BAB VII
UTILITAS

Dalam sebuah pabrik, utilitas merupakan unit penyedia bahan maupun tenaga pembantu, sehingga membantu kelancaran operasi pabrik tersebut.

Utilitas yang terdapat dalam pabrik ini terdiri atas :

1. Unit Pengolahan Air
   Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan air pendingin, air proses, air sanitasi, dan air pengisi boiler.
2. Unit Pembangkit *Steam*
   Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan *steam* pada proses evaporasi pemanasan, dan supply pembangkit tenaga listrik.
3. Unit Pembangkit Tenaga Listrik
   Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan listrik bagi alat bangunan, jalan raya dan lain sebagainya.
4. Unit Bahan Bakar
   Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan bahan bakar bagi alat-alat, generator, boiler, dan sebagainya.
5. Unit Pengolahan Limbah
   Unit ini berfungsi sebagai pengolahan limbah pabrik cair, padat maupun gas dari proses.

VII.1 Unit Penyediaan Steam

Unit penyediaan *steam* berfungsi untuk menyediakan kebutuhan *steam*, yang digunakan sebagai media pemanas pada proses pabrik ini. Direncanakan boiler menghasilkan steam jenuh (saturated steam) pada tekanan 4.5 atm, suhu

(Ulrich, Appendix B ; Page 426)

Dengan h_v = 2.743 Kj/kg
= 1.179 BTU/lb

Jumlah *steam* yang dibutuhkan untuk memproduksi sodium sulfate decahydrate

No.	Nama Alat	Kode	Steam	
			(kg/jam)	(lb/jam)
1	Reaktor 1	R-210	1.041	2.294
TOTAL				2.294

Untuk faktor keamanan digunakan 20%

Untuk faktor keamanan dari kebocoran-kebocoran yang terjadi, maka direncanakan steam yang dihasilkan 20% lebih besar dari kebutuhan steam total :

Total *steam* = 1,2 x 2.294
= 2.753 lb/jam = 1.249 kg/jam

Untuk menghitung kebutuhan bahan bakar :

$$m_f = \frac{m_s\ (h_v - h_f)}{eb\ .\ F}$$ **(Severn, W.H, pers. 140 hal. 142)**

dimana :

m_f = massa bahan bakar yang dipakai, lb/jam

m_s = massa steam yang dihasilkan, lb/jam

h_v = enthalpy uap yang dihasilkan, BTU/lb

h_f = enthalpy liquida masuk, BTU/lb.

h_v = 1.179 BTU/lb (suhu steam = 148°C)

h_f = 180,2 BTU/lb (suhu air = 100 °C) *(steam table)*

e_b = 92 % Efisiensi boiler 85-92%

F = nilai kalor bahan bakar petroleum fuels oil 33 API (0,22% sulfur)

dari perry 7[ed], Fig,27-3, didapat : **(Perry 7ed, T.27-6)**

relatif density, ρ = 0,86 gr/cc

= 53,69 lb/cuft

= 7,18 lb/gal

Heating Value = 137.273 BTU/gal **(Perry ed.7; T.27-3)**

Maka Heating Value bahan bakar $= \frac{137.273\ \text{BTU/gal}}{7,18\ \text{lb/gal}}$

= 19.126,60 BTU/lb

$$m_f = \frac{m_s\ (h_v - h_f)}{e_b\ .\ F} \times 100$$ **(Severn, W.H, pers. 140 hal. 142)**

$$mf = \frac{2.753 \times (1.179 - 180,2) \times 100}{92 \times 19126,6027}$$

= 156 lb/jam

Kapasitas boiler

$$Q = \frac{m_s\ (h_v - h_f)}{1000}$$ **(Severn, W.H, pers. 171)**

$$Q = \frac{2.753\ (1.179 - 180)}{1000} = 2.751\ \text{KBTU/jam}$$

Penentuan boiler horse power

Untuk penentuan Boiler Horse power, digunakan persamaan :

$$hp = \frac{m_s\ (h_v - h_f)}{(970,3)\ (34,5)}$$ **(Severn, pers 172 ; 140)**

dimana :

Angka-angka 970,3 dan 34,5 adalah suatu penyesuaian pada penguapan 34,5 lb/jam dari air pada 212 oF menjadi uap kering pada 212 oF pada tekanan 1 atm, untuk kondisi demikian diperlukan entalpi penguapan 970,3

$$hp = \frac{2.753 \quad (\quad 1.179 \quad - \quad 180 \quad)}{970,3 \quad x \quad 34,5} = 82 \quad hp$$

Penentuan heating surface boiler

Untuk 1 hp boiler butuh 10 ft^2 heating surface **(Severn, W.H, P. 140)**

Total heating surface = 10 x 82,2 = 822 ft^2

Kebutuhan air untuk pembuatan steam

Air yang dibutuhkan diambil 20% berlebih dari jumlah steam yang dibutuhkan untuk faktor keamanan.

Produksi steam = 2.753 lb/jam

Kebutuhan air = 1,2 x 2.753

= 3.304 lb/jam

= 79.297 lb/hari

ρ air = 62,43 lb/cuft

maka volume air = $\frac{79.297}{62,43}$

= 1.270 cuft/hari

= 35,97 m^3/hari

= 1,50 m^3/jam

Air kondensat dari hasil pemanasan direcycle kembali ke boiler.

Dengan kehilangan air kondensat = 20%

Maka air yang ditambahkan sebagai make up water adalah

= 0,2 x 1,50 = 0,30 m^3/jam

Air yang menguap 5% dari kebutuhan air boiler :

air menguap = 5% x 1,50

= 0,07 m^3/jam

Blowdown pada Boiler adalah 15% dari kebutuhan air boiler :

Blowdown = 15% x 1,50

= 0,22 m^3/jam

Spesifikasi Alat	
Nama alat	Boiler
Tekanan Steam	4,5 atm
Suhu	148 ^oC
Type	Fire tube boiler (tekanan steam <10 atm)
Heating surface	822 ft^2
Kapasitas boiler	2.751 kiloBtu/jam
Rate steam	2.753 lb/jam

Efisiensi	92 %
Power	83 hp
Bahan bakar	Diesel oil 33 ^{o}API
Rate bahan bakar	156 lb/jam
Jumlah	1 buah

VII.2 Unit Penyediaan Air

Air di dalam pabrik berperan penting dan harus memenuhi persyaratan tertentu yang disesuaikan dengan masing-masing keperluan di dalam pabrik. Penyedia air untuk pabrik ini direncanakan dari air sungai. Air sungai sebelum masuk ke dalam bak penampung dilakukan penyaringan terlebih dahulu dengan kayu agar kotoran dengan maksud menghilangkan kotoran yang penampung (reservoir). Dari tangki penampung bersifat makro dengan jalan memasang sekat tersebut terhalang dan tidak ikut masuk ke dalam tangki kemudian dilakukan pengolahan (dalam unit water treatment). Untuk menghemat pemakaian air, maka diadakan sirkulasi. Air pada pabrik dipakai

1. Air Sanitasi
2. Air Umpan *Boiler*
3. Air Pendingin
4. Air Proses

VII.2.1 Air Sanitasi

Air sanitasi untuk keperluan minum, masak, cuci, mandi dan sebagainya. Pada umumnya air sanitasi harus memenuhi syarat kualitas. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 32 Tahun 2017. Standar baku mutu untuk keperluan higiene sanitasi :

No.	Parameter	Unit	Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum)
1	Kekeruhan	NTU	25
2	Warna	TCU	50
3	Zat padat terlarut	mg/l	1000
4	Suhu	℃	suhu udara ± 3
5	Rasa		tidak berasa
Lanjutan Tabel Standar Baku Mutu			
6	Bau		tidak berbau
7	Total Coliform	CFU/100 ml	50
8	E. Coli	CFU/100 ml	0
9	pH	mg/l	6.5 - 8.5
10	Besi	mg/l	1
11	Fluorida	mg/l	1,5
12	Kesadahan ($CaCO_3$)	mg/l	500
13	Mangan	mg/l	0,5

