f \times V^2}{2 \text{ gc}} \right] \\ &= 2 \frac{0,17 \times (2385,91)^2}{2 \times 32,17} \\ &= 30081,91 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + h_f + h_f = 809609,27 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

$$\left(\frac{\Delta V^2}{2 \cdot a \cdot \text{gc}} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{\text{gc}} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F + W_s = 0 \quad (\text{Geankoplis pers. 2.7-28 hal 64})$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} \Delta Z &= 50 \text{ ft} \\ \Delta P &= 0 \\ \Delta V &= 2385,91 \text{ ft/detik} \end{aligned}$$

$$\alpha = 1 \quad (\text{aliran turbulen})$$

Sehingga diperoleh harga :

$$\begin{aligned} -W_s &= \frac{2385,91^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{50}{32,174} + \frac{0}{62,158} + 809609,27 \\ &= 898076 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned} WP &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{898076 \times 828,86 \times 62,1581}{550} \\ &= 84126284 \end{aligned}$$

$$\text{Kapasitas} = \frac{185474176,08 \text{ lb/jam} \times 7}{60 \text{ menit} \times 62,93} = 367482 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ Pompa} = 65\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520})$$

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{WP}{\eta \text{ pompa}} = \frac{84126284,31}{65\%} \\ &= 129425052,78 \text{ lb/ft}^3 = 0 \text{ HP} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama = Pompa

Type = Centrifugal pump

Dimensi pipa : $d_o = 8,625 \text{ in}$

$d_i = 7,981 \text{ in}$

$A = 0,3474 \text{ ft}^3$

Daya pompa = 0 HP

kapasitas = 367482,103 gpm

2. Bak Sedimentasi

Fungsi : Untuk mengendapkan lumpur yang terikut air sungai

Dasar Perencanaan:

$$\text{- rate aliran} = 84115272,60 \text{ kg/jam} = 185440530 \text{ lb/jam}$$

$$\text{- densitas } (\rho)_{\text{ai}} = 62,158 \text{ lb/ft}^3 = 1 \text{ gr/cm}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{185440529,97 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 2983368,70 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 84480,05 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu pengendapan} = 12 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu pengendapan} \\ &= 84480,0515 \text{ m}^3/\text{jam} \times 12 \\ &= 1013760,6176 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume liquid} = 80\% \text{ volume bak, sehingga :}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= \frac{1013760,6176 \text{ m}^3}{0,8} \\ &= 1267200,7720 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

$$\text{Panjang} : \text{Lebar} : \text{Ti} = 5 \times 3 \times 2$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 30 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 30 \text{ x}^3 \\ 1267200,7720 \text{ m}^3 &= 30 \text{ x}^3 \\ \text{x} &= 34,83 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak sedimentasi :

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 5 \times 34,826 \text{ m} = 174,13 \approx 175 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 3 \times 34,826 \text{ m} = 104,48 \approx 105 \text{ m} \\ \text{Tinggi} &= 2 \times 34,826 \text{ m} = 69,65 \approx 70 \text{ m} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Bak Sedimentasi

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 175 m
- Lebar : 105 m
- Tinggi : 70 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

3. Pompa Air Bak Skimmer

Fungsi : Memompakan air dari bak sedimentasi ke bak skimmer

Type: Centrifugal Pump

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 84115272,60 kg/jam
= 185440529,97 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,16 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,00 lb/ft.detik
= 1,94 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{185440529,97 \text{ lb/ft}^3}{62,16 \text{ lb/jam}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 2983367,28 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 828,71 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 309737,52 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 4000$), maka :

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times [828,71]^{0,45} \times [62,1581]^0 \\
 &= 137,25 \text{ in} \approx 137 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 8 in sch 40 (Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)

Sehingga diperoleh :

OD = 8,63 in = 0,72 ft (Geankoplis, APP A-5, Hal 892)

ID = 7,98 in = 0,67 ft

A = 0,35 ft²

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{828,71 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,35 \text{ ft}^2} \\
 &= 2385,47 \text{ ft/detik} \\
 &= 8587700,85 \text{ ft/jam}
 \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,67 \times 2385,47 \times 62,16}{0,00054} \\
 &= 183283886
 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 4000$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah Carbon Steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000151 \text{ ft}$$

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000151 \text{ ft}$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000151}{0,6651} = 0,000227 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)

$$f = 0,0065$$

Direncanakan :

a. Panjang pipa lur = 100 ft (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)

b. Elbow, 90° = 2 buah

$$\text{Le/D} = 35$$

$$\text{L elbow} = 35 \text{ ID}$$

$$= 35 \times 2 \times 0,6651 \text{ (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)}$$

$$= 46,555 \text{ ft}$$

c. Gate valve = 2 buah (widef open)

$$\begin{aligned} Le/D &= 9 \\ L \text{ elbow} &= 9 \text{ ID} \\ &= 9 \times 2 \times 0,6651 \text{ (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)} \\ &= 11,97 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{d. Tee} &= 1 \text{ buah} \\ Le/D &= 50 \\ L \text{ elbow} &= 50 \text{ ID} \\ &= 50 \times 1 \times 0,67 \text{ (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)} \\ &= 33,25 \text{ ft} \end{aligned}$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned} \Delta L &= 100 + 46,56 + 11,97 + 33,25 \\ &= 191,78 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menentukan friksion loss

1. Friksi pada kontraksi

$$\begin{aligned} K_c &= 0,55 \times (1 - (A_2/A_1)) \\ &\quad (A_2/A_1 = 0 \text{ karena nilai } A_1 > A_2) \\ &= 0,55 \\ h_c &= \frac{K_c v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \\ &= \frac{0,55 \times 5690478,85}{2 \times 1 \times 32,174} = 48638 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

2. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned} F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot g_c \cdot D} \\ &= \frac{4 \times 0,01 \times 5690478,85 \times 191,78}{2 \times 1 \times 32,174 \times 0,67} \\ &= 663009,96 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

3. Friksi pada ekspansi

$$\begin{aligned} K_{ex} &= (1 - (A_2/A_1))^2 \\ &= (1 - 0)^2 \\ &= 1 \\ h_{ex} &= \frac{K_{ex} v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \\ &= \frac{1 \times 5690478,85}{2 \times 1 \times 32,174} \\ &= 88432,88 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

4. Friksi pada Elbow 90 ° 2 buah

$$K_f = 0,8$$

$$\begin{aligned}
 hf &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} && \text{(Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 94)} \\
 &= 2 \frac{0,8 \times 6, \text{E}+06}{2 \times 32,17} \\
 &= 1, \text{E}+05 \quad \text{lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

5. Friksi pada Gate valve 2 buah

$$K_f = 0,2 \quad \text{(Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 94)}$$

$$\begin{aligned}
 hf &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \\
 &= 2 \frac{0,2 \times 5690478,85}{1 \times 32,174} \\
 &= 80179,14 \quad \text{lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

6. Friksi pada Tee 1 buah

$$K_f = 1 \quad \text{(Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 94)}$$

$$\begin{aligned}
 hf &= 1 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \\
 &= 1 \frac{1 \times 5690478,85}{1 \times 32,174} \\
 &= 235821,01 \quad \text{lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}
 \text{Total fri } (\Sigma F) &= F_f + h_c + h_{\text{eks}} + hf \\
 &= 1248730,40 \quad \text{lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

Dari pers. 2.7-28, Geankoplis, hal. 64

$$\left(\frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \right) + \left(\frac{g \Delta Z}{gc} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 30 \quad \text{ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 828,71 \quad \text{ft/detik}$$

$$\alpha = 1 \quad (\text{aliran turbulen})$$

$$\begin{aligned}
 -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \right) + \left(\frac{g \Delta Z}{gc} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\
 &= \left(\frac{828,7131^2}{2 \times 1 \times 32,174} \right) + \left(\frac{30}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,158} \right) + 1248730,40 \\
 &= 1259404,0052
 \end{aligned}$$

$$W_s = -1259404,01$$

$$\text{Untuk kapasitas (Q)} = 309737,52 \quad \text{gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 64\%$$

$$W_p = \frac{W_s}{\eta_{\text{pompa}}} = \frac{\text{#####}}{0,64} = 1967818,76 \text{ ft lbf/lbm}$$

$$\text{Pump Horse Power} = \frac{(W_p) \times Q \times \rho}{550} \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520})$$

$$= \frac{2, \text{E}+06 \times 828,7131 \times 62,16}{550}$$

$$= 2, \text{E}+08 \text{ Hp}$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{Pump HP}}{\eta_{\text{pompa}}} = \frac{2, \text{E}+08}{64\%} = 3 \text{E}+08 \text{ Hp}$$

$$\eta_{\text{motor}} = 80\% = 0,8 \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta_{\text{motor}}}$$

$$= \frac{2, \text{E}+08}{0,80}$$

$$= 2 \text{E}+08 \text{ Hp} \approx \# \text{ Hp}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : 1 Hp
- Bahan : Carbon Steel
- Jumlah : 1 buah

4. Bak Skimmer

Fungsi : Untuk memisahkan kotoran yang mengapung

Dasar Perencanaan:

$$\text{- rate aliran} = 84115272,60 \text{ kg/jam} = 2, \text{E}+08 \text{ lb/jam}$$

$$\text{- densitas } (\rho)_{\text{air}} = 62,158 \text{ lb/ft}^3 = 1 \text{ gr/cm}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho_{\text{liquid}}} \\ &= \frac{185440529,97 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 2983368,70 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 84480,05 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 2 \text{ jam}$$

$$\text{Volume air} = \text{rate volumetrik} \times \text{waktu pengendapan}$$

$$= 84480,05 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2$$

$$= 168960,10 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume liquid} = 80\% \text{ volume bak, sehingga :}$$

$$\text{Volume bak} = \frac{168960,1029 \text{ m}^3}{0,8}$$

$$= 211200,1287 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

$$\text{Panjang} : \text{Lebar} : \text{Tinggi} = 5 \times 3 \times 2$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 30 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 30 \text{ x}^3 \\ 211200,1287 \text{ m}^3 &= 30 \text{ x}^3 \\ \text{x} &= 19,1657 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak skimmer :

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 5 \times 19,166 \text{ m} = 95,8284 \approx 96 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 3 \times 19,166 \text{ m} = 57,4970 \approx 58 \text{ m} \\ \text{Tinggi} &= 2 \times 19,166 \text{ m} = 38,3314 \approx 39 \text{ m} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Bak Skimmer

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 96 m
- Lebar : 58 m
- Tinggi : 39 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

5. Pompa Air Tangki Clarifier

Fungsi : Memompakan air sungai ke bak penampung air bersih

Tipe : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 84115272,60 kg/jam = 1,85E+08 lb/jam
- densitas (ρ)_{ai} = 62,158 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik

Perhitungan :

Dengan cara yang sama pada pompa L-211, maka diperoleh spesifikasi sebagai berikut:

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Merk : Showfou
- Daya pompa : 1 Hp
- Bahan : Carbon Steel
- Suhu max : 70 °C
- Jumlah : 1 buah

6. Tangki Clarifier

Fungsi: Tempat terjadinya proses flokulasi dan koagulasi dengan penambahan koagulan alum ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$)

Bahan: Carbon Steel SA-240 Grade M Type 316

Dasar Perencanaan:

Dibuat 5 tangki sehingga rate aliran dibagi 5

- rate aliran = 84115272,60 kg/jam = 1,85E+08 lb/jam

- densitas (ρ)_{air} = 62,158 lb/ft³ = 1 gr/cm³

Perhitungan :

A. Menentukan dimensi tangki clarifier

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{185440529,97 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 3,0 \times 10^6 \text{ ft}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Diasumsikan :

- Volume Bahan = 80% Volume tangki

- Volume Ruang Koso = 20% Volume tangki

- Waktu Tinggal = 30 Menit

Volume Bahan = 2983368,70 ft³/jam x 0,5 jam

= 1491684,35 ft³ = 42240,03 m³

$$\begin{aligned} \text{Jadi, Volume tangki (V}_T) &= \frac{1,0 \times 10^6 \text{ ft}^3}{80\%} \\ &= 2,0 \times 10^6 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Kebutuhan alum 30% dari volume air total

konsentrasi alum yang digunakan adalah 80 mg/l (kg/m³)

Jadi,

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan alum} &= 30\% \times 4,0 \times 10^4 \text{ m}^3 \times 0,08 \text{ kg/m}^3 \\ &= 1,0 \times 10^3 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan alum tiap hari} &= \frac{24 \text{ jam/hari} \times 1,0 \times 10^3 \text{ kg}}{1 \text{ jam}} \\ &= 48660,51 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Menentukan dimensi tangki :

$$V = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \text{ tg } 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} L_s$$

Asumsi : $L_s = 1,5 D_i$

$$2,0 \times 10^6 \text{ ft}^3 = \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \text{ tg } (60)} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} 1,5 D_i$$

$$2,0 \times 10^6 \text{ ft}^3 = 0,0755 D_i^3 + 1,1775 D_i^3$$

$$D_i^3 = 1,0 \times 10^6 \text{ ft}^3$$

$$D_i = 114,1671 \text{ ft} = 1370,01 \text{ in}$$

Menentukan tinggi bahan (L_{L_s}) :

Volume baha: = Volume tutup bawah + Volume silinder

$$= \frac{\pi \cdot D_i^3}{24 \operatorname{tg} 1/2 \alpha} + \frac{\pi \cdot D_i^2}{4} L_{Ls}$$

$$1, E+06 \quad \text{ft}^3 = \frac{3,1 \times [114,1671]^3}{24 \operatorname{tg} (60)} + \frac{3,1 \times [114,1671]^2}{4} L_{Ls}$$

$$1, E+06 \quad \text{ft}^3 = 1, E+05 \quad \text{ft}^3 + 10231,79 \quad \text{ft}^2 L_{Ls}$$

$$L_{Ls} = 134,80 \quad \text{ft}$$

Menentukan tekanan design (P_i) :

$$P_{\text{design}} = P_{\text{operasi}} + P_{\text{hidrostatik}}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \frac{\rho (H - 1)}{144}$$

$$= \frac{62,1581 [134,8034 - 1]}{144} = 57,757 \quad \text{psia}$$

$$P_{\text{design}} = [15 + 57,757] \quad \text{psia} - 14,7$$

$$= 57,757 \quad \text{psig}$$

Menentukan tebal silinder (t_s) :