14	Nitrat	mg/l	10
15	Nitrit	mg/l	1
16	Sianida	mg/l	0,1
17	Deterjen	mg/l	0,05
18	Pestisida Total	mg/l	0,1
19	Air Raksa	mg/l	0
20	Arsen	mg/l	0,05
21	Kadmium	mg/l	0,01
22	Kromium	mg/l	0,05
23	Selenium	mg/l	0,01
24	Seng	mg/l	15
25	Sulfat	mg/l	400
26	Timbal	mg/l	0,05
27	Benzene	mg/l	0,01
28	Zat Organik ($KMnO_4$)	mg/l	10

Kebutuhan air sanitasi pabrik adalah untuk :

1. Karyawan, asumsi kebutuhan air untuk karyawan (30 liter/hari per orang)
   = 30 liter/hari x 196 orang = 5,88 m^3/hari
2. Keperluan Laboratorium = 20 m^3/hari
3. Untuk menyiram kebun dan kebersihan pabrik = 10 m^3/hari
4. Cadangan atau lain-lain (20% dari air sanitasi) = 7 m^3/hari +

Total kebutuhan air sanitasi 43,06 m^3/hari

VII.2.2 Air Umpan *Boiler*

Alat ini dipergunakan untuk menghasilkan *steam* di dalam *boiler*. Air umpan boiler harus memenuhi persyaratan yang sangat ketat, karena kelangsungan operasi boiler sangat bergantung pada kondisi air umpannya. Beberapa persyaratan yang harus dipenuhi antara lain:

1. Bebas dari zat penyebab korosi, seperti asam, gas-gas terlarut.
2. Bebas dari zat penyebab kerak yang disebabkan oleh kesadahan yang tinggi, yang biasanya berupa garam-garam karbonat dan silika.
3. Bebas dari zat penyebab timbulnya buih (busa) seperti zat-zat organik, anorganik dan minyak.
4. Kandungan logam dan impuritis seminimal mungkin.

Kebutuhan air untuk boiler = 35,97 m^3/hari

VII.2.3 Air Pendingin

Untuk kelancaran dan efisiensi kerja dari air pendingin, maka diperlukan persyaratan untuk air pendingin dan air umpan *boiler :* **(Lamb : 302)**

Karakteristik	**Kadar Maximum (ppm)**	
	Air Boiler	**Air Pendingin**
Silica	0,7	50
Aluminium	0,01	-
Iron	0,05	-
Manganese	0,01	-
Calcium	-	200
Sulfate	-	680
Chloride	-	600
Dissolved Solid	200	1000
Suspended Solid	0,5	5000
Hardness	0,07	850
Alkalinity	40	500

Untuk menghemat air, maka air pendingin yang telah digunakan harus di dinginkan kembali dalam cooling tower, sehingga perlu sirkulasi air pendingin, maka di sediakan pengganti kebutuhan. Kebutuhan air pendingin :

No.	Nama Alat	Kode	Kebutuhan Air Pendingin	
			(kg/jam)	(lb/jam)
1	Absorber	D-320	53.637,35	118.248,90
2	Cooler	E-312	5.629,70	12.411,24
3	Cryztallizer	S-250	6.625,31	14.606,16
4	Cooling Conveyor	J-223	36.061,04	79.500,18
Total			101.953	224.766

Cooling Tower

Fungsi : Mendinginkan air pendingin yang sudah terpakai.

Untuk keperluan ini digunakan *cooling tower* dengan spesifikasi sebagai beriku

Kebutuhan Cooling Water = 224.766,49 lb/jam

= 2.446.882 kg/hari

= 101,95 m^3/jam

Densitas Air = 1000 kg/m^3

Volume Air = $\frac{2.446.881,8 \text{ kg/hari}}{1000 \text{ kg/m}^3}$

= 2.446,88 m^3/hari

Dianggap kehilangan air pada waktu sirkulasi 10% dari total air pendingin.
Sehingga sirkulasi air pendingin adalah 90%.

Air yang disirkulasi = 90% x 2446,88

= 2202,19 m^3/hari

Air yang harus ditambahkan sebagai make up water :

= 10% x 2446,88 = 244,688 m^3 / hari

Jadi, total kebutuhan air (disirkulasi) sebesar :

$$= 2.447\ m^3/\text{hari} \times \frac{1\ \text{hari}}{24\ \text{jam}} \times \frac{4,4\ \text{gpm}}{1\ m^3/\text{jam}}$$

= 448,59 gpm

Perancangan Alat Cooling Tower

Fungsi : Mendinginkan air yang akan digunakan sebagai air pendingin.

Jenis : Cross Flow Induced Draft Cooling Tower

Rate Volumetrik = 448,59 gpm

Digunakan udara sebagai pendingin dengan relative humidity 70%.

Suhu air masuk cooling tower (T_1) = 45 °C = 113 °F

Suhu air keluar cooling tower (T_2) = 30 °C = 86 °F

Diambil kondisi 70% relative humidity 30°C

T dry bulb = T_{db} = 30 °C = 86 °F

T wet bulb = T_{wb} = 26 °C = 78,8 °F **(Perry ed.7; fig.12-3)**

Temperature Approach = $T_2 - T_{wb}$

= 86 - 78,8 = 7,2 °F

Temperature Range = $T_1 - T_2$

= 113 - 86 = 27 °F

Konsentrasi air cooling water pada suhu 30°C = 2 gpm/ft^2

$$\text{Luas area pendinginan} = \frac{448,59\ \text{gpm}}{2\ \text{gpm/ft}^2}$$ **(Perry 7^{ed}, Fig 12-14)**

= 224,30 ft^2

Menghitung Make Up Water

Aliran air sirkulasi masuk cooling tower (Wc)

= 2446,88 m^3/hari

= 101,95 m^3/jam

Evaporation Loss (We)

= 0,00085 x Wc ($T_1 - T_2$)

= 0,00085 x 101,95 x (113 - 86)

= 2,3398 m^3/jam

Water Drift Loss (Wd)

Air yang keluar karena fan berputar, untuk ini standartnya 0.1-0.2% jumlah air yang bersikulasi. **(Perry 7^{ed}, Page 12-17)**

= 0,002 x Wc

= 0,002 x 101,95

= 0,2039 m^3/jam

Water Blow Down (Wb)

Air yang dibuang untuk menurunkan konsentrasi padatan dalam air sirkulasi :

S = rasio klorida dalam air sirkulasi terhadap air make up 3-5. Dipilih S = 5

$$Wb = \frac{We}{(S-1)}$$ **(Perry 7^{ed}, Page 12-17)**

$$= \frac{2,3398}{5 - 1}$$

= 0,5850 m^3/jam

Jadi air yang dibutuhkan untuk penambahan (Make up water) adalah :

Wm = We + Wd + Wb

= 2,3398 + 0,2039 + 0,5850

= 3,1287 m^3/jam

Dengan dasar perhitungan dari **hal. 3 -795(Perry 3$^{.ed}$.1984)**, diperoleh :

- Tinggi cooling tower = 35 ft = 11 m
- Jumlah deck = 12 buah
- Lebar cooling tower = 12 ft = 4 m
- Kecepatan angin = 3 mil / jam

$$\mathbf{L = \frac{Gpm \times W}{C \times 12 \times CW \times CH}}$$ **hal. 3 -795(Perry 3$^{.ed}$.1984)**

dengan :

L = panjang cooling tower, ft

W = wind correction factor.

C = konsentrasi air / ft^2 cooling tower

CW = wet bulb correction factor.

diperoleh :

W = 1 **fig.56, hal.3-794 (Perry 3.ed.1984)**

CW = 0,98 **fig.56, hal.3-794 (Perry 3.ed.1984)**

C = 2 **fig.56, hal.3-794 (Perry 6.ed.1984)**

CH = 1,25 **fig.56, hal.3-794 (Perry 6.ed.1984)**

Maka dapat diperoleh :

$$L = \frac{448,59 \times 1}{2 \times 12 \times 0,98 \times 1,25} = 15,26 \text{ ft} = 4,58 \text{ m}$$

Tinggi menara

Berdasarkan **Perry 8^{ed} ; Page 12-19 :**

Untuk range pendingin 25 - 35^{o}F dengan temperature approach 80^{o}F perlu tinggi menara 35 - 40 ft. Dilakukan Interpolasi untuk mendapatkan tinggi menara dengan temperature 27 ^{o}F maka diperoleh tinggi menara :

$$\frac{27 - 25}{35 - 25} = \frac{y - 35}{40 - 35}$$

$y = 36$ ft = 10,8 m

Diameter Menara

$$A = \frac{\pi}{4} \times D^2$$

$$224,30 = 0,785 \times D^2$$

$$D^2 = 285,73$$

$D = 16,90$ ft = 5,07 m

Menghitung daya motor penggerak Fan Cooling Tower

fan Hp = 0,031 hp/ft2

(fig,12.15, Perry 7ed)

Tenaga yang dibutuhkan = luas cooling tower x 0,031

= 224,30 ft^2 x 0,03 hp/ft^2

= 6,95 hp

Effisiensi fan = 80%

Fan Power = 8,69 hp ≈ 9 HP

Spesifikasi Alat	
Nama alat	Cooling Tower
Fungsi	Mendinginkan air yang akan digunakan sebagai air pendingin
Type	Cross Flow Induced Draft Cooling Tower
Kapasitas	101,95 m^3/jam
Tinggi	36 ft = 10,80 m
Panjang	15,26 ft = 4,58 m
Diameter	17 ft = 5,07 m
Lebar	12 ft = 3,60 m
Power	9 HP

Bahan konstruksi	Baja stainless SA-240 grade M tipe 316
Jumlah	1 buah

VII.2.4 Air Proses

Kebutuhan air proses untuk pabrik :

No	Nama Alat	Kode	Air (Kg/jam)	Air (lb/jam)
1	Tangki Pengencer	M-130	5.082,05	11.203,89
2	Absorber	D-320	21.428,00	47.240,17
3	Reaktor	R-230	33.885,38	74.703,70
Total			**26.510,05**	**58.444,06**

Total kebutuhan air proses = 26.510 kg/jam = 636 m^3/hari

VII.3 Unit Pengolahan Air (Water Treatment)

Air untuk keperluan industri harus terbebas dari kontaminan yang merupakan faktor penyebab terbentuknya endapan, korosi pada logam, dan lainnya. Untuk mengatasi masalah ini maka dari sumber air tetap memerlukan pengolahan sebelum digunakan.

Proses Pengolahan Air Sungai :

Air sungai di pompa ke bak penampung yang terlebih dahulu dilakukan penyaringan dengan cara memasang serat kayu agar kotoran bersifat makro akan terhalang dan tidak ikut masuk ke bak koagulasi dan flokulasi. Selanjutnya air sungai di pompa ke clarifier. Pada bak pengendapan ini kotoran-kotoran akan mengendap dan membentuk flok-flok yang sebelumnya pada bak koagulasi dan flokulasi diberikan alum dan PAC. Air lalu ditampung pada baik air jernih yang selanjutnya dilewatkan sand filter untuk menyaring kotoran yang masih terikat oleh air. Air bersih yang keluar ditampung dalam bak penampung air bersih untuk di distribusikan sesuai kebutuhan.

Dari perincian diatas, dapat disimpulkan kebutuhan air dalam pabrik :

Air Sanitasi	=	43,06	m^3/hari	=	1,79	m^3/jam
Air Umpan Boiler	=	35,97	m^3/hari	=	1,50	m^3/jam
Air Pendingin	=	2.446,88	m^3/hari	=	101,95	m^3/jam
Air Proses	=	636,24	m^3/hari	=	26,51	m^3/jam
Total	=	3.162,15	m^3/hari	=	131,76	m^3/jam

Total air yang di supply dari water treatment = 3.162,15 m^3/hari

Kehilangan akibat jalur pipa dalam perjalanan, 20% untuk faktor keamanan maka direncanakan kebutuhan air sungai total :

= 120% x Kebutuhan normal

= 120% x 3.162,15

= 3.794,58 m^3/hari
= 158,11 m^3/jam

VII.3.1 Spesifikasi Peralatan Pengolahan Air

1. Bak Penampung Air Sungai

Fungsi : Menampung air sebelum diproses menjadi air bersih
Tipe : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton

Rate volumetrik = 158,11 m^3/jam
Ditentukan : Waktu tinggal = 24 jam
Volume Air = 158,11 m^3/jam x 24 jam
= 3.795 m^3

Volume bak penampung (direncanakan 80% terisi air)
Volume air = 0,8 x Volume bak
Vol bak = 3.795 / 0,8
= 4.743,22 m^3

Dimisalkan : Panjang = 2 X m
Lebar = 2 X m
Tinggi = 1 X m

Volume bak = Panjang x Lebar x Tinggi
4.743,22 m^3 = 4,0 X^3
X^3 = 1.186 m^3
X = 10,58 m

Panjang = 2,0 x 10,58 m = 21,17 m
Lebar = 2,0 x 10,58 m = 21,17 m
Tinggi = 1,0 x 10,58 m = 10,58 m

Menghitung Tinggi Liquid
V liq = P x L x H
3794,58 = 21,17 x 21,17 x H
H liq = 8,47 m

Asumsi padatan yang mengendap dan keluar 1% dari bak penampung air sunga
Q_2 = 1% x Q yang masuk
= 1% x 158,11 m^3/jam
Q_2 = 1,58 m^3/jam
Q_1 = Debit air yang akan masuk ke tangki koagulasi
Q_1 = Q masuk - Q_2

= 158,11 - 1,58 m^3/jam
= 156,53 m^3/jam
= 3.756,63 m^3/hari

Spesifikasi Bak Penampung Air Sungai	
Fungsi	Menampung air sungai sebelum di proses menjadi air bersih
Kapasitas	4.743 m^3
Bentuk	Bak berbentuk persegi panjang terbuka
Dimensi Bak Penampung	
Panjang (P)	21,17 m
Lebar (L)	21,17 m
Tinggi (H)	10,58 m
Bahan Konstruksi	Beton
Jumlah	1 Buah

2. Tangki Koagulasi

Fungsi : Tempat terjadinya koagulasi dengan penambahan $Al_2(SO_4)_3$ untuk destabilisasi kotoran dalam air yang tak di kehendaki.

Type : Tangki berbentuk silinder dan dilengkapi pengaduk (Turbine).

Rate volumetrik (Q_1) = 156,53 m^3/jan = 156.526,25 L/jam

Ditentukan : Waktu tinggal = 5 menit = 0,0833 jam

Dosis $Al_2(SO_4)_3$ = 20 mg/L **(AWWA : T.5.2 : 94)**

Kelarutan $Al_2(SO_4)_3$ = 250 - 300 g/L , Dipilih = 250 g/L

ρ $Al_2(SO_4)_3$ = 1,13 kg/L

Kebutuhan $Al_2(SO_4)_3$ = 20 mg/L x 156526,25 L/jam
= 3130525,07 mg/jam
= 3130,53 gram/jam
= 3,13 kg/jam

Volume $Al_2(SO_4)_3$ $= \frac{\text{Kebutuhan } Al_2(SO_4)_3}{\text{densitas}} = \frac{3{,}13 \text{ kg/jam}}{1{,}13 \text{ kg/L}}$
= 2,77 L/jam
= 0,00277 m^3/jam

Kebutuhan air untuk melarutkan Al2(SO4)3 $= \frac{\text{Kebutuhan } Al_2(SO_4)_3}{\text{Kelarutan Al2(SO4)3}}$
$= \frac{3130{,}53 \text{ gram/jam}}{250 \text{ g/L}}$
= 12,52 L/jam
= 0,0125 m^3/jam

Rate volumetrik tangki koagulasi (Q_2) = Q1 + koagulan + pelarut koagulan
= 157 + 0,00277 + 0,0125
= 156,54 m^3/jam

Volume air dalam bak penampung :

Volume liquida dalam tangki = Rate volumetrik x waktu tinggal
= 156,54 m^3/jam x 0,083 jam
= 13,05 m^3

Volume tangki koagulasi = 1,2 x 13,05 m^3
= 15,65 m^3

Menentukan Dimensi Tangki Koagulasi

Asumsi : H = 2 D

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

15,65 = 0,79 x D^2 x 2.5 D

15,65 = 1,57 D^3

D = 2,15 m

H = 4,30 m

Menentukan Tinggi Liquida (H_f) di dalam Tangki

Volume Liquida = $\frac{\pi}{4}$ x D^2 x H_f

13,05 = 0,79 x 4,63 x H_f

13,05 = 3,64 x H_f

H_f = 3,59 m

Perencanaan Sistem Pengaduk

Dalam tangki koagulasi ini dilengkapi dengan pengaduk tipe Flat Blade Turbine
dengan jumlah blade = 6 blades
Didasarkan pada **(McCabe ed.5; p.243)**