Bahan : HAS SA 240 Grade B

- allowable (f) = 18750 psi (Brownel 1959, hal. 342)
- faktor korosi (C) = 1/16 in
- tipe pengelasan = Double welded butt joint (0,8) (Brownel 1959, hal. 254)

$$t_s = \frac{P_i \times D_i}{2 (f \times E - 0,6 P_i)} + C$$

$$= \frac{57,757 \times 1, E+03}{2 (18750 \times 0,8 - 0,6 \times 57,757)}$$

$$= (2,6437 \times (16 / 16)) + (1 / 16)$$

$$= 43,299 / 16 \approx 3/16 \quad \text{in}$$

$$\text{Standarisasi : } d_o = d_i + 2 t_s$$

$$= 1370,01 + 2 (3/16)$$

$$= 1370,38 \quad \text{in} = 114,15 \quad \text{ft}$$

Dengan pendekatan ke atas maka didapatkan harga: 180 in
(Brownel 1959, tabel 5.7 hal. 89-91)

Menentukan tinggi silinder (L_s) :

$$\text{Volume tangk} = \frac{\pi d_i^3}{24 \operatorname{tg} 1/2 \alpha} + \frac{\pi d_i^2}{4} L_s$$

$$2, E+06 = \frac{3,1 (1, E+02)^3}{24 \operatorname{tg} 1/2 (120)} + \frac{3}{4} L_s (114,2)^2 L_s$$

$$2, E+06 = 1, E+05 + 10229$$

$$L_s = 2, E+02 \text{ ft} = 2055,6$$

Menentukan dimensi tutup bawah (conical) :

Tebal tutup bawah (thb)

$$\begin{aligned} \text{thb} &= \frac{\text{Pi} \times \text{di}}{2 (f \times E - 0,6 \times \text{Pi}) \cos 1/2 \alpha} + C \\ &= \frac{57,757 \times 1370,0055}{2 (18750 \times 0,8 - 0,6 \times 57,757) \cos 60^\circ} + \frac{1}{16} \\ &= (5,2873 \times (16/16)) + (1/16) \\ &= 9, E+01 / 16 \approx 2/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Tinggi tutup bawah (hb)

$$\text{hb} = \frac{1/2 \text{ di}}{\text{tg } 1/2 \alpha} = \frac{1/2 \times 1, E+03}{\text{tg } 60^\circ} = 395,49 \text{ in}$$

Dari perhitungan di atas, diperoleh dimensi tangki baffle mixing sebagai berikut :

$$\begin{aligned} D_o &= 1370,38 \text{ in} & \text{thb} &= 2/16 \text{ in} \\ D_i &= 1370,01 \text{ in} & \text{hb} &= 395,49 \text{ in} \\ L_s &= 2055,58 \text{ in} & t_s &= 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki} &= \text{hb} + L_s \\ &= 395,49 + 2055,6 \\ &= 2451,06 \text{ in} \end{aligned}$$

B. Menentukan dimensi pengaduk

Perencanaan pengaduk :

- Jenis pengaduk = Axial turbine 4 blades, sudut 45°
(G.G. Brown, hal. 507)
- Bahan Impeller = HAS SA 240 Grade M Type 316
- Bahan poros pengaduk = Hot Roller SAE 1020

Dari "Mc. Cabe, jilid I, hal. 235, didapatkan :

$$\begin{aligned} \frac{D_a}{D_t} &= \frac{1}{3} & \frac{L}{D_a} &= \frac{1}{4} & \frac{J}{D_t} &= \frac{1}{12} \\ \frac{E}{D_a} &= 1 & \frac{W}{D_a} &= \frac{1}{5} \end{aligned}$$

Dimana :

- D_a = diameter Impeller
- D_t = diameter tangki
- E = tinggi Impeller dari dasar tangki
- L = panjang Impeller
- W = lebar Impeller
- J = tebal Blade

a. Menentukan diameter Impeller

$$D_a = 1/3 \times D_t = 1/3 \times 1370,38 \text{ in} = 456,79 \text{ in}$$

b. Menentukan jarak Impeller dari dasar tangki

$$E = 1 \times D_a = 1 \times 456,79 \text{ in} = 456,79 \text{ in}$$

c. Menentukan panjang Impeller

$$L = 1/4 \times D_a = 1/4 \times 456,79 \text{ in} = 114,20 \text{ in}$$

d. Menentukan lebar Impeller

$$W = 1/5 \times D_a = 1/5 \times 456,79 \text{ in} = 91,36 \text{ in}$$

e. Menentukan tebal Blade

$$J = 1/12 \times D_t = 1/12 \times \text{#####} \text{ in} = 114,20 \text{ in}$$

Perhitungan daya pengaduk :

$$P = \frac{\phi \times \rho \times n^3 \times D_i^5}{gc} \quad (\text{G.G. Brown, hal. 506})$$

Dimana :

P = daya pengaduk ϕ power number

ρ = densitas bahan (62,1581 lb/ft³)

D_i = diameter impeller (38,051 ft)

gc = faktor gravitasi konversi (32 lb.ft/detik².lbf

n = putaran pengaduk, ditetapkan 60 rpm = 1 rps

(Perry 6th ed. hal. 19-6)

Menghitung bilangan Reynold (N_{Re})

$$N_{Re} = \frac{D_i^2 \times n \times \rho}{\mu} \quad (\text{Pers. 3.4-1, Geankoplis, hal. 144})$$

$$\mu = 0,00054 \text{ lb/ft.detik}$$

$$N_{Re} = \frac{(38,05)^2 \times 1 \times 62,16}{0,000538}$$

$$= 167280482,40$$

Diketahui jenis aliran adalah turbulen ($N_{Re} > 2100$)

Dari "G.G. Brown", fig. 477, hal. 507, diperoleh $\phi = 0,4$

Sehingga :

$$P = \frac{0,4 \times 62,16 \times (1)^3 \times (38,05)^5}{32,17}$$

$$= 61642069 \text{ lb.ft/detik}$$

$$= 1, \text{E}+05 \text{ Hp}$$

Kehilangan-kehilangan daya :

- *Gain losses* (kebocoran daya pada proses dan bearing / poros datar)
diperkirakan 10% dari daya masuk

- *Transmission System Losses* (kebocoran belt atau gear)
diperkirakan 15% dari daya masuk

Sehingga daya yang dibutuhkan,

$$\begin{aligned}
&= [0,1 + 0,2] P + P \\
&= [##### + 16811] Hp + ##### Hp \\
&= ##### \approx ### Hp
\end{aligned}$$

Perhitungan poros pengaduk :

1. Diameter poros

$$T = \frac{63025 H}{N} \quad (\text{Hesse, hal. 469})$$

Dimana H = daya motor pada poros = 5 Hp

N = putaran pengaduk (rpm)

$$\begin{aligned}
T &= \frac{63025 \times 5}{60} \\
&= 5252,083 \text{ lb.in}
\end{aligned}$$

Dari "Hesse", tabel 16-1, hal. 457, untuk bahan *Hot Rolled Steel* SAE 1020, mengandung karbo. 20% dengan batas elastis 36000 lb/in²

S (maksimum design shering stress yang diijinkan)

$$= 20\% \times 36000 \text{ lb/in}^2 = 7200 \text{ lb/in}^2$$

Maka didapatkan diameter poros pengaduk (D) :

$$\begin{aligned}
D &= \left(\frac{16 \times T}{\pi \times S} \right)^{1/3} \\
&= \left(\frac{16 \times 1050,4167}{3,14 \times 7200} \right)^{1/3} = 1,549 \text{ in} \quad (\text{Hesse, hal. 465})
\end{aligned}$$

2. Panjang poros

$$L = h - Z_i$$

Dimana L = panjang poros (ft)

Z_i = jarak impeler dari dasar tangki = 456,79 in

h = tinggi silinder + tinggi tutup bawah = 2451,06 in

Jadi, panjang poros pengaduk (L),

$$\begin{aligned}
&= [2451,06 - 456,79] \text{ in} \\
&= 1994,27 \text{ in} = 166,19 \text{ ft}
\end{aligned}$$

» Spesifikasi Tangki Clarifier

- Bentuk : Tangki silinder, tutup bawah berbentuk conical
- Diameter tangki : OD = 1370,4 in
ID = 1,E+03
- Tebal tangki (ts) : 3/16 in
- Tinggi tangki : 2451,06 in
- Diameter Impeller : 456,79 in
- Lebar Impeller : 114,20 in
- Daya motor : 1,E+05 Hp
- Jumlah : 5 buah

7. Sand Filter

Fungsi : Menghilangkan warna, bau dan rasa air sungai

Bejana berbentuk silinder, tuutp atas dan bawah berbentuk Standar Dished

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = ##### kg/jai = 1,85E+08 lb/jam
- densitas (ρ)ai = 62,158 lb/ft³ = 1 gr/cm³

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{185440529,97 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 2983368,70 \text{ ft}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Diasumsikan :

- Volume Bahan = 80% Volume tangki
- Volume Ruang Kosong = 20% Volume tangki
- Waktu Tinggal = 30 Menit
- Volume liquid = 3,E+06 ft³/jam \times 0,5 jam
- = 1,E+06 ft³ = 4,E+04 m³

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{1,E+06 \text{ ft}^3}{0,8} \\ &= 2,E+06 \text{ ft}^3 \\ \text{Volume ruang kosong} &= 20\% \times 2,E+06 \text{ ft}^3 \\ &= 4,E+05 \text{ ft}^3 \\ \text{Porositas} &= \frac{\text{V ruang kosong}}{\text{V ruang kosong} + \text{V padatan}} \end{aligned}$$

Diasumsikan *porositas bad* sebes 0,4

$$\text{Maka, } 0,4 = \frac{372921,09}{4,E+05 + \text{V padatan}}$$

$$1,E+05 + 0,4 \text{ V padatan} = 4,E+05$$

$$\text{V padatan} = 6,E+05 \text{ ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume total tangk} &= \text{Volume padatan} + \text{Volume air} \\ &= 6,E+05 \text{ ft}^3 + 1,E+06 \text{ ft}^3 \\ &= 2,E+06 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Menentukan dimensi tangki

$$\text{Volume tangki} = 1/4 \pi \text{ Di}^2 \text{ Ls}$$

Diasumsikan, Ls = 1,5 Di, sehingga :

$$2,E+06 \text{ ft}^3 = 1/4 \times 3,14 \times (\text{Di})^2 \times 1,5 \text{ Di}$$

$$2,E+06 \text{ ft}^3 = 1,1775 \text{ Di}^3$$

$$\text{Di} = 120,32 \text{ ft}$$

Jadi,

$$\text{Tinggi tangki (Ls)} = 1,5 \times 120,32 = 180,48 \text{ ft}$$

Menentukan tinggi tutup atas dan tutup bawah (h) :

$$\begin{aligned} h &= 0,196 \text{ Di} \\ &= 0,196 \times 120,32 \text{ ft} = 24 \text{ ft} \end{aligned}$$

Sehingga, total tinggi tangki

$$\begin{aligned} &= Ls + 2 (h) \\ &= 21,2116 \text{ ft} + 2 (3,3516) \text{ ft} = 227,65 \text{ ft} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Tangki Sand Filter

- Bentuk : Silinder tegak, tutup atas dan tutup bawah berbentuk Standar Dished
- Tinggi : 227,6464 ft
- Diameter : 120,3205 ft
- Bahan : Carbon Steel
- Jumlah : 1 buah

8. Bak Air Bersih

Fungsi : Menampung air bersih untuk selanjutnya didistribusikan ke proses selanjutnya

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = $8, \text{E}+07 \text{ kg/jam} = 2, \text{E}+08 \text{ lb/jam}$
- densitas (ρ)_{ai} = $62,158 \text{ lb/ft}^3 = 1 \text{ gr/cm}^3$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{185440529,97 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 3, \text{E}+06 \text{ ft}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 3 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 3, \text{E}+06 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\ &= 9, \text{E}+06 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume air} = 80\% \text{ volume bak, sehingga :}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= \frac{8950106,10 \text{ m}^3}{0,8} \\ &= 1, \text{E}+07 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

$$\begin{aligned} \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 5 \times 3 \times 2 \\ \text{Volume bak} &= 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 30 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 30 \text{ x}^3 \\ 1, \text{E}+07 \text{ m}^3 &= 30 \text{ x}^3 \\ \text{x} &= 71,9790 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak air bersih :

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 5 \times 71,979 \text{ m} = 359,8949 \approx 360 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 3 \times 71,979 \text{ m} = 215,9369 \approx 216 \text{ m} \\ \text{Tinggi} &= 2 \times 71,979 \text{ m} = 143,9579 \approx 144 \text{ m} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Bak Air Bersih

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 360 m
- Lebar : 216 m
- Tinggi : 144 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

9. Pompa Air Bersih

Fungsi : Untuk memompakan air dari bak penampung air bersih untuk didistribusikan menuju treatment air proses dan air umpan Boiler, air pendingin serta air untuk kebutuhan sanitasi

Type : Centrifugal Pump

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 84115272,60 kg/jam = 2, E+08 lb/jam
- densitas (ρ)air = 62,16 lb/ft³ = 1 gr/cm³

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{2, \text{E}+08 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 2983368,70 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 828,71 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 309737,67 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 4000$), maka :

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496}) \\ \text{ID optimal} &= 3,9 \times [8, \text{E}+02]^{0,45} \times [62,1581]^{0,13} \\ &= 1, \text{E}+02 \text{ in} \approx 137 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 8 in sch 40 (Geankoplis, APP A-5, Hal 892)

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 8,625 \text{ in} = 0,7187 \text{ ft}$$

$$ID = 7,981 \text{ in} = 0,6651 \text{ ft}$$

$$A = 0,3474 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{828,71 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,35 \text{ ft}^2} \\ &= 2385,47 \text{ ft/detik} \\ &= 8587704,95 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,67 \times 2,E+03 \times 62,16}{0,001} \\ &= 2,E+08 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 4000$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah Carbon Steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,0002 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,0002 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0002}{0,6651} = 0,0002$$

$$f = 0,0065 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

Direncanakan :

- a. Panjang pipa lurus = 100 ft
- b. Elbow, 90° = 2 buah
 - Le/D = 35 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)
 - L elbow = 35 ID
 - = 35 x 2 x 0,67
 - = 46,56 ft
- c. Gate valve = 2 buah (widef open)
 - Le/D = 9 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)
 - L elbow = 9 ID
 - = 9 x 2 x 0,67
 - = 11,97 ft
- d. Tee = 1 buah
 - Le/D = 50 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)
 - L elbow = 50 ID
 - = 50 x 1 x 0,67
 - = 33,25 ft

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}\Delta L &= 100 + 46,56 + 11,97 + 33,25 \\ &= 191,78 \text{ ft}\end{aligned}$$

Menentukan friksion loss

1. Friksi pada kontraksi

$$\begin{aligned}K_c &= 0,55 \times (1 - (A_2/A_1)) \\ & \quad (A_2/A_1 = 0 \text{ karena nilai } A_1 > A_2) \\ &= 0,55 \\ h_c &= \frac{K_c v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \\ &= \frac{0,55}{2} \times \frac{1}{1} \times \frac{\text{#####}}{32,174} = 48638 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

2. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot g_c \cdot D} \\ &= \frac{4 \times 0,0065 \times 6, \text{E}+06 \times 191,7806}{2 \times 1 \times 32,174 \times 0,6651} \\ &= 7, \text{E}+05 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

3. Friksi pada ekspansi

$$\begin{aligned}K_{ex} &= (1 - (A_2/A_1))^2 \\ &= (1 - 0)^2 \\ &= 1 \\ h_{ex} &= \frac{K_{ex} v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \\ &= \frac{1 \times 6, \text{E}+06}{2 \times 1 \times 32,174} \\ &= 88432,96 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

4. Friksi pada Elbow 90° 2 buah

$$\begin{aligned}K_f &= 0,8 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 94}) \\ h_f &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 2 \frac{0,8 \times 6, \text{E}+06}{2 \times 32,174} \\ &= 1, \text{E}+05 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

5. Friksi pada Gate valve 2 buah

$$\begin{aligned}K_f &= 0,2 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 94}) \\ h_f &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 2 \frac{0,2 \times 6, \text{E}+06}{1 \times 32,174} \\ &= 8, \text{E}+04 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

6. Friksi pada Tee 1 buah

$$K_f = 1 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 94})$$

$$\begin{aligned} h_f &= 1 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 1 \frac{1 \times 6, E+06}{1 \times 32,174} \\ &= 2, E+05 \quad \text{lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned} \text{Total fri } (\Sigma F) &= F_f + h_c + h_{eks} + h_f \\ &= 1, E+06 \quad \text{lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

Dari pers. 2.7-28, Geankoplis, hal. 64

$$\left(\frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \right) + \left(\frac{g \Delta Z}{g_c} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 30 \quad \text{ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 8, E+02 \quad \text{ft/detik}$$

$$\alpha = 1 \quad (\text{aliran turbulen})$$

$$\begin{aligned} -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \right) + \left(\frac{g \Delta Z}{g_c} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\ &= \left(\frac{828,7135^2}{2 \times 1 \times 32,174} \right) + \left(\frac{30}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,158} \right) + ##### \\ &= 1259405,2072 \end{aligned}$$

$$W_s = -1259405$$

Untuk kapasitas ($Q = 3, E+05$ gpm)

$$\eta_{\text{pompa}} = 64\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520})$$

$$W_p = \frac{-W_s}{\eta_{\text{pompa}}} = \frac{1, E+06}{0,64} = 2, E+06 \quad \text{ft lbf/lbm}$$

$$\begin{aligned} \text{Pump Horse Power} &= \frac{(W_p) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{2, E+06 \times 828,7135 \times 62,16}{550} \\ &= 2, E+08 \quad \text{Hp} \end{aligned}$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{Pump HP}}{\eta_{\text{pompa}}} = \frac{2, E+08}{64\%} = 3, E+08 \quad \text{Hp}$$

$$\eta_{\text{motor}} = 80\% = 0,8 \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta_{\text{motor}}}$$

$$= \frac{2, \text{E}+08}{0,80}$$

$$= 2 \text{E}+08 \text{ Hp} \approx 2, \text{E}+08 \text{ Hp}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : ### Hp
- Bahan : Carbon Steel
- Jumlah : 1 buah

10. Kation Exchanger (D-210 A)

Fungsi : Menghilangkan ion-ion positif yang dapat menyebabkan kesadahan air.

Rsein : RSO_3H^+

Dimana kapasitas tukar kation/anion total exchanger capacity (TEC) :

Kation : $88,2 \text{ lb/ft}^3$ (Pure water care, 2014)

Asumsi kesadahan TDS

Total kation/anion : $133 \text{ mg/L} = 0,0083029 \text{ lb/ft}^3$

Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M type 316

Dasar Perencanaan :

- rate aliran = $13943,82 \text{ kg/jam} = 30740,82 \text{ lb/jam}$
- densitas air = $62,1581 \text{ lb/ft}^3$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{30740,82}{62,1581} \\ &= 494,56 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 3,890094 \text{ L/s} \\ &= 883,5493 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Penentuan kapasitas resin :

$$V_R = \frac{Q.t.TDS.15,45}{\text{TEC}.35,34.\eta} \quad (\text{Pure water care, 2014})$$

$$V_R = \frac{Q.t.TDS.0,4372}{\text{TEC}.\eta}$$

$$V_p = Q.t$$

$$V_R = \frac{V_p.TDS.0,4372}{\text{TEC}.\eta}$$

Volume kation :

$$V_R = \frac{494,5586 \times 24 \times 0,008303 \times 0,4372}{88,2 \times 90\%}$$

$$= 0,542785 \text{ ft}^3 = 15,37 \text{ L}$$

Diambil volume resin VR = 15,37 (untuk lama waktu siklus 24 jam)

Sehingga untuk waktu siklus 1 tahun dibutuhkan resin sebanyak :

$$\begin{aligned} V_R &= 15,37 \times 83 \text{ hari} \\ &= 1275,705 \text{ L} = 1,2757 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan :

- Tangki berbentuk silinder
- kecepatan air = 3 gpm/ft²
- tinggi bed = 4 m
- tinggi tangki = 1,5 diameter

Luas penampang tangki = $\frac{\text{rate volumetrik}}{\text{kecepatan air}}$

$$= \frac{883,5493}{3}$$

$$= 294,5164 \text{ ft}^2$$

Volume resin = Luas . Tinggi bed

$$1,275705 = \text{Luas} \cdot 4$$

Luas = 0,318926 m²

Diameter bed = $\frac{A}{\pi/4}$

$$= \frac{0,318926}{0,785}$$

$$= 0,4 \text{ m}$$

Direncanakan H/D = 1,5

H = 1,5 x 0,6355

$$= 1 \text{ m}$$

Spesifikasi kation exchanger

- Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316
- Diameter : 0,4 m
- Tinggi : 1 m
- Jumlah : 1 buah

11. Anion Exchanger (D-210 B)

Fungsi : Menghilangkan ion-ion negatif yang dapat menyebabkan kesadahan air.

Rsein : $\text{RCH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{OH}$

Dimana kapasitas tukar kation/anion total exchanger capacity (TEC) :

Kation : 48,3 lb/ft³ (Pure water care, 2014)

Asumsi kesadahan TDS

Total kation/anion : 133 mg/L = 0,0083029 lb/ft³

Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M type 316

Dasar Perencanaan :

- rate aliran = 13943,82 kg/jam = 30740,82 lb/jam
- densitas air = 62,1581 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{30740,82}{62,1581} \\
 &= 494,56 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 3,890094 \text{ L/s} \\
 &= 883,5493 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

Penentuan kapasitas resin :

$$V_R = \frac{Q.t.TDS.15,45}{TEC.35,34.\eta} \quad (\text{Pure water care, 2014})$$

$$V_R = \frac{Q.t.TDS.0,4372}{TEC.\eta}$$

$$V_p = Q.t$$

$$V_R = \frac{V_p.TDS.0,4372}{TEC.\eta}$$

Volume kation :

$$\begin{aligned}
 V_R &= \frac{494,5586 \times 24 \times 0,008303 \times 0,4372}{48,3 \times 90\%} \\
 &= 0,991173 \text{ ft}^3 = 28,067 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Diambil volume resin VR = 28,07 (untuk lama waktu siklus 24 jam)

Sehingga untuk waktu siklus 1 tahun dibutuhkan resin sebanyak :

$$\begin{aligned}
 V_R &= 28,067 \times 83 \text{ hari} \\
 &= 2329,548 \text{ L} = 2,3295 \text{ m}^3 \quad \text{untuk siklus 3 bulan}
 \end{aligned}$$

Direncanakan :

- Tangki berbentuk silinder
- kecepatan air = 3 gpm/ft²
- tinggi bed = 4 m
- tinggi tangki = 1,5 diameter

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang tangki} &= \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{kecepatan air}} \\
 &= \frac{883,5493}{3}
 \end{aligned}$$

$$= 294,5164 \text{ ft}^2$$

$$\text{Volume resin} = \text{Luas} \cdot \text{Tinggi bed}$$

$$2,329548 = \text{Luas} \cdot 4$$

$$\begin{aligned}
 \text{Luas} &= 0,582387 \text{ m}^2 \\
 \text{Diameter bed} &= \frac{A}{\pi/4} \\
 &= \frac{0,582387}{0,785} \\
 &= 0,7 \text{ m} \\
 \text{Direncanakan H/D} &= 1,5 \\
 \text{H} &= 1,5 \times 0,6355 \\
 &= 1 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi kation exchanger

- Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316
- Diameter : 0,7 m
- Tinggi : 1 m
- Jumlah : 1 buah

12. Bak Klorinasi (F-221)

Fungsi : Tempat pencampuran air bersih dan desinfektan sebelum digunakan sebagai air sanitasi

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 2362,74 kg/jam = 5208,944 lb/jam
- Densitas air = 62,158 lb/ft³

$$\begin{aligned}
 \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{5208,944 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 83,80166 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 2,372995 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 2 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 2,372995 \times 2 \\
 &= 4,74599 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan Cl₂

Klorin tidak hanya digunakan sebagai desinfektan untuk membunuh kuman dan juga sebagai oksidan dan kontrol warna dan bau dari air.

Kalorin yang digunakan dengan dosis penggunaan 0,5-1 mg/L

$$\text{Volume air sanitasi} = 2,372995 \text{ m}^3/\text{jam} = 2372,995$$

$$\text{Cl}_2 \text{ yang dibutuhkan} = 1 \text{ mg/L} \times 2372,995 \text{ L/jam}$$

$$= 2372,995 \text{ mg/jam}$$

$$= 0,00237299 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Kebutuhan Cl}_2 \text{ untuk 1 Hari} = 0,00237299 \times 24 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume liquid} &= 0,056952 \text{ kg/jam} \\
 &= 80\% \text{ volume bak sehingga :} \\
 \text{Volume bak} &= \frac{4,74599}{0,8} \\
 &= 5,932487 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 4 \text{ x } 3 \text{ x } 2 \\
 \text{Volume bak} &= 4 \text{ m x } 3 \text{ m x } 2 \text{ m} \\
 &= 24 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 24 \text{ x}^3 \\
 5,932487 \text{ m}^3 &= 24 \text{ x}^3 \\
 \text{x}^3 &= 0,247187 \text{ m}^3 \\
 \text{x} &= 0,627589 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak air bersih :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 4 \text{ x } 0,627589 \text{ m} = 2,5104 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 3 \text{ x } 0,627589 \text{ m} = 1,8828 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 2 \text{ x } 0,627589 \text{ m} = 1,2552 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Bak Klorinasi

- Bentuk : persegi panjang
- Panjang : 2,5104 m
- Lebar : 1,8828 m
- Tinggi : 1,2552 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 buah

13. Pompa ke bak air sanitasi (L-222)

Fungsi : Memompakan air dari bak klorinasi menuju bak air sanitasi

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

$$\begin{aligned}
 \text{- Rate aliran} &= 2362,74 \text{ kg/jam} \\
 &= 5208,944 \text{ lb/jam} \\
 \text{- Densitas} &= 62,1581 \text{ lb/ft}^3 \\
 \text{- Viskositas} &= 0,000538 \text{ lb/ft.detik} \\
 &= 1,936967 \text{ lb/ft.jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{5208,944}{\text{lb/jam}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 62,1581 \text{ lb/ft}^3 \\
 &= 83,80153 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,023278 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 8,700187 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 2100$) maka :

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. Timmerhauss, hal 496})$$

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times 0,184131 \times 1,710625 \\
 &= 1,22842 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 1,25 \text{ in sch 80} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal 892})$$

Sehingga diperoleh

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= 1,66 \text{ in} = 0,138333 \text{ ft} \\
 \text{ID} &= 1,278 \text{ in} = 0,1065 \text{ ft} \\
 \text{A} &= 0,00891 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0,023278 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,00891 \text{ ft}^2} \\
 &= 2,612595 \text{ ft/detik} \\
 &= 9405,342 \text{ ft/jam}
 \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,1065 \times 2,612595 \times 62,1581}{0,000538} \\
 &= 32146,74
 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 2100$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah commercial steel

Sehingga diperoleh :

$$\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} = 0,00015092 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal 80})$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,000151}{0,1065} = 0,001417$$

$$f = 0,003 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal 80})$$

Direncanakan :

$$\text{a. Panjang pipa lurus} = 80 \text{ ft}$$

$$\text{b. Elbow, } 90^\circ = 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned}
 Le/D &= 35 && \text{(Tabel 2.10-1 Geankoplis, hal 93)} \\
 L \text{ elbow} &= 35 \text{ ID} \\
 &= 35 \times 3 \times 0,1065 \\
 &= 11,1825 \text{ ft} \\
 \text{c. Gate valve} &= 2 \text{ buah (wide open)} \\
 Le/D &= 9 && \text{(Tabel 2.10-1 Geankoplis, hal 93)} \\
 L \text{ elbow} &= 9 \text{ ID} \\
 &= 9 \times 2 \times 0,1065 \\
 &= 1,916999 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10 hal 93 diperoleh :

$$K_f = 2 \times 0,17 = 0,34$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= 80 + 11,182 + 1,916999 \\
 &= 93,099 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menentukan friksion loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= \frac{4f \times V^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot gc \cdot D} \\
 &= \frac{4 \times 0,003 \times 2,612595^2 \times 93,099}{2 \times 1 \times 32,174 \times 0,1065} \\
 &= 1,112726 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° 3 buah

$$K_f = 0,75 \quad \text{(Tabel 2.10-2 Geankoplis, hal 94)}$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= \left(3 \frac{K_f \times V^2}{2 \cdot gc} \right) \\
 &= 3 \frac{0,75 \times 2,6126^2}{2 \times 32,174} \\
 &= 0,238667 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate Valve 2 buah

$$K_f = 0,17 \quad \text{(Tabel 2.10-2 Geankoplis, hal 94)}$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= \left(2 \frac{K_f \times V^2}{2 \cdot gc} \right) \\
 &= 2 \frac{0,17 \times 2,6126^2}{2 \times 32,174} \\
 &= 0,036065 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi} = F_f + h_f + h_f = 1,387458 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