Dt = 3 Da	Dt = 3 E	Dt = 12 J
H = 1 Dt	Da = 5 W	Da = 4 L

Keterangan :

Dt = Diameter tangki, m	Dt	=	2,15	m	(D.tangki)
Da = Diameter impleller, m	Da	=	0,72	m	(1/3 Dt)
E = Jarak impleller ke dasar, m	E	=	0,72	m	(1/3 Dt)
J = Lebar buffle, m	J	=	0,18	m	(1/12 Dt)
W = Lebar blade, m	W	=	0,14	m	(1/5 Da)
L = Panjang blade, m	L	=	0,18	m	(1/4 Da)

Penentuan Putaran Pengaduk :

$$V = \pi \times Da \times N$$ **(McCabe ed.5; eq. 9.1 p.244)**

Dengan :

Untuk pengaduk jenis turbin :

V = peripheral speed ; m/menit
Da = D. impeller (Da) ; m
N = putaran pengaduk ; rpm

Diambil putaran pengaduk, N = 100 rpm *(Koagulasi ± 100 rpm)*
= 1,67 rps

$V = \pi \times Da \times N$
$= 3,14 \times 0,72 \times 100$
$= 225$ m/menit

<u>Bilangan reynold ; N_{re}</u>

Diambil putaran pengaduk, N = 100 rpm = 1,67 rps

ρ air = 1000 kg/m³ = 62,43 lb/cuft

μ air = 0,89 Cp = 0,00089 kg/m.s

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

$$= \frac{1000\ kg/m^3 \times 0,5\ m^2 \times 1,67\ rps}{0,00089\ kg/m.s}$$

= 963909,40 (Turbulen)

Karena Nre > 10000, maka digunakan baffle.

Untuk Nre > 10000 diperlukan 4 buah baffle, sudut 90°

<u>Power pengaduk :</u> **(Perry ed.7; p.18-10)**

$$P = \frac{K_3\ \rho\ N^3 Da^5}{g}$$ **(Ludwig ed.3,vol.1; eq.5.5)**

Dengan :

P = power ; hp
K_3 = faktor mixer (turbin) = 6,3 **(Ludwig ed.3,vol.1; tab.5-1)**
g = konstanta gravitasi = 32,17 ft lbm/s² lbf
ρ = densitas bahan = 62,43 lb/cuft
N = kecepatan putaran impell = 1,67 rps
Da = diameter impeller = 2,35 ft

$$P = \frac{6,3 \times 62,43 \times 4,63 \times 72,16}{32,17}$$

= 4083,89 ft.lbf/sec = 7,43 hp

Jika effisiensi motor 80%, maka :

$$P = \frac{7,43}{80\%} = 9,28 \text{ hp}$$

Dipilih motor = 9 hp

Spesifikasi Tangki Koagulasi	
Fungsi	Tempat terjadinya koagulasi dengan penambahan $Al_2(SO_4)_3$ untuk destabilisasi kotoran dalam air yang tak di kehendaki.
Type	Tangki berbentuk silinder dan dilengkapi dengan pengaduk (Turbine).
Waktu tinggal	5 menit
Kapasitas	15,65 m^3
Dimensi Tangki	
Diameter	2 m = 0,65 ft
Tinggi	4 m = 1,29 ft
Tinggi Liquida	3,59 m
Sistem Pengaduk	
Jenis	Flat Blade Turbin
Jumlah blade	6 Buah
Kecepatan Putaran	100 rpm
Diameter Impeller	0,72 m
Power Motor	9 Hp
Effisiensi Motor	80%
Bahan	Carbon Steel
Jumlah	1 Buah

3. Tangki Flokulasi

Fungsi : Tempat terjadinya penggumpalan partikel dan kontaminan air sunga menjadi flok dengan penambahan Poly Alumunium Chlorida (PAC)

Type : Tangki berbentuk silinder dan dilengkapi dengan pengaduk (Turbin

Rate Volumetrik (Q_2) = 156,54 m^3/jam = 156.542 L/jam

Ditentukan : Waktu tinggal (t) = 10 menit = 0,17 jam
Dosis PAC = 5 mg/L *(2-5 mg/L)*
Kelarutan PAC = 466 g/L
ρ PAC = 1,03 kg/L

Kebutuhan PAC = Dosis PAC x RateVolumetrik
= 5 mg/L x 156.542 L/jam
= 782.707,74 mg/jam
= 782,71 gram/jam
= 0,78 kg/jam

$$\text{Volume PAC} = \frac{\text{Kebutuhan PAC}}{\text{Densitas PAC}}$$

$$= \frac{0{,}78 \text{ kg/jam}}{1{,}03 \text{ kg/L}}$$

$= 0{,}76$ L/jam

$= 0{,}0007606$ m^3/jam

$$\text{Kebutuhan air untuk melarutkan PAC} = \frac{\text{Kebutuhan PAC}}{\text{Kelarutan PAC}}$$

$$= \frac{782{,}71 \text{ gram/jam}}{466 \text{ g/L}}$$

$= 1{,}68$ L/jam

$= 0{,}0017$ m^3/jam

Rate volumetrik ke clarifier (Q_3) = Q2 + Flokulan + Pelarut flokulan

= 156,54 + 0,0008 + 0,0017

= 156,54 m^3/jam

<u>Volume air dalam bak penampung :</u>

Volume liquida dalam tangki = Rate volumetrik x waktu tinggal

= 156,54 m^3/jam x 0,17 jam

= 26,09 m^3

Volume tangki flokulasi = 1,2 x 26,09 m^3

= 31,31 m^3

Menentukan Dimensi Tangki Flokulasi

Asumsi : H = 2 D

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

31,31 = 0,79 x D^2 x 1.5 D

31,31 = 1,57 D^3

D = 2,71 m

H = 5,42 m

Menentukan Tinggi Liquida (H_f) di dalam Tangki

$$\text{Tinggi Liquida} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_f$$

26,09 = 0,79 x 7,35 x H_f

26,09 = 5,77 x H_f

H_f = 4,52 m

Perencanaan Sistem Pengaduk

Dalam tangki flokulasi ini dilengkapi dengan pengaduk tipe Flat Blade Turbine
dengan jumlah blade = 6 blades

Didasarkan pada **(McCabe ed.5; p.243)**

Dt	=	3	Da	Dt	=	3	E	Dt	=	12	J
H	=	1	Dt	Da	=	5	W	Da	=	4	L

Keterangan :

Dt	=	Diameter tangki, m	Dt	=	2,71	m	(D.tangki)
Da	=	Diameter impleller, m	Da	=	0,90	m	(1/3 Dt)
E	=	Jarak impleller ke dasar, m	E	=	0,90	m	(1/3 Dt)
J	=	Lebar buffle, m	J	=	0,23	m	(1/12 Dt)
W	=	Lebar blade, m	W	=	0,18	m	(1/5 Da)
L	=	Panjang blade, m	L	=	0,23	m	(1/4 Da)

Penentuan Putaran Pengaduk :

$$V = \pi \times Da \times N$$ **(Mc.Cabe ed.5; eq. 9.1 p.244)**

Dengan :

Untuk pengaduk jenis turbin :

V = peripheral speed ; m/menit
Da = D. impeller (Da) ; m
N = putaran pengaduk ; rpm

Diambil putaran pengaduk, N = 45 rpm *(Flokulasi <50 rpm)*
= 0,75 rps

$$V = \pi \times Da \times N$$
$$= 3{,}14 \times 0{,}90 \times 45$$
$$= 128 \text{ m/menit}$$

Bilangan reynold ; N_{re}

Diambil putaran pengaduk, N = 45 rpm
= 0,75 rps

ρ air = 1000 kg/m^3 = 62,43 lb/cuft
μ air = 0,89 Cp = 0,00089 kg/m.s

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

$$= \frac{1000 \text{ kg/m}^3 \times 0{,}82 \text{ m}^2 \times 0{,}75 \text{ rps}}{0{,}00089 \text{ kg/m.s}}$$