Dari pers. 2.7-2.8, Geankoplis, hal 64

$$\frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} + \frac{\Delta Z}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 40 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta V = 2,6126 \text{ ft/detik}$$

$$\alpha = 1 \text{ (aliran turbulen)}$$

$$\begin{aligned} -W_s &= \frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} + \frac{\Delta Z}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F \\ &= \frac{2,6126^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{40}{32,174} + \frac{0}{62,158} + 1,3875 \\ &= 2,736772 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{2,7368 \times 0,023278 \times 62,158}{550} \\ &= 0,0072 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Untuk kapasitas (Q)} = 8,70 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 20\%$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0,0072}{20\%} = 0,036 \text{ Hp}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,036}{80\%} = 0,045 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : 1 Hp
- Bahan : Carbon steel
- Jumlah : 1 buah

14. Bak Air Sanitasi (F-220)

Fungsi : Tempat penampung air sanitasi

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 2362,74 kg/jam = 5208,944 lb/jam
- Densitas air = 62,158 lb/ft³

$$\begin{aligned}
 \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{5208,944 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 83,80166 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 2,372995 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Waktu tinggal} &= 12 \text{ jam} \\
 \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 2,372995 \times 12 \\
 &= 28,47594 \text{ m}^3 \\
 \text{Direncanakan volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak sehingga :}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= \frac{28,47594}{0,8} \\
 &= 35,59492 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 6 \times 3 \times 2 \\
 \text{Volume bak} &= 6 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\
 &= 36 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 36 \text{ x}^3 \\
 35,59492 \text{ m}^3 &= 36 \text{ x}^3 \\
 \text{x}^3 &= 0,988748 \text{ m}^3 \\
 \text{x} &= 0,996235 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak air sanitasi :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 6 \text{ x } 0 \text{ m} = 0 \text{ m} = 6 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 3 \text{ x } 0 \text{ m} = 0 \text{ m} = 3 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 2 \text{ x } 0 \text{ m} = 0 \text{ m} = 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Bak air sanitasi

- Bentuk : persegi panjang
- Panjang : 6 m
- Lebar : 3 m
- Tinggi : 2 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 buah

15. Baik air lunak (F-231)

Fungsi : Tempat penampung air lunak

Dasar perencanaan :

$$\text{- Rate aliran} = 13943,82 \text{ kg/jam} = 30740,82 \text{ lb/jam}$$

$$\begin{aligned}
 - \text{Densitas air} &= 62,158 \text{ lb/ft}^3 \\
 \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{30740,82 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 494,5594 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 14,00434 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Waktu tinggal} &= 12 \text{ jam} \\
 \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 14,00434 \times 12 \\
 &= 168,0521 \text{ m}^3 \\
 \text{Direncanakan volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak sehingga :}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= \frac{168,0521}{0,8} \\
 &= 210,0651 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 6 \times 3 \times 2 \\
 \text{Volume bak} &= 6 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\
 &= 36 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 36 \text{ x}^3 \\
 210,0651 \text{ m}^3 &= 36 \text{ x}^3 \\
 \text{x}^3 &= 5,835142 \text{ m}^3 \\
 \text{x} &= 1,800323 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak air lunak :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 6 \times 1,800323 \text{ m} = 10,802 \text{ m} = 11 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 3 \times 1,800323 \text{ m} = 5,401 \text{ m} = 6 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 2 \times 1,800323 \text{ m} = 3,6006 \text{ m} = 4 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Bak air lunak

- Bentuk : persegi panjang
- Panjang : 11 m
- Lebar : 6 m
- Tinggi : 4 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 buah

16. Pompa Air Lunak (L-232)

Fungsi : Memompakan air dari bak air lunak untuk didistribusikan menuju peralatan proses air pendingin ke deaerator yang akan di treatment

sebagai air umpan boiler

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 13943,82 kg/jam
= 30740,82 lb/jam
- Densitas = 62,1581 lb/ft³
- Viskositas = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{30740,82 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 494,5586 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,137378 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 51,34456 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 2100$) maka :

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13}$$

(Pers. Timmerhauss, hal 496)

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times 0,409319 \times 1,710625 \\ &= 2,730746 \text{ in} \end{aligned}$$

Karena diameter pipa terlalu besar sehingga diambil :

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal 892})$$

Sehingga diperoleh

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 8,625 \text{ in} = 0,71875 \text{ ft} \\ \text{ID} &= 7,981 \text{ in} = 0,665083 \text{ ft} \\ \text{A} &= 0,3474 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0,137378 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,3474 \text{ ft}^2} \\ &= 0,395445 \text{ ft/detik} \\ &= 1423,601 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,665083 \times 0,395445 \times 62,1581}{0,000538} \\ &= 30386,25 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 2100$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah commercial steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} = 0,00015092 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000151}{0,665083} = 0,000227$$

$$f = 0,008 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal 88})$$

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 120 ft

b. Elbow, 90° = 6 buah
 $Le/D = 35$ (Tabel 2.10-1 Geankoplis, hal 93)

$$L \text{ elbow} = 35 \text{ ID} \\ = 35 \times 6 \times 0,71875 \\ = 150,9374 \text{ ft}$$

c. Gate valve = 6 buah (wide open)
 $Le/D = 9$ (Tabel 2.10-1 Geankoplis, hal 93)

$$L \text{ elbow} = 9 \text{ ID} \\ = 9 \times 6 \times 0,71875 \\ = 38,81248 \text{ ft}$$

Dari tabel 2.10 hal 93 diperoleh :

$$K_f = 6 \times 0,17 = 1,02$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\Delta L = 120 + 150,94 + 38,81248 \\ = 309,75 \text{ ft}$$

Menentukan friksion loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = \frac{4f \times V^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot g_c \cdot D} \\ = \frac{4 \times 0,008 \times 0,395445^2 \times 309,75}{2 \times 1 \times 32,174 \times 0,665083} \\ = 0,036218 \text{ lbf.ft/lbm}$$

2. Friksi pada Elbow 90° 3 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2 Geankoplis, hal 94})$$

$$h_f = \left(6 \frac{K_f \times V^2}{2 \cdot g_c} \right) \\ = 6 \frac{0,75 \times 0,3954^2}{2 \times 32,174} \\ = 0,010936 \text{ lbf.ft/lbm}$$

3. Friksi pada Gate Valve 2 buah

$$K_f = 0,17 \quad (\text{Tabel 2.10-2 Geankoplis, hal 94})$$

$$h_f = \left(6 \frac{K_f \times V^2}{2 \cdot gc} \right)$$

$$= 6 \frac{0,17 \times 0,3954^2}{2 \times 32,174} = 0,002479 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi} = F_f + h_f + h_f = 0,049632 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

Dari pers. 2.7-2.8, Geankoplis, hal 64

$$\frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} + \frac{\Delta Z}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 40 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta V = 0,3954 \text{ ft/detik}$$

$$\alpha = 1 \text{ (aliran turbulen)}$$

$$\begin{aligned} -W_s &= \frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} + \frac{\Delta Z}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F \\ &= \frac{0,3954^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{40}{32,174} + \frac{0}{62,158} + 0,0496 \\ &= 1,295302 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{1,2953 \times 0,137378 \times 62,158}{550} \end{aligned}$$

$$= 0,0201 \text{ Hp}$$

$$\text{Untuk kapasitas (Q)} = 51,34 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 65\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37, hal 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0,0201}{65\%} = 0,0309 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 80\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38, hal 520})$$

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,0309}{80\%} = 0,0387 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : 1 Hp
- Bahan : Carbon steel
- Jumlah : 1 buah

17. Bak Air Pendingin (F-233)

Fungsi : Tempat penampung air pendingin

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 5545,89 kg/jam = 12226,58 lb/jam
- Densitas air = 62,158 lb/ft³

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{12226,58 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 196,7016 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 5,569961 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 6 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 5,569961 \times 6 \\ &= 33,41976 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume bak sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= \frac{33,41976}{0,8} \\ &= 41,77471 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

$$\text{Panjang : Lebar : Tinggi} = 6 \times 3 \times 2$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 6 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 36 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 36 \text{ m}^3 \\ 41,77471 \text{ m}^3 &= 36 \text{ m}^3 \\ x^3 &= 1,160408 \text{ m}^3 \\ x &= 1,050841 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak air pendingin :

$$\text{Panjang} = 6 \times 1,050841 \text{ m} = 6,305 \text{ m} = 7 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 3 \times 1,050841 \text{ m} = 3,1525 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times 1,050841 \text{ m} = 2,1017 \text{ m} = 3 \text{ m}$$

Spesifikasi Bak air pendingin

- Bentuk : persegi panjang
- Panjang : 7 m
- Lebar : 4 m
- Tinggi : 3 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 buah

18. Pompa Air Pendingin (L-234)

Fungsi : Memompakan air dari bak air pendingin menuju peralatan proses

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 5545,89 kg/jam
= 12226,58 lb/jam
- Densitas = 62,1581 lb/ft³
- Viskositas = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{12226,58 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 196,7013 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,054639 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 20,42133 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 2100$) maka :

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. Timmerhauss, hal 496})$$

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times 0,270319 \times 1,710625 \\
 &= 1,803419 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal 892})$$

Sehingga diperoleh

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= 8,625 \text{ in} = 0,71875 \text{ ft} \\
 \text{ID} &= 7,981 \text{ in} = 0,665083 \text{ ft} \\
 \text{A} &= 0,3474 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0,054639 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,3474 \text{ ft}^2} \\
 &= 0,157281 \text{ ft/detik}
 \end{aligned}$$

$$= 566,2103 \quad \text{ft/jam}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$N_{Re} = \frac{D \times V \times \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0,665083 \times 0,157281 \times 62,1581}{0,000538}$$

$$12085,56$$

Karena $N_{Re} > 2100$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah commercial steel

Sehingga diperoleh :

$$\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} = 0,00015092 \quad \text{ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal 88})$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,000151}{0,665083} = 0,000227$$

$$f = 0,008 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal 88})$$

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 80 ft

b. Elbow, 90° = 3 buah

$$Le/D = 35 \quad (\text{Tabel 2.10-1 Geankoplis, hal 93})$$

$$L \text{ elbow} = 35 \quad \text{ID}$$

$$= 35 \times 3 \times 0,665083$$

$$= 69,83372 \quad \text{ft}$$

c. Gate valve = 2 buah (wide open)

$$Le/D = 9 \quad (\text{Tabel 2.10-1 Geankoplis, hal 93})$$

$$L \text{ elbow} = 9 \quad \text{ID}$$

$$= 9 \times 2 \times 0,665083$$

$$= 11,9715 \quad \text{ft}$$

Dari tabel 2.10 hal 93 diperoleh :

$$K_f = 2 \times 0,17 = 0,34$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\Delta L = 80 + 69,834 + 11,9715$$

$$= 161,81 \quad \text{ft}$$

Menentukan friksion loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = \frac{4f \times V^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot g_c \cdot D}$$

$$= \frac{4 \times 0,008 \times 0,157281^2 \times 161,81}{2 \times 1 \times 32,174 \times 0,665083}$$

$$= 0,002993 \quad \text{lbf.ft/lbm}$$

2. Friksi pada Elbow 90° 3 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2 Geankoplis, hal 94})$$

$$h_f = \left(6 \frac{K_f \times V^2}{2 \cdot gc} \right)$$

$$= 6 \frac{0,75 \times 0,1573^2}{2 \times 32,174}$$

$$0,00173 \quad \text{lbf.ft/lbm}$$

3. Friksi pada Gate Valve 2 buah

$$K_f = 0,17 \quad (\text{Tabel 2.10-2 Geankoplis, hal 94})$$

$$h_f = \left(6 \frac{K_f \times V^2}{2 \cdot gc} \right)$$

$$= 6 \frac{0,17 \times 0,1573^2}{2 \times 32,174}$$

$$0,000392 \quad \text{lbf.ft/lbm}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi} = F_f + h_f + h_f = 0,005115 \quad \text{lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

Dari pers. 2.7-2.8, Geankoplis, hal 64

$$\frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} + \frac{\Delta Z}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 40 \quad \text{ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta V = 0,1573 \quad \text{ft/detik}$$

$$\alpha = 1 \quad (\text{aliran turbulen})$$

$$-W_s = \frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} + \frac{\Delta Z}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F$$

$$= \frac{0,1573^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{40}{32,174} + \frac{0}{62,158} + 0,0051$$

$$= 1,248739$$

Menghitung daya pompa

$$W_p = \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{1,2487 \times 0,054639 \times 62,158}{550}$$

$$= 0,0077 \quad \text{Hp}$$

$$\text{Untuk kapasitas (Q)} = 20,42 \quad \text{gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 63\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38, hal 521})$$

$$\text{RHP} = \frac{W_p}{\eta} = \frac{0,0077}{0,63} = 0,0122 \quad \text{Hp}$$

$$\begin{aligned}
 \eta_{\text{pompa}} &= 63\% \\
 \eta_{\text{motor}} &= 80\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38, hal 520}) \\
 \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta_{\text{motor}}} \\
 &= \frac{0,0122}{80\%} = 0,0153 \quad \text{Hp}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centifugal pump
- Daya pompa : 1 Hp
- Bahan : Carbon steel
- Jumlah : 1 buah

19. Cooling Tower Water (P-230)

Fungsi : Memompakan air dari bak air pendingin menuju peralatan proses

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 5545,89 kg/jam
= 12226,58 lb/jam
- Densitas = 62,1581 lb/ft³
- Viskositas = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{12226,58 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 196,7013 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,054639 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 20,42133 \text{ gpm} \\
 \text{- Suhu wet bulb udara} &= 25 \text{ }^\circ\text{C} = 77 \text{ }^\circ\text{F} \\
 \text{- suhu air masuk tower} &= 70 \text{ }^\circ\text{C} = 158 \text{ }^\circ\text{F} \\
 \text{- suhu air pendingin} &= 27 \text{ }^\circ\text{C} = 81 \text{ }^\circ\text{F}
 \end{aligned}$$

Digunakan Counter Flow Included-Dreft tower

Dari perry's ed 7 fig 12-14, hal 12-16, didapatkan konsentrasi air gal/m.ft² sehingga luas yang dibutuhkan

$$A = \frac{20,42133 \text{ gpm}}{3 \text{ gal/m.ft}^2} = 6,807108 \text{ ft}^2$$

Menghitung diameter :

$$\text{Luas} = \pi/4 \times d^2$$

$$\begin{aligned}
 6,807108 \text{ ft}^2 &= 0,785 \times d^2 \\
 d^2 &= 8,6715 \text{ ft}^2 \\
 d &= 2,9447 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menghitung volume :

$$\begin{aligned}
 \text{Direncanakan tinggi tower (L)} &= 3 d \\
 \text{Maka, L} &= 3 \times 2,9447 = 8,8342 \text{ ft} \\
 \text{Volume} &= (\pi/4) d^2 L \\
 &= 0,785 \times 8,6715 \times 8,8342 \\
 &= 60,135 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Dari Perry's ed 7 fig 12-15 hal 12-17 didapatkan :
Standar power performance adalah 90%, maka :

$$\frac{\text{Hp fan}}{\text{Luas tower aren}} = 0,025 \text{ Hp/ft}^2$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{Hp fan} &= 0,025 \times \text{luas tower} \\
 &= 0,025 \times 6,8071 \text{ ft}^2 \\
 &= 0,1702 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Cooling Tower

- Tipe : Included Draft tower
- Diameter : 2,9 ft
- Tinggi : 8,8 ft
- Daya : 1 Hp
- Jumlah : 1 buah

20. Tangki Deaerator (D-243)

Fungsi : Menghilangkan gas impurities dalam air umpan boiler dengan injeksi steam

Tipe : Silinder Horizontal

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 569,7535 kg/jam = 1256,09 lb/jam
- Densitas air = 62,158 lb/ft³

$$\begin{aligned}
 \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{1256,09 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 20,20802 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,572226 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 1 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 0,572226 \times 1
 \end{aligned}$$

$$= 0,572226 \text{ m}^3$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume bak sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{0,572226}{0,8}$$

$$= 0,715283 \text{ m}^3$$

Menentukan Dimensi tangki

$$\text{Volume tangki} = 1/4 \pi \text{ Di}^2 \text{ Ls}$$

Diasumsikan $\text{Ls} = 1,5 \text{ Di}$, sehingga :

$$0,715283 \text{ m}^3 = 1/4 \times 3,14 \times (\text{Di})^2 \times 1,5 \text{ Di}$$

$$0,715283 \text{ m}^3 = 1,1775 \text{ Di}^3$$

$$\text{Di} = 0,8469 \text{ m}$$

$$\text{Jadi tinggi tangki (Ls)} = 1,5 \times 0,8469$$

$$= 1,2704 \text{ m}$$

Menentukan tinggi tutup (h)

$$h = 0,196 \text{ Di}$$

$$= 0,196 \times 0,8469$$

$$= 0,166$$

$$\text{Sehingga total tinggi tangki} = \text{Ls} + 2 \text{ (h)}$$

$$= 1,2704 + 0,332$$

$$= 1,6024 \text{ m}$$

Spesifikasi Tangki Deaerator

Bentuk : Silinder horizontal, tutup standart dished

Dimensi : Tinggi = 1,6 m

Di = 0,8 m

Bahan : Carbon Steel SA Grade M type 316

jumlah : 1 buah

21. Bak Boiler Feed Water (F-245)

Fungsi : Sebagai tempat penampung air umpan boiler

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 569,7535 kg/jam = 1256,09 lb/jam

- Densitas air = 62,158 lb/ft³

$$\text{Rate Volumetrik (Q)} = \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}}$$

$$= \frac{1256,09 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 20,20802 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,572226 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 8 \text{ jam}$$

$$\text{Volume air} = \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal}$$

$$= 0,572226 \times 8$$

$$= 4,577811 \text{ m}^3$$

Direncanakan volume liquid = 80% volume bak sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{4,577811}{0,8}$$

$$= 5,722264 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

$$\text{Panjang : Lebar : Tinggi} = 6 \times 3 \times 2$$

$$\text{Volume bak} = 6 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$= 36 \text{ m}^3$$

Sehingga :

$$\text{Volume bak} = 36 \text{ x}^3$$

$$5,722264 \text{ m}^3 = 36 \text{ x}^3$$

$$\text{x}^3 = 0,158952 \text{ m}^3$$

$$\text{x} = 0,541695 \text{ m}$$

Jadi dimensi bak boiler feed water :

$$\text{Panjang} = 6 \times 0,541695 \text{ m} = 3,2502 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 3 \times 0,541695 \text{ m} = 1,6251 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times 0,541695 \text{ m} = 1,0834 \text{ m} = 2 \text{ m}$$

Spesifikasi Bak boiler feed water

- Bentuk : persegi panjang
- Panjang : 4 m
- Lebar : 2 m
- Tinggi : 2 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 buah

22. Pompa ke Boiler (L-246)

Fungsi : Memompakan air umpan boiler menuju boiler

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 569,7535 kg/jam
- = 1256,09 lb/jam
- Densitas = 62,1581 lb/ft³
- Viskositas = 0,000538 lb/ft.detik
- = 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\text{Rate Volumetrik (Q)} = \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1256,09 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 20,20799 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,005613 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 2,097972 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 2100$) maka :

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. Timmerhauss, hal 496})$$

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times 0,097084 \times 1,710625 \\
 &= 0,647692 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 4 \text{ in sch 80} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal 892})$$

Sehingga diperoleh

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= 4,5 \text{ in} = 0,375 \text{ ft} \\
 \text{ID} &= 3,826 \text{ in} = 0,318833 \text{ ft} \\
 \text{A} &= 0,0687 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0,005613 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,0687 \text{ ft}^2} \\
 &= 0,081708 \text{ ft/detik} \\
 &= 294,1485 \text{ ft/jam}
 \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,318833 \times 0,081708 \times 62,1581}{0,000538} \\
 &= 3009,838
 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 2100$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah commercial steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} = 0,00015092 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000151}{0,318833} = 0,000473$$

$$f = 0,0049 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal 88})$$

Direncanakan :

- a. Panjang pipa lurus = 80 ft
- b. Elbow, 90° = 3 buah

$$\begin{aligned}
 Le/D &= 35 && \text{(Tabel 2.10-1 Geankoplis, hal 93)} \\
 L \text{ elbow} &= 35 \text{ ID} \\
 &= 35 \times 3 \times 0,318833 \\
 &= 33,47749 \text{ ft} \\
 \text{c. Gate valve} &= 2 \text{ buah (wide open)} \\
 Le/D &= 9 && \text{(Tabel 2.10-1 Geankoplis, hal 93)} \\
 L \text{ elbow} &= 9 \text{ ID} \\
 &= 9 \times 2 \times 0,318833 \\
 &= 5,738998 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10 hal 93 diperoleh :

$$K_f = 2 \times 0,17 = 0,34$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= 80 + 33,477 + 5,738998 \\
 &= 119,22 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menentukan friksion loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= \frac{4f \times V^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot gc \cdot D} \\
 &= \frac{4 \times 0,0049 \times 0,081708^2 \times 119,22}{2 \times 1 \times 32,174 \times 0,318833} \\
 &= 0,00076 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° 3 buah

$$K_f = 0,75 \quad \text{(Tabel 2.10-2 Geankoplis, hal 94)}$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= \left(6 \frac{K_f \times V^2}{2 \cdot gc} \right) \\
 &= 6 \frac{0,75 \times 0,0817^2}{2 \times 32,174} \\
 &= 0,000467 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate Valve 2 buah

$$K_f = 0,17 \quad \text{(Tabel 2.10-2 Geankoplis, hal 94)}$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= \left(6 \frac{K_f \times V^2}{2 \cdot gc} \right) \\
 &= 6 \frac{0,17 \times 0,0817^2}{2 \times 32,174} \\
 &= 0,000106 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi} = F_f + h_f + h_f = 0,001333 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

Dari pers. 2.7-2.8, Geankoplis, hal 64

$$\frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta Z}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

Direncanakan :

$$\Delta Z = 40 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta V = 0,0817 \text{ ft/detik}$$

$$\alpha = 1 \text{ (aliran turbulen)}$$

$$\begin{aligned} -W_s &= \frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} + \frac{\Delta Z}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F \\ &= \frac{0,0817^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{40}{32,174} + \frac{0}{62,158} + 0,0013 \\ &= 1,244677 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{1,2447 \times 0,005613 \times 62,158}{550} \\ &= 0,0008 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Untuk kapasitas (Q)} = 2,10 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 40\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38, hal 521})$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0,0008}{40\%} = 0,002 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 80\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38, hal 520})$$

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,002}{80\%} = 0,0025 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centifugal pump
- Daya pompa : 1 Hp
- Bahan : Carbon steel
- Jumlah : 1 buah

D.3. Unit Penyedia Tenaga Listrik

Kebutuhan tenaga listrik pada pra-rencana Pabrik Gypsum ini direncanakan dan disediakan oleh PLN dan Generator set. Tenaga listrik yang dipergunakan untuk menggerakkan motor, penerangan, instrumentasi dan lainnya. Perincian kebutuhan listrik terbagi menjadi :

- a. Peralatan proses produksi

- b. Daerah pengolahan air
- c. Listrik untuk penerangan

A. Peralatan proses produksi

Pemakaian listrik untuk peralatan proses produksi, ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel D.2.1. Pemakaian listrik pada peralatan proses produksi

No.	Nama Alat	Jumlah	Daya (Hp)
1	Pompa H ₂ SO ₄	1	1
2	Belt Conveyor	1	1,5
3	Belt Conveyor	1	2
4	Blower	1	15
5	Bucket Elevator	1	15
6	Tangki Pelarut	1	25
7	Tangki Pelarut	1	25
8	Screw Conveyor	1	2
9	Reaktor	1	59
10	Centrifuge	1	24
11	Rotary Dryer	1	28,3
12	Blower	1	15
13	Bucket Elevator	1	4
14	Hammer Mill	1	18
15	Pompa dari tangki pelarut	1	2
16	Pompa dari tangki pelarut	1	2
17	Pompa dari reaktor	1	4
Jumlah			242,8

B. Daerah Pengolahan Air

Pemakaian listrik untuk daerah pengolahan air (water treatment), ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel D.2.2. Pemakaian listrik pada daerah pengolahan air

No.	Nama Alat	Jumlah	Daya (Hp)
1	Pompa air sungai	1	1
2	pompa bak skimming	1	1
3	pompa ke tangki clarifier	1	1
4	tangki clarifier	1	1
5	pompa air bersih	1	1
6	pompa air ke bak sanitasi	1	1
7	pompa peralatan	1	1
8	pompa air pendingin	1	1

9	cooling tower water	1	1
10	pompa ke tangki deaerator	1	1
11	pompa ke boiler	1	1
Jumlah		11	11

Jadi kebutuhan total untuk motor penggerak sebesar :

$$= 243 + 11 = 254 \text{ Hp}$$

$$254 \text{ Hp} \times 0,7457 \text{ kWh/HP} = 189,26 \text{ kWh} \quad 312$$

C. Listrik Penerangan

Pemakaian listrik untuk penerangan dapat diperoleh dengan mengetahui luas bangunan dan area lahan yang di pergunkan, dengan rumus :

$$L = \frac{A \times F}{U \times D} \quad (\text{Perry ed 3, hal 1757})$$

Dimana :

L = Lumen Outlet

A = Luas daerah

F = foot candle

U = koefisien utilitas = 0,8 (Perry ed 3, hal 1757)

D = efisiensi penerangan rata-rata = 0,75 (Perry ed 3, hal 1757)

No	Lokasi	Luas		F	Lumen
		m ²	ft ²		
1	Pos keamanan	15	161,46	10	0,02
2	taman	300	3229,17	10	0,42
3	Parkir tamu	15	161,46	5	0,01
4	Kantor pusat	460	4951,39	15	0,96
5	Pos penimbangan	40	430,56	5	0,03
6	Kantor penelitian	24	258,33	10	0,03
7	Gudang serbaguna	150	1614,59	10	0,21
8	Dapur	15	161,46	5	0,01
9	Perpustakaan	100	1076,39	15	0,21
10	Musholla	80	861,11	10	0,11
11	Kantin dan Koperasi	40	430,56	5	0,03
12	Poliklinik	25	269,10	5	0,02
13	Pemadam kebakaran	50	538,20	10	0,07
14	Parkir karyawan	40	430,56	5	0,03
15	Area Proses	4899	52732,35	30	20,36
16	Gudang Produk	1200	12916,68	10	1,66
17	Manager produksi dan Tk	20	215,28	15	0,04

18	Departemen produksi	400	4305,56	10	0,55
19	Departemen teknik	25	269,10	10	0,03
20	Ruang kontrol	63	678,13	10	0,09
21	Toilet	100	1076,39	5	0,07
22	Bengkel	50	538,20	10	0,07
23	Lab dan pengendalian	35	376,74	10	0,05
24	Generator	30	322,92	10	0,04
25	Ruang bahan bakar	49	527,43	10	0,07
26	Ruang boiler	25	269,10	10	0,03
27	Utilitas	150	1614,59	10	0,21
28	Jalan	250	2690,98	10	0,35
Total		8650	93107,74	280	25,76

Penerangan seluruh area kecuali jalan dan taman, menggunakan Fluorescent lamp type day light 40 watt, yang mempunyai lumen output sebesar 1960 lumen.

$$\text{Lumen Output} = \frac{1960 \text{ lumen}}{40 \text{ watt}} = 49 \text{ lumen/watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Total lumen} &= \text{jumlah lumen} - (\text{lumen jalan} + \text{lumen taman}) \\ &= 25,76 - 0,35 + 0,42 \\ &= 25,00 \text{ lumen} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tenaga listrik yang dibutuhkan} &= \frac{25,00}{49} \\ &= 0,51022326 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lampu yang di butuhkan} &= \frac{0,51022326}{40} \\ &= 0,012756 \\ &= 1653 \text{ Buah} \end{aligned}$$