= 688.557,01 (Turbulen)

Karena Nre > 10000, maka digunakan baffle. **(Perry ed.7; p.18-10)**

Untuk Nre > 10000 diperlukan 4 buah baffle, sudut 90˚

Power pengaduk :

$$P = \frac{K_3 \ \rho \ N^3 Da^5}{g}$$ **(Ludwig ed.3,vol.1; eq.5.5)**

Dengan :

P = power ; hp

K_3 = faktor mixer (turbin) = 6,3 **(Ludwig ed.3,vol.1; tab.5-1)**

g = konstanta gravitasi = 32,17 ft lbm/s^2 lbf

ρ = densitas bahan = 62,43 lb/cuft

N = kecepatan putaran impeller = 0,75 rps

Da = diameter impeller = 2,96 ft

$$P = \frac{6,3 \times 62,43 \times 0,42 \times 229,11}{32,17}$$

= 1181,52 ft.lbf/sec

= 2,1482 hp

Jika effisiensi motor 80%, maka :

$$P = \frac{2,15}{80\%}$$

= 2,7 hp

Dipilih motor = 2,7 hp

Spesifikasi Tangki Flokulasi	
Fungsi	Tempat terjadinya penggumpalan partikel dan kontaminan air sungai menjadi flok dengan penambahan Poly Alumunium Chlorida (PAC).
Type	Tangki berbentuk silinder dilengkapi dengan pengaduk (Turbine).
Waktu tinggal	10 menit
Kapasitas	31,31 m^3
Dimensi Tangki	
Diameter (D)	3 m = 0,81 ft
Tinggi (H)	5 m = 1,63 ft
Tinggi Liquida	4,52 m
Sistem Pengaduk	
Jenis	Flat Blade Turbin
Jumlah blade	6 Buah
Kecepatan Putaran	45 rpm
Diameter Impeller	1 m
Power Motor	2,7 Hp
Effisiensi Motor	80%
Bahan	Carbon Steel
Jumlah	1 Buah

4. Clarifier

Fungsi : Tempat pemisahan antara flok atau padatan dengan air bersih menggunakan cara sedimentasi atau pengendapan.

Type : Berbentuk silinder tegak dengan bagian bawah berbentuk conis.

Proses : Continue

Rate volumetrik (Q_3) = 156,54 m^3/jam

Waktu tinggal = 1- 2,5 jam

Acuan design pada partikel flokulan, maka didapatkan :

Laju alir limpahan (overflow rate) = 32 - 48 m^3/m^2.hari

= 32 m^3/m^2.hari

= 1,33 m^3/m^2.jam

(Perry 6th, P.19-8)

$$A = \frac{\text{Rate Volumetrik}}{\text{Overflowrate}} = \frac{156,54}{1,33} = 117,41 \ m^2 = 1263,12 \ ft^2$$

$D=\sqrt{(4x\ A/\pi)}$ (Diamater Clarifier: 3 - 60 m)

D = 12,23 m ; r = 6,11 m

Diameter pipa umpan masuk d' = 0,15 D

= 1,83 m

Kedalaman Clarifier (H) = D/H = 6 - 10

$$= \frac{12,23}{6}$$

= 2,0 m *(Kedalaman Clarifier: 2 - 5 m)*

Asumsi , s = 2 m , dimana s/s' = 3-4

Dipilih s = 4 s'

$s' = \frac{2}{4} = 0,5$ m

Volume = A x H

= 117,41 x 2,04

= 239,31 m^3

$$\text{Waktu tinggal} = \frac{\text{Volume}}{\text{Rate Volumetrik}}$$

$$= \frac{239,31 \ m^3}{156,54 \ m^3/jam}$$

= 2 jam , memenuhi standart yaitu *(1 - 3 jam)*

<u>Menentukan Dimensi Tangki</u>

Volume air = Rate Volumetrik x Waktu tinggal

= 156,54 m^3/jam x 1,5 jam = 239,31 m^3

Direncanakan volume air = volume clarifier agar terjadi overflow

Volume air di Clarifier = 239,31 m^3

Asumsi :

Tinggi cone,Hc = $\frac{1}{2}$ Hs

Vsilinder = $\pi \times r^2 \times Hs$

Vcone = $1/3 \times \pi \times r^2 \times Hc$

Volume Clarifier = $\pi \times r^2 \times Hs + 1/3 \times \pi \times r^2 \times Hc$

239,31 = 117,41 Hs + 23,02 Hs

239,31 = 140,43 Hs

Hs = 1,70 m

Hc = 0,85 m

Check Volume :

Volume Clarifier = Vs + Vcone (tutup bawah)

Volume Clarifier = $\pi \times r^2 \times Hs + 1/3 \times \pi \times r^2 \times Hc$

= 200,08 + 33,35

= 233,43 m^3 **(memenuhi)**

Volume Clarifier < Volume Bahan, agar terjadi overflow

Spesifikasi Clarifier	
Fungsi	Tempat pemisahan antara flok atau padatan dengan air bersih dengan cara sedimentasi atau pengendapan.
Bentuk	Berbentuk silinder tegak dengan bagian bawah berbentuk conis.
Kapasitas	233 m3
Waktu Tinggal	1,5 jam
Dimensi	
Diameter silinder	12,23 m
Tinggi silinder	1,70 m
Tinggi conis	0,85 m
Bahan konstruksi	Carbon Steel
Jumlah	1 Buah

5. Bak Penampung Flok

Fungsi : Menampung flok dari clarifier.

Bentuk : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.

Asumsi padatan yang mengendap (flok) 10% Q_3

Rate Volumetrik, (Q_4) = 10% x 156,54 = 15,65 m^3/jam

Ditentukan : Waktu tinggal = 12 jam

Volume air dalam bak penampung

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal

= 15,65 x 12

= 187,85 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

Volume bak = $\frac{187,85}{85\%}$

= 221,00 m^3

Asumsi : Tinggi (H) = 1 L

Panjang (P) = 1,5 L

Volume bak penampung air

221,00 = P x L x H

147,34 = 2 L x L x L

L = L^3

H = 5,28 m

P = 5,28 m

= 7,92 m

Spesifikasi Bak Penampung Flok	
Fungsi	Menampung flok dari clarifier.
Kapasitas	221,00 m^3
Bentuk	Bak berbentuk persegi panjang terbuka
Dimensi	
Panjang (P)	7,92 m
Lebar (L)	5,28 m
Tinggi (H)	5,28 m
Bahan Konstruksi	Beton
Jumlah	1 Buah

6. Bak Penampung Air Setengah Bersih dari Clarifier

Fungsi : Menampung air bersih dari clarifier.

Bentuk : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.

Asumsi air bersih 90% Q_3

Rate Volumetrik, (Q_5) = 90% x 156,54 = 140,89 m^3/jam

Ditentukan : Waktu tinggal = 1 jam

Volume air dalam bak penampung

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal

= 140,89 x 1 = 140,89 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

Volume bak $= \frac{140,89}{85\%}$

$= 165,75 \ m^3$

Asumsi : Tinggi (H) = 1 L

Panjang (P) = 2 L

Volume bak penampung air = P x L x H

165,75 = 2 L x L x L

82,88 = L^3

L = 4,36 m

H = 4,36 m

P = 8,72 m

Menghitung Tinggi Cairan dalam Tangki

V air = P x L x H

140,89 = 8,72 x 4,36 x H

H = 3,71 m

fungsi	
Fungsi	Menampung air setengah bersih dari clarifier.
Kapasitas	165,75 m^3
Bentuk	Bak berbentuk persegi panjang terbuka
Dimensi	
Panjang (P)	8,72 m
Lebar (L)	4,36 m
Tinggi (H)	4,36 m
Bahan Konstruksi	Beton
Jumlah	1 Buah

7. Sand Filter

Fungsi : Menyaring kotoran atau padatan yang tersuspensi dalam air dengan menggunakan penyaring berupa sand.