Penerangan jalan dan taman, menggunakan Mercury vapor light 100 watt dengan lumen output 3000 lumen

$$\text{Lumen Output} = \frac{3000 \text{ lumen}}{100 \text{ watt}} = 30 \text{ lumen/watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Total lumen} &= \text{lumen jalan} + \text{lumen taman} \\ &= 0,35 + 0,42 \\ &= 0,76 \text{ lumen} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tenaga listrik yang dibutuhkan} &= \frac{0,76}{30} \\ &= 0,02539268 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lampu yang di butuhkan} &= \frac{0,02539268}{100} \\ &= 0,000254 \end{aligned}$$

$$= 33 \text{ Buah}$$

Dar perhitungan diatas didapatkan :

- Lampu Fluorescent	=	0,510223	
- Lampu mercury	=	0,025393	
- perlatan bengkel	=	2000	
- perlatan laboratorium	=	1000	
- keperluan lain-lain	=	1250	
Total	=	$\frac{4250,54}{\text{watt}}$	= 4,2505 kWh

$$\begin{aligned} \text{Total kebutuhan listrik} &= 4,2505 + 189,26 \\ &= 193,51 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Pemenuhan kebutuhan listrik yang diperlukan pabrik, PLN sebesar 40% dan untuk menjamin kelancaran produksi sebesar 60% akan dipenuhi oleh generator set yang dimiliki oleh pabrik sehingga ;

$$\begin{aligned} \text{kebutuhan listrik yang dipenuhi PLN} &= 193,51 \times 40\% \\ &= 77,404 \text{ kWh} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{kebutuhan listrik yang dipenuhi pabrik} &= 193,51 \times 60\% \\ &= 116,11 \text{ kWh} \end{aligned}$$

Generator digunakan sebagai emergensi jika supply listrik mati.

$$\text{power faktor untuk generator} = 0,8$$

Sehingga

$$\begin{aligned} \text{power yang dibangkitkan oleh generator} &= \frac{116,11}{0,8} \\ &= 145,13 \text{ kV.A} \end{aligned}$$

Spesifikasi Generator

- Tipe = AC Generatoe 3 Phase
- Kapasitas = 292 kV.A 380/220 Volt
- Jumlah = 2 Buah (1 cadangan)
- Bahan bakar = Diesel

D.3. Unit Penyedia bahan bakar

a. Kebutuhan bahan bakar boiler

$$\text{untuk kebutuhan bahan bakar sebesar} = 3,5424 \text{ kg/jam}$$

bahan bakar yang digunakan adalah dieswl oil, dengan densitas :

$$\rho = 880,9867 \text{ kg/m}^3$$

Jadi,

$$\begin{aligned} \text{Volume Diesel Oil} &= \frac{3,5424 \text{ kg/jam}}{880,9867 \text{ kg/m}^3} \\ &= 0,004021 \text{ m}^3/\text{jam} = 96,503 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

b. kebutuhan bahan bakar generator

$$\begin{aligned} \text{Tenaga generator} &= 116,11 \text{ kWh} \\ &= 396168,28 \text{ Btu/hari} \end{aligned}$$

bahan abakar yang digunakan adalah Diesel Oil,

$$\begin{aligned} - \text{ Heating Value (Hv)} &= 1900 \text{ Btu/lb} \\ - \text{ Densitas } (\rho) &= 55 \text{ lb/ft}^3 = 880,9867 \text{ kg/m}^3 \\ - \text{ Efisiensi } (\eta) &= 80,5\% \quad (\text{Fig 9.9 Perry ed 6, hal 9-18}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar} &= \frac{396168,28}{1900 \times 80,5\% \times 55} \\ &= 4,709421 \text{ ft}^3/\text{hari} \\ &= 133,3557 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan total bahan bakar perhari, sebesar :

$$\begin{aligned} &= 133,3557 + 96,503 \\ &= 229,8584 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Tangki bahan abakar untuk boiler dan generator

Dasar perencanaan :

$$\begin{aligned} - \text{ Volume bahan bakar} &= 229,8584 \text{ L/hari} \\ &= 8,117382 \text{ ft}^3/\text{hari} \\ P &= 14,7 \text{ psi} \\ T &= 30 \text{ }^\circ\text{C} \\ \text{Waktu penyimpanan} &= 30 \text{ hari} \\ \text{Volume bahan bakar yang dianggap menepati} &= 80\% \text{ volume tangki} \\ \text{Direncanakan menggunakan 1 buah tangki} & \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan bakar} &= 0 \text{ ft}^3/\text{hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= 0 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{volume tangki} &= \frac{0}{80\%} \\ &= 0 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Menghitung diameter tangki

$$\text{Volume tangki} = \pi/4 \times D^2 \times H$$

Dianggap $H = 1,5 D$, maka :

$$\begin{aligned} 0 \text{ ft}^3 &= 0,785 D^2 \times 1,5 D \\ D^3 &= 0 \text{ ft}^3 \\ D &= 0 \text{ ft} = 0 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tinggi tangki

$$\begin{aligned} H &= 1,5 \times 0 \\ &= 0 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tinggi tangki

Bahan : HAS SA 240 Grade A Type 410

- allowable (f) = 16250 psi
- faktor korosi © = 1/16 in (Brownell & young hal 342)
- tipe pengelasan = double welded butt joint (E = 0,8)

$$\begin{aligned}
 ts &= \frac{P_i \cdot D}{2 (f \cdot E - 0,6 P_i)} + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{14,70 \times 0,00}{2 (16250 \times 0,8 - 0,6 \times 15)} + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{0,0}{25982} + \frac{1}{16} \\
 &= 3/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Standarisasi :

$$\begin{aligned}
 do &= di + 2 ts \\
 &= 0,00 + 0,38 \\
 &= 0,38 \text{ in}
 \end{aligned}$$

dengan pendekatan ke atas maka didapat harga do = 84, berdasarkan tabel 5.7 pg. 91 brownell (1959), pada OD standart 66 in, maka diperoleh:

$$\begin{aligned}
 do &= 84 \\
 icr &= 5 \frac{1}{8} \\
 r &= 84
 \end{aligned}$$

Standarisasi di baru dari brownell and young hal 91:

$$\begin{aligned}
 di &= do - 2 ts \\
 &= 84 - 0,375 \\
 &= 83,63 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal tutup atas berbentuk standart dished (tha)

$$\begin{aligned}
 tha &= \frac{0,885 P_i di}{f \cdot E - 0,1 P_i} + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{0,885 \times 15 \times 83,63}{16250 \times 0,8 - 0,1 \times 15} + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{1087,9}{12999} + \frac{1}{16} \\
 &= 3/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal tutup bawah berbentuk conis (thb)

$$\begin{aligned}
 thb &= \frac{P_i \cdot di}{2 (f \cdot E - 0,6 P_i) \cos 1/2 \alpha} + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{14,70 \times 83,63}{2 (16250 \times 0,8 - 0,6 \times 15) \cdot 0,5} + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{1229,288}{12999} + \frac{1}{16}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 25991,18 \times \frac{16}{16} \\ &= 2/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi Tangki bahan bakar

- Tipe : Pesegi panjang
- bahan konstruksi : HAS SA 240 Grade A Type 410
- dimensi : Di = 83,63 in
 H = 0 in
 ts = 3/16 in
 tha = 3/16 in
 thb = 2/16 in
- Jumlah : 1 Buah

APPENDIKS E

ANALISIS EKONOMI

E.1. Metode Penafsiran Harga

Harga peralatan setiap tahunnya mengalami perubahan sesuai dengan perekonomian yang ada. Untuk menafsirkan harga peralatan diperlukan indeks yang dapat digunakan untuk mengkonversi harga peralatan pada masa lalu, sehingga dapat ditafsirkan harga peralatan pada saat ini. Maka untuk menafsirkan harga saat ini digunakan persamaan "Ulrich" 1984, halaman 269:

$$C_A = C_B \times \frac{I_A}{I_B}$$

Dimana : C_A = Tafsiran harga alat saat ini

C_B = Harga alat pada tahun ke B

I_A = Indeks harga saat ini

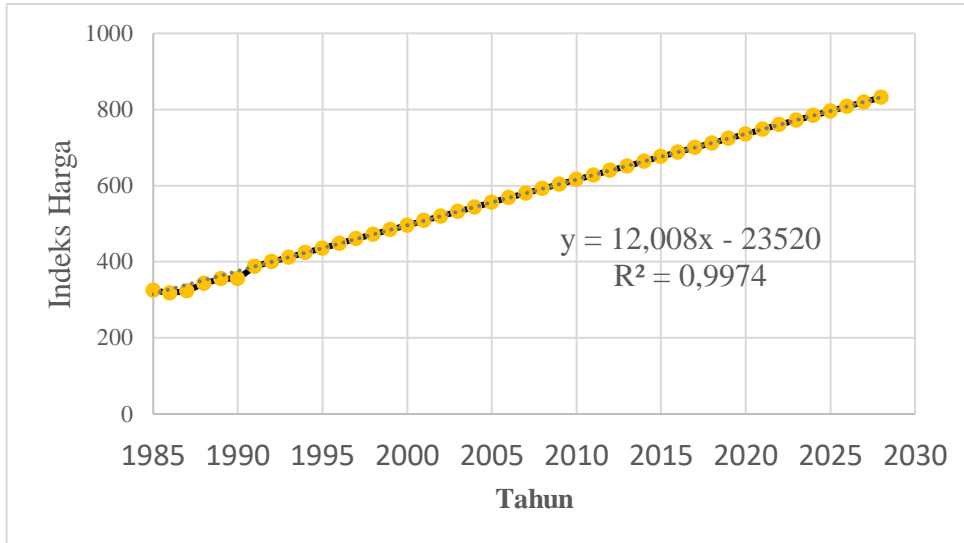
I_B = Indeks harga pada tahun ke B

Tabel E.1.1. Indeks Harga Tahun 1982-2019

Tahun	Indeks	Tahun	Indeks	Tahun	Indeks
(x)	(v)	(x)	(v)	(x)	(v)
1975	182	1993	559,426	2011	776,902
1976	192	1994	571,508	2012	788,984
1977	204	1995	583,59	2013	801,066
1978	219	1996	595,672	2014	813,148
1979	239	1997	607,754	2015	825,23
1980	261	1998	619,836	2016	837,312
1981	297	1999	631,918	2017	849,394
1982	314	2000	644	2018	861,476
1983	317	2001	656,082	2019	873,558
1984	323	2002	668,164	2020	885,64
1985	325	2003	680,246	2021	897,722
1986	318	2004	692,328	2022	909,804
1987	324	2005	704,41	2023	921,886
1988	343	2006	716,492	2024	933,968
1989	355	2007	728,574	2025	946,05
1990	356	2008	740,656	2026	958,132
1991	535,262	2009	752,738	2027	970,214
1992	547,344	2010	764,82	2028	982,296

(Peter & Timmerhaus, Tabel 3 Hal. 163)

Kenaikan harga indeks pada tahun 1975-2026 diatas merupakan fungsi linier tahun dan indeks harga tahun ke A maka persamaan dapat ditampilkan pada grafik dibawah ini:



Dari grafik diatas maka persamaan polinomial kenaikan indeks pertahun adalah

$$y = 12,082 x - 23520$$

Indeks harga pada tahun 2028

$$y = 982,296$$

E.2. Harga Peralatan

Setelah didapatkan harga indeks pada saat ini dengan menggunakan metode penaksiran harga didapatkan harga untuk peralatan proses dan utilitas.

Kurs mata uang: 1 \$ = Rp 14.969 (Bank BRI 20 Juli 2023)

Harga alat dapat dihitung denngan menggunakan persamaan:

$$\text{Harga alat saat ini} = \text{Harga alat tahun ke B } (C_{BM}) \times \frac{982,296}{\text{Indeks harga tahun B}}$$

Selanjutnya dengan perhitungan yang sama ditafsir harga peralatan pada Pra Rencana Pabrik gypsum dapat dilihat pada tabel E.2.1

No	Nama Peralatan	Kode	C_{BM}	Harga	
		Alat		(\$)	(Rp)
1.	Storage Limestone	F-112	33000	\$103.235	Rp1.545.323.666
2.	Bucket elevator	C-113	4200	\$13.139	Rp196.677.558
3.	Mixer limestone	M-120	28000	\$87.593	Rp1.311.183.717
4.	Pompa	L-123	5200	\$16.267	Rp243.505.547
5.	Storage H2SO4	F-111	33000	\$103.235	Rp1.545.323.666
6.	Pompa	L-112	5200	\$16.267	Rp243.505.547
7.	Mixer H2SO4	M-121	28000	\$87.593	Rp1.311.183.717
8.	Pompa	L-122	5200	\$16.267	Rp243.505.547
9.	Reaktor	R-130	63000	\$197.085	Rp2.950.163.363

10.	Bin		5000	\$15.642	Rp234.139.949
11.	Pompa	L-131	5200	\$16.267	Rp243.505.547
12.	Rotary vacum filter	H-140	35000	\$109.492	Rp1.638.979.646
13.	Screw	J-142	11200	\$35.037	Rp524.473.487
14.	Rotary Dryer	B-150	39000	\$122.005	Rp1.826.291.606
15.	Cyclone	H-151	9800	\$30.658	Rp458.914.301
16.	Heater	E-145	11500	\$35.976	Rp538.521.884
17.	Kompressor	G-144	6900	\$21.585	Rp323.113.130
18.	Filter Udara	H-143	4700	\$14.703	Rp220.091.552
19.	Belt conveyor	J-152	8700	\$27.216	Rp407.403.512
20.	Hammer Mill	C-154	16000	\$50.053	Rp749.247.838
21.	Silo	F-155	9000	\$28.155	Rp421.451.909
22.	Mesin Packing	F-156	20000	\$62.567	Rp936.559.798
23.	Storage Gypsum	F-157	33000	\$103.235	Rp1.545.323.666
Total				\$ 1.313.273	Rp 19.658.390.154