Bentuk : Silinder dengan tutup atas dan bawah dished

Waktu tinggal = 15 menit = 0,250 jam

Rate Volumetrik, (Q_6) = 140,89 m^3/jam

Asumsi : Jumlah flok 1% dari debit yang masuk

Jumlah flok = 1% x 140,89

= 1,41 m^3/jam

Volume air bersih = 140,89 - 1,41

= 139,48 m^3/jam

Volume air yang ditampung = 139,48 x 0,25
= 34,87 m^3
= 153,53 gpm

Rate filtrasi = 12 gpm/ft^2 **(Perry 6ed, page 19-85)**

$$\text{Luas penambang bed} = \frac{Q}{\text{Rate filtrasi}}$$

$$= \frac{153{,}53 \text{ gpm}}{12 \text{ gpm/ft2}}$$

= 12,79 ft^2

Diameter = $\sqrt{(4x\ A/\pi)}$ = 4,04 m

Tinggi lapisan dalam kolom, ditentukan :

Lapisan Gravel	=	0,3	m	**(Sugiharto ; 121)**
Lapisan Pasir	=	1	m	**(Sugiharto ; 121)**
Lapisan antrasit	=	0,5	m	
Tinggi Air	=	2	m	**(Sugiharto ; 121)**
Tinggi Lapisan	=	3,8	m	

Kenaikan akibat back wash = 25% dari tinggi pasir dan lapisan antrasit
= 0,38 m

Tinggi bagian atas untuk pipa = tinggi bagian bawah untuk pipa = 0,3 m

Tinggi total lapisan = tinggi total lapisan dalam kolom + kenaikan akibat back wash + tinggi bagian atas untuk pipa + tinggi bagian bawah untuk pipa
= 3,8 + 0,38 + 0,3 + 0,3 = 4,78 m

Spesifikasi Sand Filter	
Fungsi	Menyaring padatan yang tersuspensi dalam air menggunakan penyaring
Bentuk	Silinder dengan tutup atas dan bawah dished
Kapasitas	34,87 m^3
Jumlah	2 Buah
Dimensi	
Luas bed	12,79 ft^2
Diameter	4,04 m
Tinggi lapisan	3,80 m
Tinggi silinder	4,78 m
Tinggi backwash	0,38 m
Bahan Konstruksi	Carbon Steel SA - 283 grade P

8. Bak Penampung Air Bersih dari Sand Filter

Fungsi : Menampung air bersih dari sand filter.
Bentuk : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.

Asumsi air bersih 99% Q_6

Rate Volumetrik, (Q_7) = 99% x 140,89 = 139,48 m^3/jam
Ditentukan : Waktu tinggal = 1 jam

Volume air dalam bak penampung

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= 139,48 x 1
= 139,48 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

$$\text{Volume bak} = \frac{139,48}{85\%} = 164,09 \; m^3$$

Asumsi : Tinggi (H) = 1 L
Panjang (P) = 2 L

Volume bak penampung air = P x L x H
164,09 = 2 L x L x L
82,05 = L^3
L = 4,35 m
H = 4,35 m
P = 8,69 m

Menghitung Tinggi Air didalam Tangki
V liq = P x L x H
139,48 = 8,69 x 4,35 x H
H liq = 3,69 m

Spesifikasi Bak Penampung Air Bersih	
Fungsi	Menampung air bersih dari sand filter.
Kapasitas	164,09 m^3
Bentuk	Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.
Dimensi	
Panjang (P)	8,69 m
Lebar (L)	4,35 m
Tinggi (H)	4,35 m

Bahan Konstruksi	Beton
Jumlah	1 Buah

9. Bak Penampung Air Bersih untuk Sanitasi

Fungsi : Menampung air bersih dari bak penampung air bersih untuk sanitasi dan tempat menambahkan desinfektan (Chlorine).

Bentuk : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.

Rate Volumetrik = 43,06 m^3/hari = 43.056 L/hari

= 1,79 m^3/jam

Waktu tinggal = 1 hari = 24 jam

Volume air dalam bak penampung

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal

= 1,79 x 24

= 43,06 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

Volume bak $= \dfrac{43,06}{85\%}$

= 50,65 m^3

Asumsi : Tinggi (H) = 1 L

Panjang (P) = 2 L

Volume bak penampung air = P x L x H

50,65 = 2 L x L x L

25,33 = L^3

L = 2,94 m

H = 2,94 m

P = 5,87 m

Untuk membunuh kuman digunakan desinfektan jenis Chlorine,

Kebutuhan sebesar = 200 mg/L **(Wesley : Page 96)**

Jumlah kebutuhan desinfektan yang ditambahkan = 200 mg/L, maka per tahun perlu ditambahkan desinfektan sebanyak :

= 200 mg/L x 43.056 L/hari x 330 hari/tahun

= 2.841.696.000 mg/tahun = 2841,70 kg/tahun

Spesifikasi Bak Penampung Air Bersih untuk Sanitasi	
Fungsi	Menampung air bersih dari bak penampung air bersih untuk keperluan sanitasi dan tempat menambahkan desinfektan (Chlorine).

Bentuk	Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.
Waktu tinggal	1 hari = 24 jam
Kapasitas	50,65 m^3
Dimensi	
Panjang (P)	5,87 m
Lebar (L)	2,94 m
Tinggi (H)	2,94 m
Bahan Konstruksi	Beton
Jumlah	1 Buah

10. Kation Exchanger

Fungsi : Mengurangi kesadahan air dikarenakan garam-garam Ca^{2+} Kandungan $CaCO_3$ dari pengolahan air sekitar 5 grain/gallon (Krik Othmer, Vol.11 : 887). Kandungan ini sedianya dihilangkan dengan resin dowex bentuk granular, agar sesuai sesuai dengan syarat air boiler.

Kandungan $CaCO_3$ = 5 grain/gal = 0,32 gram/gal
= (1 grain = 0,0648 gram)

Jumlah air yang diproses = 672,21 m^3/hari
= 177.598 gallon/hari

Jumlah $CaCO_3$ dalam air = 0,32 gram/gal x 177.598 gallon/hari
= 57.542 gram/hari

Dipilih bahan pelunak :

Dowex dengan *exchanger capacity* = 1,8 ek/L resin **[Perry 6ed ; T.16-4]**

(Dowex - Marathon C resin specification)

H-Dowex diharapkan mampu menukar semua ion Ca^{2+} .

$$\text{ek (ekuivalen)} = \frac{\text{Gram x Elektron}}{\text{BM}}$$ **(Underwood : 55)**

Untuk $CaCO_3$, 1 mol Ca melepas 2 elektron : Ca^{2+} , sehingga elektron = 2

BM Ca = 40,08 gr/mol

$$\text{ek (ekuivalen)} = \frac{115.083}{40,08} = 2.871 \text{ ek}$$

$$\text{Resin yang diperlukan} = \frac{2.871 \text{ ek}}{1,8 \text{ ek/L resin}}$$

= 1.595 L resin/hari

Karena regenerasi dilakukan setiap 3 bulan sekali, maka :
3 bulan = 90 hari
Kebutuhan resin setiap 3 bulan = 1.595 L resin/hari x 90 hari
= 143.567 L resin
= 143,57 m^3

Cara Kerja
Air dilewatkan pada kation exchanger yang berisi resin positif sehingga ion positif tertukar dengan resin positif.
Asumsi : H = 2 D

$$\text{Volume resin} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H$$

$$143{,}57 = 0{,}79 \times D^2 \times D$$

$$143{,}57 = 1{,}57\ D^3$$

$$D = 4{,}51 \text{ m}$$

$$H = 9{,}01 \text{ m}$$

<u>**Regenerasi Dowex**</u>
Regenerasi Dowex dilakukan dengan larutan HCl 33% (*Condensate Polishing* Plant PJB II - Paiton, *Standart Procedure Operation*)

R - H + MX → R - M + HX

Dimana :

R = Resin Dowex
R - H = Resin Dowex mengikat kation.
MX = Mineral yang terkandung dalam air.
Contoh mineral (MX) : $CaSO_4$, CaO_3, $MgCO_3$, dll.
R - M = Resin dalam kondisi mengikat kation.
HX = Asam mineral yang terbentuk setelah air melewati resin kation.
Contoh asam mineral (HX) : HCl, H_2SO_4, H_2CO_3, dll.