Keterangan : *Data diambil di *Ulrich*

No	Nama Peralatan	Kode Alat	C _{BM}	Harga	
				(\$)	(Rp)
1.	Pompa ke boiler	L-243	5200	\$ 16.267	Rp243.505.547
2.	Bak Air Umpan Boiler	F-242	9000	\$ 28.155	Rp421.451.909
3.	Deaerator	D-241	6500	\$ 20.334	Rp304.381.934
4.	Boiler	Q-240	35000	\$ 109.492	Rp1.638.979.646
5.	Pompa Air Pendingin	L-233	5200	\$ 16.267	Rp243.505.547
6.	Pompa air lunak	L-232	5200	\$ 16.267	Rp243.505.547
7.	Bak air lunak	F-231	9000	\$ 28.155	Rp421.451.909
8.	Cooling Tower Water	P-230	60000	\$ 187.700	Rp2.809.679.393
9.	Pompa ke bak sanitasi	L-222	5200	\$ 16.267	Rp243.505.547
10.	Bak Klorinasi	F-221	9000	\$ 28.155	Rp421.451.909
11.	Bak air sanitasi	F-220	9000	\$ 28.155	Rp421.451.909
12.	Pompa peralatan	L-216B	5200	\$ 16.267	Rp243.505.547
13.	Bak air bersih	F-215	9000	\$ 28.155	Rp421.451.909
14.	Sand filter	H-218	70000	\$ 218.983	Rp3.277.959.292
15.	Tangki clarifier	H-217	12000	\$ 37.540	Rp561.935.879
16.	Pompa ke Tangki clarifier	L-216A	5200	\$ 16.267	Rp243.505.547
17.	Bak skimmer	F-215	13000	\$ 40.668	Rp608.763.869
18.	Pompa ke bak skimmer	L-214	4200	\$ 13.139	Rp196.677.558
19.	Bak sedimentasi	F-213	13000	\$ 40.668	Rp608.763.869
20.	Pompa air sungai	L-212	4200	\$ 13.139	Rp196.677.558
21.	Filter air	H-211	4500	\$ 14.077	Rp210.725.954
22.	Kation-anion Exchanger	D-210	65000	\$ 203.342	Rp3.043.819.343
Total				\$ 1.137.461	Rp 17.026.657.122

$$\begin{aligned}
 \text{Harga Peralatan Total} &= \text{Harga Peralatan Proses} + \text{Harga Peralatan Utilitas} \\
 &= \$ 1.313.273 + \$ 1.137.461 \\
 &= \$ 2.450.735
 \end{aligned}$$

Dengan faktor keamanan (*Safety Factor*) sebesar 20%, maka:

$$\begin{aligned}
 \text{Harga Total} &= 1,2 \times \$ 2.450.735 \\
 &= \$ 2.940.882
 \end{aligned}$$

E.3. Biaya Bahan Baku

1. CaCO₃

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan per kg} &= 7573,28 \text{ kg} = 7,57328 \text{ ton} \\
 \text{Harga per kg} &= \$ 1,9 \text{ perkg} = \$ 1.900 \text{ ton} \\
 \text{Biaya per tahun} \\
 &= 7573,3 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \times \$ 1,9 \text{ kg} \\
 &= \$ 113.962.717
 \end{aligned}$$

2. Asam Sulfat

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan per kg} &= 7727,73 \text{ kg} = 7,72773 \text{ ton} \\
 \text{Harga per kg} &= \$ 2,7 \text{ perkg} = \$ 2.730 \text{ ton} \\
 \text{Biaya per tahun} \\
 &= 7727,7 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \times \$ 2,7 \text{ kg} \\
 &= \$ 167.085.887
 \end{aligned}$$

Total Biaya Bahan Baku

$$\begin{aligned}
 &= \text{CaCO}_3 + \text{Asam Sulfat} \\
 &= \$ 113.962.717 + \$ 167.085.887 \\
 &= \$ 281.048.604
 \end{aligned}$$

E.4. Biaya Utilitas

1. Listrik

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Listrik per jam} &= 262,9 \text{ kW} \\
 \text{Harga listrik per Kw} &= \$ 0,0100 \text{ (PT PLN PERSERO)} \\
 \text{Biaya Listrik per tahun} \\
 &= 262,9 \text{ kW/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \times \$ 0,0 \text{ kW} \\
 &= \$ 20.822
 \end{aligned}$$

2. Bahan Bakar

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan bakar per jam} &= 277,668 \text{ L/hari} \\
 \text{Harga bahan bakar per Liter} &= \$ 0,4500 \text{ (PT Pertamina Persero 2023)} \\
 \text{Biaya bahan bakar per tahun} \\
 &= 277,67 \text{ kW/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \times \$ 0,5 \text{ L} \\
 &= \$ 989.609
 \end{aligned}$$

3. Resin Kation

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan resin kation perja} &= 15,37 \text{ L} \\
 \text{Harga resin kation perLiter} &= \$ 0,11 \text{ (Alibaba, 2023)} \\
 \text{Biaya resin kation per tahun} \\
 &= 15,37 \text{ kW/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \times \$ 0,11 \text{ L} \\
 &= \$ 13.146,883
 \end{aligned}$$

4. Resin Anion

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan resin anion perjam} &= 28,07 \text{ L} \\ \text{Harga resin anion perLiter} &= \$ 2,39 \text{ (Alibaba, 2023)} \\ \text{Biaya resin anion per tahun} \\ &= 28,07 \text{ kW/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \times \$ 2,39 \text{ L} \\ &= \$ 531.331,416 \end{aligned}$$

5. Klorin (Cl₂)

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan klorin perjam} &= 0,0049896 \text{ kg/jam} \\ \text{Harga klorin perLiter} &= \$ 1,28 \text{ (Alibaba, 2023)} \\ \text{Biaya klorin per tahun} \\ &= 0,005 \text{ kW/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \times \$ 1,28 \text{ L} \\ &= \$ 50,583 \end{aligned}$$

6. Air

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air perjam} &= 16306,57 \text{ kg/jam} = 16,3066 \text{ L/j} \\ \text{Harga m}^3 &= \$ 0,100 = \$ 100,21 \text{ ton} \\ \text{Biaya pertahun} \\ &= 16,3 \text{ L/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \times \$ 0,10 \text{ m}^3 \\ &= \$ 12.941,549 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Biaya Utilitas} &= \text{Listrik} + \text{Bahan Bakar} + \text{Resin Kation} + \text{Resin Anion} + \\ &\quad \text{Klorin} + \text{air} \\ &= \$ 1.567.900,863 \\ &= \text{Rp } 23.469.908.019 \end{aligned}$$

E.5. Pengemasan

Pengemasan Gypsum dilakukan setiap 20 KG

$$\begin{aligned} \text{Harga kemasan} &= \$ 0,19 \text{ per buah} \\ \text{Kapasitas} &= 100.000 \text{ ton/tahun} \\ &= \\ &= 5000000 \text{ kemasan per tahun} \\ \text{Biaya Pengemasan} &= 5000000 \times \$ 0,19 \\ &= \$ 950.000,00 \end{aligned}$$

E.6. Gaji Pegawai

No.	Jabatan	Jumlah	Gaji Perorang (\$)	Total (\$)
1.	Dewan Komisaris	2	\$ 5.180	\$ 10.360,0
2.	Direktur Utama	1	\$ 4.950	\$ 4.950,0
3.	Direktur Produksi & Teknik	1	\$ 4.290	\$ 4.290,0
4.	Direktur Keuangan dan Administ	1	\$ 4.290	\$ 4.290,0
5.	Sekretaris	2	\$ 2.310	\$ 4.620,0
6.	Kepala Litbang (R&D)	1	\$ 2.310	\$ 2.310,0
7.	Karyawan Litbang (R&D)	4	\$ 462	\$ 1.848,0
8.	Kepala Bagian Produksi	1	\$ 2.310	\$ 2.310,0
9.	Kepala Bagian Teknik	1	\$ 1.980	\$ 1.980,0

10.	Kepala Bagian Keuangan	1	\$ 1.980	\$ 1.980,0
11.	Kepala Bagian Umum dan SDM	1	\$ 1.980	\$ 1.980,0
12.	Kepala Bagian QC dan Laboratorian	1	\$ 1.980	\$ 1.980,0
13.	Kepala Divisi Proses	1	\$ 1.650	\$ 1.650,0
14.	Karyawan Proses	48	\$ 462	\$ 22.176,0
15.	Kepala Divisi Gudang	1	\$ 990	\$ 990,0
16.	Karyawan Divisi Gudang	1	\$ 462	\$ 462,0
17.	Kepala Divisi Utilitas	1	\$ 990	\$ 990,0
18.	Karyawan Divisi Utilitas	10	\$ 462	\$ 4.620,0
19.	Kepala Divisi Bengkel & Perwata	1	\$ 990	\$ 990,0
20.	Karyawan Divisi Bengkel & perawat	8	\$ 462	\$ 3.696,0
21.	Kepala Divisi QC dan Laboratorian	1	\$ 660	\$ 660,0
22.	Karyawan Divisi QC dan Laboratorian	10	\$ 462	\$ 4.620,0
23.	Kepala Divisi Penjualan dan Pemasaran	1	\$ 990	\$ 990,0
24.	Karyawan Divisi Penjualan dan Pemasaran	5	\$ 462	\$ 2.310,0
25.	Kepala Divisi Administrasi	1	\$ 858	\$ 858,0
26.	Karyawan Divisi Administrasi	1	\$ 462	\$ 462,0
27.	Kepala Divisi Akuntansi	1	\$ 670	\$ 670,0
28.	Karyawan Divisi Akuntansi	4	\$ 462	\$ 1.848,0
29.	Kepala Divisi Humas dan Personalia	1	\$ 660	\$ 660,0
30.	Karyawan Divisi Humas dan Personalia	4	\$ 462	\$ 1.848,0
31.	Kepala Divisi Transportasi	1	\$ 660	\$ 660,0
32.	Karyawan Divisi Transportasi	8	\$ 462	\$ 3.696,0
33.	Kepala Divisi Keamanan dan Keselamatan	1	\$ 660	\$ 660,0
34.	Karyawan Keamanan dan Keselamatan	12	\$ 462	\$ 5.544,0
35.	Kepala Divisi Kebersihan dan Logam	1	\$ 660	\$ 660,0
36.	Kepala Divisi Kebersihan dan Logam	10	\$ 528	\$ 5.280,0
37.	Karyawan Perpustakaan	4	\$ 462	\$ 1.848,0
38.	Dokter	3	\$ 792	\$ 2.376,0
39.	Karyawan Kesehatan	4	\$ 462	\$ 1.848,0
Jumlah		161	\$ 51.786	\$ 115.970

Total Gaji Karyawan per Tahun = \$ 115.970,0000
= Rp 1.735.954.930,000

E.7. Perhitungan Harga Produk

1. Gypsum

Produksi per jam = 12626,26 kg = 12,62626 ton

Harga Per kg = \$ 2,9 = \$ 2.910 ton

Penjualan per tahun,

= 12626,26 kgjam x 24 jam/hari x 330 hari/thn x \$ 2,9

= \$ 290.999.939,5

E.8. Penentuan Total Capital Investment (TCI)

a. Biaya Langsung (DC)			
1. Harga peralatan		E	= \$ 2.940.882
2. Instrument dan alat kontrol	25%	E	= \$ 735.220
3. Isolasi	9%	E	= \$ 264.679
4. Perpipaan terpasang	70%	E	= \$ 2.058.617
5. Listrik terpasang	15%	E	= \$ 441.132
6. Harga FOB (Jumlah 1-5)		F	= \$ 6.440.531
7. Ongkos angkutan kapal laut	10%	F	= \$ 644.053
8. Harga C dan F (Jumlah 6-7)		G	= \$ 7.084.584
9. Biaya asuransi	1%	G	= \$ 70.846
10. Harga CIF (Jumlah 8-9)		H	= \$ 7.155.430
11. Biaya angkut barang ke plant	17%	H	= \$ 1.216.423
12. Pemasangan alat	45%	E	= \$ 1.323.397
13. Bangunan pabrik	70%	E	= \$ 2.058.617
14. Service facilities	45%	E	= \$ 1.323.397
15. Tanah	6%	E	= \$ 176.453
16. Biaya langsung (DC) (Jumlah 10-15)		E	= \$ 13.253.716
b. Biaya Yak Langsung (IC)			
17. Engineering dan Supervisi	10%	DC	= \$ 1.325.372
18. Konstruksi	10%	DC	= \$ 1.325.372
19. Biaya tak terduga, 5% dari FCI	10%		= 0,15 FCI
20. Inderect Cost, jumlah ad 17-19			= \$ 2.650.743
c. Fixed Capital Investment (FCI)			
FCI	=	DC	+ IC
	=	\$ 13.253.716	+ \$ 2.650.743 + 0,15 FCI
	=	\$ 15.904.459,64470	
d. Working Capital Investment (WCI)			
WCI	=	15%	x TCI
	=	\$ 4.862,118	
e. Total Capital Investment (TCI)			
TCI	=	FCI	+ WCI
	=	\$ 15.904.460	+ \$ 4.862,118
	=	\$ 15.909.322	
f. Modal Perusahaan			
Modal sendiri (MS)	60%	TCI	= \$ 9.545.593,058
Modal pinjaman (MP)	40%	TCI	= \$ 6.363.728,705

E.9. Penentuan Total Production Cost (TPC)

a. Biaya Produksi Langsung (<i>Direct Production Cost/DPC</i>)			
- Bahan Baku			= \$ 281.048.604
- Tenaga Kerja	(TK)		= \$ 115.970,0000
- Pengawasan Langsung	15%	TK	= \$ 17.395,5000
- Utilitas			= \$ 1.567.901
- Pemeliharaan dan Perbaikan	(PP) 5%	FCI	= \$ 795.223

- Operating Supplies	10%	PP	= \$	79.522
- Laboratorium	15%	TK	= \$	17.395,5000
- Patent dan Royalti	6%	TPC	= 0,06 TPC	
Biaya Produksi Langsung			= \$	283.642.012
b. Biaya Tetap (<i>Fixed Cost/FC</i>)				
- Depresiasi alat	9%	FCI	= \$	1.431.401,4
- Depresiasi bangunan	2%	FCI	= \$	318.089,2
- Pajak kekayaan	2%	FCI	= \$	318.089,2
- Asuransi	1%	FCI	= \$	159.044,6
- Bunga bank	9%	MP	= \$	572.735,6
Biaya Tetap (<i>Fixed Cost/FC</i>)			= \$	2.799.359,9
c. Biaya Overhead Pabrik				
- Biaya Overhead	50%	TK + PP	= \$	464.294,2411
d. Biaya Pengeluaran-pengeluaran Umum (<i>General Expences/GE</i>)				
- Depresiasi alat	15%	TK	= \$	11.597,00
- Biaya Distribusi dan Pemasaran	2%	TPC	= \$	0,02 TPC
- Biaya LITBANG	2%	TPC	= \$	0,02 TPC
Biaya Pengeluaran Umum (GE)			= \$	11.597,00
			+ 0,04 TPC	
e. Biaya Produksi Total (TPC)				
TPC	=	DPC + FC + Biaya Overhead + GE		
	= \$	286.917.262,7 + 0,04 TPC		
TPC	= \$	288.069.540,9		
Maka, DPC	= \$	286.917.262,7 + 0,02 TPC		
	= \$	292.678.653,5		
GE	= \$	11.597,0 + 4% TPC		
	= \$	11.718.743,1		