Reaksi kation exchange : $R - H^+ + CaSO_4 \rightarrow R - Ca^{++} + H_2SO_4$
Reaksi regenerasi kation : $R - Ca^{++} + 2HCl \rightarrow R - H^+ + CaCl_2$

Regenerasi dilakukan 4 kali dalam setahun

Volume resin yang diregenerasi = 143.567 L Resin
Densitas Resin = 1,2 kg/L
Massa Resin = Volume x Densitas
= 143.567 x 1,2
= 172.280 kg

Volume resin yang di regenerasi = 143.567 L Resin

Ekivalen Total Ca^{2+} = Volume Resin x Kapasitas Resin
= 143.567 x 1,8
= 258.420 ek

Mol Total Ca^{2+} $= \dfrac{\text{Ekivalen Total } Ca^{2+}}{\text{Ekivalen } Ca^{2+}}$

$= \dfrac{258.420 \text{ ek}}{2 \text{ ek/mol}}$

= 129.210 mol

1 mol Ca^{2+} ditukar atau exchange dengan 2 mol HCl

Maka kebutuhan HCl = 2 x 129.210 (Dalam mol)
= 258.420 mol

Kebutuhan HCl = Mol HCl x BM HCl
= 258.420 x 36,5
= 9.432.344 gram
= 9.432 kg

Maka kebutuhan HCl 33% $= \dfrac{\text{Massa HCl}}{\text{Massa HCl} + \text{Massa } H_2O}$

$33\% = \dfrac{9.432}{\text{Massa Total}}$

Massa Total = 28.583 kg

dengan ρ HCl = 1,27 kg/L **(Perry 7^{ed} ; T.2-57)**

Jadi ρ campuran = % HCl x ρ HCl + % H_2O x ρ H_2O
= 33% x 1,268 + 67% x 1
= 1,09 gr/ml
= 1,09 kg/L

Volume Larutan $= \dfrac{\text{Massa Total}}{\text{Densitas Campuran}}$

$= \dfrac{28.583}{1,09}$

= 26.260 L

Volume tangki HCl = 1,2 x 26.260
= 31.512 L
= 32 m^3

Asumsi :
H = 2 D

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

31,5125 = 0,785 x D^2 x 2D

31,5125 = 1,57 D^3

D = 2,72 m

H = 5,44 m

Spesifikasi Kation Exchanger	
Fungsi	Mengurangi kesadahan air dikarenakan garam-garam Ca2+. Kandungan CaCO3 dari pengolahan air sekitar 5 grain/gallon (Krik Othmer, Vol.11 : 887). Kandungan ini sedianya dihilangkan dengan resin dowex bentuk granular, agar sesuai sesuai dengan syarat air boiler.
Bentuk	Silinder tegak
Kapasitas resin	144 m^3/3bulan
Jumlah	1 Buah
Waktu regenerasi resi	3 Bulan
Dimensi resin	
Tinggi	9,01 m
Diameter	4,51 m
Dimensi tangki HCl	
Tinggi	5,44 m
Diameter	2,72 m
Bahan konstruksi	Stainless Steel type 316

11. Anion Exchanger

Fungsi : Mengurangi kesadahan air dikarenakan garam-garam CO_3^{2-}.
Kandungan $CaCO_3$ dari pengolahan air sekitar 5 grain/gallon agar sesuai dengan syarat air boiler. (Kirk Othmer,Vol.11:887)

Kandungan $CaCO_3$ = 5 grain/gal = 0,32 gram/gal
(1 grain = 0,0648 gram)

Jumlah air yang diproses = 672 m^3/hari = 177.598 gallon/hari

Jumlah $CaCO_3$ dalam air = 0,32 gram/gal x 177.598 gallon/hari
= 57.542 gram/hari

Dipilih bahan pelunak :
Dowex dengan *exchanger capacity* = 2 ek/L resin **[Perry 6ed ; T.16-4]**
(Dowex - Marathon C resin specification)
OH - Dowex diharapkan mampu menukar semua ion CO_3^{2-}.

$$\text{ek (ekuivalen)} = \frac{\text{Gram x elektron}}{\text{BM}}$$ **(Underwood : 55)**

Untuk $CaCO_3$, 1 mol CO_3 melepas 2 elektron : CO_3^{2-} , sehingga elektron = 2
BM $CaCO_3$ = 60,01 gr/mol

$$\text{ek (ekuivalen)} = \frac{115.083}{60} = 1.918 \text{ ek}$$

Resin yang diperlukan $= \frac{1.918 \text{ ek}}{2 \text{ ek/L resin}}$
= 959 L resin/hari

Karena regenerasi dilakukan setiap 3 bulan sekali, maka :
3 bulan = 90 hari
Kebutuhan resin setiap 3 bulan = 959 L resin/ha x 90 hari
= 86.298 L resin
= 86,30 m^3

Cara Kerja

Air dilewatkan pada anion exchanger yang berisi resin negatif sehingga ion negatif tertukar dengan resin negatif.

Asumsi : H = 2 D

$$\text{Volume resin} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H$$

86,30 = 0,79 x D^2 x D
86,30 = 1,57 D^3
D = 3,80 m
H = 7,60 m

Regenerasi Dowex

Regenerasi Dowex dilakukan dengan larutan NaOH 40% **(SPO Paiton)**

$$\mathbf{R - OH + HX \rightarrow R - X + H_2O}$$

Dimana :
R = Resin Dowex
R - OH = Resin Dowex mengikat anion.

R - X = Resin dalam kondisi mengikat anion.

Reaksi anion exchange : $R\text{-}OH^- + H_2SO_4 \rightarrow R\text{-}SO_4^{2-} + H_2O$

Reaksi regenerasi anion : $R\text{-}SO^{2-} + 2NaOH \rightarrow R\text{-}OH^- + Na_2SO_4$

Regenerasi dilakukan 4 kali dalam setahun

Volume resin yang diregenerasi = 86.298 L Resin

Densitas Resin = 1,06 kg/L

Massa Resin = Volume x Densitas

= 86.298 x 1,06

= 91.476 kg

Volume resin yang di regenerasi = 86.298 L Resin

Ekivalen Total $CO3^{2-}$ = Volume Resin x Kapasitas Resin

= 86.298 x 2

= 172.596 ek

Mol Total $CO3^{2-}$ $= \dfrac{\text{Ekivalen Total } CO3^{2-}}{\text{Ekivalen } CO3^{2-}}$

$= \dfrac{172.596 \text{ ek}}{2 \text{ ek/mol}}$

= 86.298,02 mol

1 mol $CO3^{2-}$ ditukar atau exchange dengan 2 mol NaOH

Maka kebutuhan NaOH = 2 x 86.298,02

(Dalam mol) = 172.596,05 mol

Kebutuhan NaOH = Mol NaOH x BM NaOH

(Dalam kg) = 172.596,05 x 40

= 6.903.842 gram

= 6.904 kg

Maka kebutuhan NaOH 40% $= \dfrac{\text{Massa NaOH}}{\text{Massa NaOH} + \text{Massa } H_2O}$

$40\% = \dfrac{6.904}{\text{Massa Total}}$

Massa Total = 17.260 kg

dengan ρ NaOH = 1,33 gr/ml

Jadi ρ campuran = % NaOH x ρ NaOH + % H_2O x ρ H_2O

= 40% x 1,33 + 60% x 1

= 1,13 gr/ml

= 1,13 kg/L

Volume Larutan $= \dfrac{\text{Massa Total}}{\text{Densitas Campuran}} = \dfrac{17.260 \text{ kg}}{1,13 \text{ kg/L}}$

= 15.263

Volume tangki NaOH = 1,2 x 15.263
= 18.316 L
= 18,32 m^3

Asumsi : H = 2 D

$$\text{Volume Tangki} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H$$

18,32 = 0,79 x D^2 x 2D

18,32 = 1,57 D^3

D = 2,3 m

H = 5 m

Spesifikasi Anion Exchanger	
Fungsi	Mengurangi kesadahan air dikarenakan garam-garam CO_3^{2-}. Kandungan $CaCO_3$ dari pengolahan air sekitar 5 grain/gallon (Kirk Othmer,Vol.11:887). Kandungan ini sedianya dihilangkan denganresin dowex bentuk granular, agar sesuai dengan syarat air boiler.
Bentuk	Silinder tegak
Kapasitas resin	86,2980 m^3/3bulan
Jumlah	1 Buah
Waktu regenerasi resin	3 Bulan
Dimensi resin	
Tinggi	7,60 m
Diameter	3,80 m
Dimensi tangki NaOH	
Tinggi	5 m
Diameter	2,3 m
Bahan konstruksi	Stainless Steel type 316

12. Penampung Air Demineralisasi (Air Umpan Boiler dan Air Proses)

Fungsi : Menampung air lunak dari kation-anion exchanger yang akan digunakan dijadikan sebagai air umpan boiler.