ANALISA PROFITABILITAS

Sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Tentang Pajak Penghasilan Nomer 36 Tahun 2008 dengan ketentuan perpajakan:

- 5% untuk laba sampai Rp. 50.000.000,-
- 25% untuk laba sampai Rp. 250.000.000,-
- 30% untuk laba > Rp. 500.000.000,-

Asumsi yang diambil adalah:

- a. Bunga kredit Bank BRI sebesar 9% per tahun
- b. Pengembalian pinjaman dalam waktu 10 tahun
- c. Umur pabrik 10 tahun
- d. Kapasitas produksi :

Tahun I	:	60%	produksi total
Tahun II	:	80%	produksi total
Tahun III	:	100%	produksi total

1. Laba Perusahaan

Labanya perusahaan adalah keuntungan yang diperoleh dari penjualan produk

Total penjualan per tahun = \$ 290.999.939,47 (Kapasitas 100%)

$$\begin{aligned} \text{Laba Kotor} &= \text{Harga Jual} - \text{Biaya Produksi} \\ &= \$ 290.999.939,47 - \$ 288.069.540,9 \\ &= \$ 2.930.398,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pajak Penghasilan} &= 30\% \times \text{Laba Kotor} \\ &= \$ 879.119,6 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laba Bersih} &= \text{Laba Kotor} - \text{Pajak Penghasilan} \\ &= \$ 2.930.398,6 - \$ 879.119,6 \\ &= \$ 2.051.279,0 \end{aligned}$$

Nilai penerimaan *Cash Flow* sebelum pajak (C_{Abt})

$$\begin{aligned} C_{Abt} &= \text{Laba Kotor} + \text{Depresiasi Alat} \\ &= \$ 2.930.398,6 + \$ 1.431.401,37 \\ &= \$ 4.361.800,0 \end{aligned}$$

Nilai penerimaan *Cash Flow* sebelum pajak (C_{Aat})

$$\begin{aligned} C_{Aat} &= \text{Laba Bersih} + \text{Depresiasi Alat} \\ &= \$ 2.051.279,0 + \$ 1.431.401,37 \\ &= \$ 3.482.680,4 \end{aligned}$$

2. Laju Pengembalian Modal (ROI)

ROI adalah pernyataan umum yang digunakan untuk menunjukkan laba tahunan sebagai usaha untuk mengembalikan modal

a. ROI sebelum pajak

$$\begin{aligned} \text{ROI}_{BT} &= \frac{\text{Laba kotor}}{\text{Modal tetap}} \times 100\% \\ &= \frac{\$ 2.930.398,58}{\$ 15.904.459,6447} \times 100\% \\ &= 18,43\% \end{aligned}$$

b. ROI setelah pajak

$$\begin{aligned} \text{ROI}_{AT} &= \frac{\text{Laba bersih}}{\text{Modal tetap}} \times 100\% \\ &= \frac{\$ 2.051.279}{\$ 15.904.460} \times 100\% \\ &= 12,90\% \\ &= 13\% \times \$ 15.904.460 \\ &= \$ 2.051.279 \end{aligned}$$

3. Lama Pengembalian Modal (POT)

POT adalah masa tahunan pengembalian modal investasi dari laba yang dihitung dikurangi penyusutan/waktu yang diperlukan untuk pengembalian modal

$$\begin{aligned} \text{POT}_{\text{BT}} &= \frac{\text{Modal tetap}}{\text{Cash flow sebelum pajak}} \times 1 \text{ tahun} \\ &= \frac{\$ 15.904.460}{\$ 4.361.800} \times 1 \text{ tahun} \\ &= 3,65 \text{ tahun} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{POT}_{\text{AT}} &= \frac{\text{Modal tetap}}{\text{Cash flow setelah pajak}} \times 1 \text{ tahun} \\ &= \frac{\$ 15.904.460}{\$ 3.482.680} \times 1 \text{ tahun} \\ &= 4,57 \text{ tahun} \end{aligned}$$

4. Break Event Point (BEP)

BEP adalah titik dimana jika tingkat kapasitas pabrik berada pada titik tersebut maka pabrik tidak untung dan tidak rugi atau harga penjualan sama dengan biaya produksi

$$\text{BEP} = \frac{\text{FC} + (0,3 \text{ SVC})}{\text{S} - 0,7\text{SVC} - \text{VC}} \times 100\%$$

a. Biaya Tetap (FC)	= \$ 2.799.359,934
b. Biaya Variabel (VC)	
Bahan Baku pertahun	= \$ 281.048.604
Biaya Utilitas pertahun	= \$ 1.567.901
Total Biaya Variabel (VC)	= \$ 282.616.505
c. Biaya Semi Variabel (SVC)	
Biaya Umum (GE)	= \$ 11.718.743
Biaya Overhead	= \$ 464.294
Plant supplies	= \$ 79.522
Biaya laboratorium dan kontrol	= \$ 17.396
Buruh pabrik langsung	= \$ 115.970
Pengawasan pabrik	= \$ 17.396
Perawatan dan Pemeliharaan	= \$ 795.223
Total Biaya Semi Variable (SVC)	= \$ 13.208.544
d. Harga Penjualan (S)	
S = \$	290.999.939

maka :

$$\begin{aligned} \text{BEP} &= \frac{\text{FC} + (0,3 \text{ SVC})}{\text{S} - 0,7\text{SVC} - \text{VC}} \times 100\% \\ &= 42,84\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Titik BEP terjadi pada kapasitas} &= 42,84\% \times 100.000 \\ &= 42.843,36 \text{ ton/tahun} \end{aligned}$$

Nilai BEP untuk pabrik Gypsum berada di antara 40-60% sehingga nilai BEP di atas memadai.

Untuk produksi tahun pertama kapasitas 60% dari kapasitas yang sebenarnya, sehingga keuntungan adalah:

$$\frac{PBi}{PB} = \frac{[100 - BEP] - [100 - \% \text{ kapasitas}]}{100 - BEP}$$

Dimana :

Pbi = keuntungan pada % kapasitas yang tercapai (< 100%)

PB = keuntungan pada kapasitas 100%

% kapasitas = % kapasitas yang tercapai

$$\begin{aligned} \frac{PBi}{\$ 2.051.279,01} &= \frac{100\% - 42,84\% - 100\% - 60\%}{100\% - 42,8\%} \\ &= \$ 615.730 \end{aligned}$$

Sehingga *Cash Flow* setelah pajak untuk tahun pertama :

$$\begin{aligned} C_A &= \text{Laba bersih tahun pertama} + \text{Depresiasi Alat} \\ &= \$ 615.730 + \$ 1.431.401 \\ &= \$ 2.047.131 \end{aligned}$$

Untuk produksi tahun kedua kapasitas 80% dari kapasitas yang sebenarnya, sehingga keuntungan adalah

$$\frac{PBi}{PB} = \frac{[100 - BEP] - [100 - \% \text{ kapasitas}]}{100 - BEP}$$

Dimana :

Pbi = keuntungan pada % kapasitas yang tercapai (< 100%)

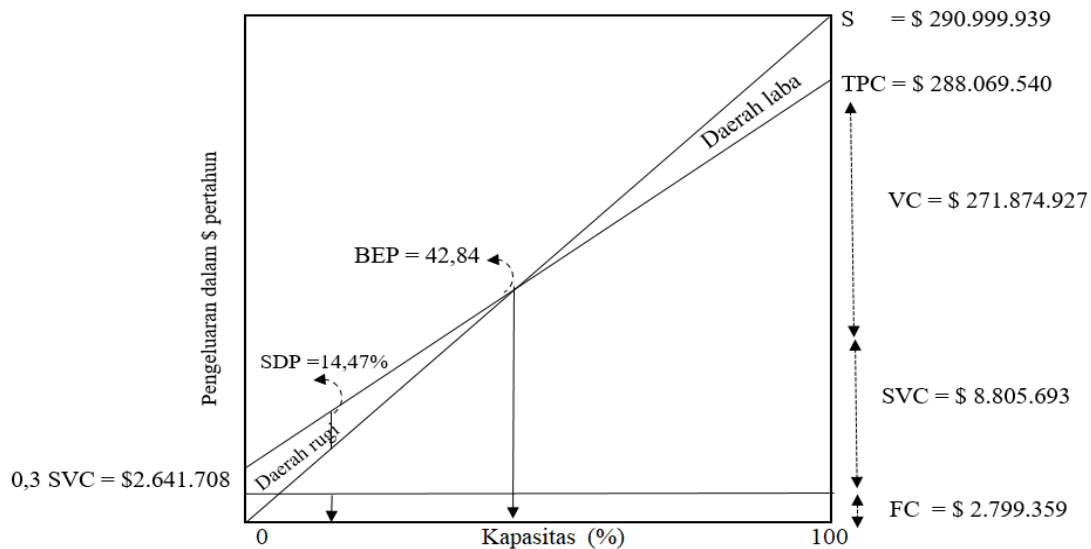
PB = keuntungan pada kapasitas 100%

% kapasitas = % kapasitas yang tercapai

$$\begin{aligned} \frac{PBi}{\$ 2.051.279,01} &= \frac{100\% - 42,84\% - 100\% - 80\%}{100\% - 42,8\%} \\ &= \$ 1.333.504 \end{aligned}$$

Sehingga *Cash Flow* setelah pajak untuk tahun kedua :

$$\begin{aligned} C_A &= \text{Laba bersih tahun kedua} + \text{Depresiasi Alat} \\ &= \$ 1.333.504 + \$ 1.431.401 \\ &= \$ 2.764.906 \end{aligned}$$



5. Shut Down Point (SDP)

SDP adalah suatu titik yang merupakan kapasitas minimal pabrik masih boleh beroperasi

$$\text{SDP} = \frac{0,3 \text{ SVC}}{S - 0,7\text{SVC} - \text{VC}} \times 100\%$$

$$= 14,47\%$$

Titik SDP terjadi pada kapasitas penjualan,

$$= 14,47\% \times \$ 290.999.939,47$$

$$= \$ 42.094.794,72$$

6. Net Present Value (NPV)

Metode ini digunakan untuk menghitung selisih dari nilai penerimaan kas bersih dengan nilai investasi sekarang.

Diasumsikan masa konstruksi selama 2 tahun.

(tahun pertama = 40% ; tahun kedua = 60%)

$$C_{A-2} = 40\% \times \text{FCI} \times (1+i)^2$$

$$= 40\% \times \$ 15.904.460 \times 1,0000$$

$$= \$ 6.361.784$$

$$C_{A-1} = 60\% \times \text{FCI} \times (1+i)^1$$

$$= 60\% \times \$ 15.904.460 \times 1,0000$$

$$= \$ 9.542.676$$

$$C_{A0} = -C_{A-1} - C_{A-2}$$

$$= - \$ 9.542.676 - \$ 6.361.784$$

$$= - \$ 15.904.460$$

Menghitung NPV tiap tahun

$$\text{NPV} = C_A \times F_d$$

$$F_d = \frac{1}{(1+i)^n}$$

Dimana :

- F_d = Faktor diskon
 C_A = cash flow setelah pajak
 i = tingkat bunga bank
 n = tahun ke-n

Tabel E.2. Cash Flow untuk NPV selama 10 tahun

Tahun ke-	Cash Flow (CA) (\$)	Fd		NPV (\$)
		i	= 9%	
0	(15.904.460)	1		(15.904.460)
1	2.047.131	0,9174		1.878.102
2	2.764.906	0,8417		2.327.166
3	3.482.680	0,7722		2.689.268
4	3.482.680	0,7084		2.467.219
5	3.482.680	0,6499		2.263.503
6	3.482.680	0,5963		2.076.609
7	3.482.680	0,5470		1.905.145
8	3.482.680	0,5019		1.747.840
9	3.482.680	0,4604		1.603.523
10	3.482.680	0,4224		1.471.122
WCI				4.862,118
Total				4.529.899

Karena NPV bernilai positif (+) maka Pabrik Gypsum layak untuk didirikan

7. IRR (*Internal Rate of Return*)

IRR merupakan cara untuk menghitung tingkat suku bunga dimana hasil penjumlahannya akan menghasilkan nilai yang sama dengan investasi

Dimana:

- i_1 = bunga pinjaman ke-1 (trial) = 8%
 i_2 = bunga pinjaman ke-2 (trial) = 20%

Tahun ke-	Cash Flow (CA) (\$)	NPV ₁ (\$)			NPV ₂ (\$)		
		i	=	8%	i	=	20%
0	(15.904.460)			(15.904.460)			(15.904.460)
2	2.764.906			2.764.906			1.920.073
3	3.482.680			3.482.680			2.015.440
4	3.482.680			3.482.680			1.679.533
6	3.482.680			3.482.680			1.166.343
7	3.482.680			3.482.680			971.952
8	3.482.680			3.482.680			809.960
9	3.482.680			3.482.680			674.967
10	3.482.680			3.482.680			562.472
WCI		4.862,118			4.862,118		
Total		16.773.883			(2.993.303)		

$$IRR = i_1 + \frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \times (i_2 - i_1)$$

Dimana:

$$i_1 = \text{bunga pinjaman ke-1 yang ditrial} = 8\%$$

$$i_2 = \text{bunga pinjaman ke-2 yang ditrial} = 20\%$$

Sehingga,

$$IRR = 8\% + \frac{\$ 16.773.883}{\$ 16.773.883 - \$ (2.993.303)} \times 0,2 - 0,08$$

$$= 20,18\%$$

Karena harga IRR lebih besar dari bunga bank (9%) maka Pabrik gypsum ini layak untuk didirikan

Kesimpulan Aspek Ekonomi dari Pabrik Gypsum Kapasita 100.000 ton/tahun

<i>Return Of Investment Before Tax</i> (ROI _{BT})	: 18,43%
<i>Return Of Investment AfterTax</i> (ROI _{AT})	: 12,90%
<i>Pay Out Time</i> (POT _{AT})	: 4,6 tahun
<i>Break Event Point</i> (BEP)	: 42,84%
<i>Shut Down Point</i> (SDP)	: 14,47%
<i>Internal Rate of Return</i> (IRR)	: 20,18%