Bentuk : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.

Rate Volumetrik = 672,21 m^3/hari = 672.209 L/hari
= 28,01 m^3/jam

Waktu tinggal = 12 jam

Volume air dalam bak penampung :

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal

= 28,01 x 12 = 336,10 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

Volume bak $= \frac{336,10}{85\%} = 395,42$ m^3

Asumsi : Tinggi (H) = 1 L

Panjang (P) = 2 L

Volume bak penampung air = P x L x H

395,42 = 2 L x L x L

197,71 = L^3

L = 5,83 m

H = 5,83 m

P = 11,65 m

Menghitung Tinggi Air didalam Tangki

V liq = P x L x H

336,10 = 11,65 x 5,83 x H

H = 4,95 m

Spesifikasi Bak Penampung Air Demineralisasi	
Fungsi	Menampung air lunak dari kation-anion exchanger yang akan digunakan dijadikan sebagai air umpan boiler.
Bentuk	Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.
Waktu tinggal	12 jam
Kapasitas	395,42 m^3
Dimensi	
Panjang (P)	11,65 m
Lebar (L)	5,83 m
Tinggi (H)	5,83 m
Bahan Konstruksi	Beton
Jumlah	1 Buah

13. Bak Penampung Air Pendingin

Fungsi : Menampung air Pendingin

Bentuk : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.

Rate Volumetrik, (Q_7) = 2446,88 m3/hari

= 101,95 m^3/jam

Ditentukan : Waktu tinggal = 1 jam

Volume air dalam bak penampung :

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= 101,95 x 1
= 101,95 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

Volume bak $= \dfrac{101,95}{85\%}$
= 119,95 m^3

Asumsi : Tinggi (H) = 1 L
Panjang (P) = 2 L

Volume bak penampung air = P x L x H
119,95 = 2 L x L x L
59,97 = L^3
L = 3,91 m
H = 3,91 m
P = 7,83 m

Menghitung Tinggi Air didalam Tangki
V liq = P x L x H
101,95 = 7,83 x 3,91 x H
H = 3,33 m

Spesifikasi Bak Penampung Air Pendingin	
Fungsi	Menampung air pendingin
Kapasitas	119,95 m^3
Bentuk	Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.
Dimensi	
Panjang (P)	7,83 m
Lebar (L)	3,91 m
Tinggi (H)	3,91 m
Bahan Konstruksi	Beton
Jumlah	1 Buah

VII.3.2 Perhitungan Pompa

1. Pompa Air Sungai

Fungsi : Mangalirkan air dari sungai ke bak penampung air sungai
Type : Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

Perhitungan :

ρ Air = 62,43 lb/cuft = 1 g/ml = 1000 kg/m³

Bahan masuk = 158,11 m^3/jam x 1000 kg/m³
= 158.107,33 kg/jam
= 347.836,12 lb/jam

Rate Volumetrik (q_f) $= \dfrac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$

$= \dfrac{347.836,12 \text{ lb/jam}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$

= 5.571,62 cuft/jam
= 92,86 cuft/menit
= 694,64 gpm
= 1,55 cuft/detik

Sg Bahan $= \dfrac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}}$

$= \dfrac{62,43}{62,43} = 1$

μ berdasarkan sg bahan :
Dari *Kern Table 6 ; Page - 808* didapat sg reference = 1
Dari *Kern figure 14 ; Page 823* didapat μ reference 0,95 cp

μ bahan $= \dfrac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu \text{ reference}$

$= \dfrac{1}{1} \times 0,95$

= 0,95 Cp
= 0,00064 lb/ft.detik

Asumsi aliran turbulen :

D_i optimum untuk aliran turbulen, NRe > 2100 digunakan persamaan (15)
Peters:
Diameter optimum = $3.9 \times q_f^{0.45} \times \rho^{0.13}$ **[Peters, 4ed, pers.15 : 496]**

Dengan :

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $3{,}9 \times 1{,}55^{0{,}45} \times 62{,}43^{0{,}13}$

= 8,12 in

Dipilih pipa 8 in, sch 30 *(Geankoplis 3ed, App A.5-1, p. 892)*

OD = 8,63 in

ID = 7,98 in = 0,67 ft = 0,20 m

A = $(^1/_4 \times \pi \times ID^2)$

= $1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}67^2$

= 0,35 ft^2

Kecepatan Aliran (v) = $\frac{q_f}{A} = \frac{1{,}55}{0{,}35}$ = 4,4571 ft/detik

$$NRe = \frac{D\, v\, \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}67 \times 4{,}46 \times 62{,}43}{0{,}0006}$$

= 289.903,17 > 2100 *(Asumsi turbulen benar)*

(Geankoplis 3[ed] ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0002

f = 0,0040 **(Geankoplis 4ed ; Figure 2. 10 - 3)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

Perhitungan friksi berdasarkan **Peters, 4[ed] Tabel 1 halaman 484**

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

Panjang ekuivalen suction, Le **(Peters 4[ed] , Tabel - 1)**

ID pipa = 0,6651 ft

Taksiran panjang pipa lurus							=	50	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,67	=	64	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,67	=	4,66	ft
Panjang Total Pipa							=	118,50	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 4ed, Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0040 \times 4{,}46^2 \times 118{,}50}{32{,}17 \times 0{,}67}$$

$$= \frac{18{,}83}{21{,}40}$$

$$= 0{,}88 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 4ed, Pers. 2.10-16)**

k = 0,55 ; A tangki >>> A pipa

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen

$$= \frac{0{,}55 \times 4{,}46^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}17 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3. Friksi karena elbow 90°

kf = 0,75 karena turbulen **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$$F_4 = 3 \; \frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3 \; \frac{0{,}75 \times 19{,}87}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

$$= 22{,}3494 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{4^2}{2 \times 1 \times 32{,}174}$$

(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)

$$= 0{,}309 \quad ft.lb_f / lb_m$$

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 19{,}87}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

$$= 1{,}6886 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$= 0{,}8801 + 0{,}1698 + 22{,}3494 + 0{,}3087 + 1{,}6886$$

$$= 25{,}3967 \quad ft.lb_f / lb_m$$

1 atm = 1 x 2116 lbf/ft^2 = 2116,22 lbf/ft^2

ρ bahan = 62,43 lb/cuft = 1 gr/ml

Karena titik P diambil di atas permukaan air maka P2 = 1 atm

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 8,47 m = 28,23 ft

ρ bahan = 62,43 lb/cuft = 1 gr/ml

P hidrostatis = ρ x H

= 62,43 x 28,23

= 1.762,1 lb/ft^2

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

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2.116,2 - 1.762,1}{62,4300} = \frac{354,1064 \; lbf/ft^2}{62,4300 \; lb/cuft}$$

$$= 5,6721 \; \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = -1,5 m = -5 ft

Z_2 = 10,58 m = 35,2817 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

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

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

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

$$= (35,28 - -5) \times 1 \; \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 40,28 \; \frac{ft.lbf}{lbm}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{4,46^2}{2 \times 1 \times 32,17} = 0,3087 \; ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 5,67 + 40,28 + 0,3087 + 25,40$$

$$= 71,66 \; \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 96,62 lb/dt

$$Hp = \frac{-Wf \times rate\ massa}{550}$$

$$= \frac{71,66 \times 96,62}{550}$$

$$= 12,59\ Hp$$

(Perry 6 ed ; Pers 6-11, Page 6-5)

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4ed ; Figure 14-37 Page 520)**

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

$$= \frac{12,59}{40\%}$$

$$= 31,47\ Hp$$

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4ed ; Figure 14-38 Page 521)**

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

$$= \frac{31,47}{80\%}$$

$$= 39\ Hp$$

Spesifikasi Pompa Air Sungai :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari sungai ke bak penampung air sungai.
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	5571,62 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	4,46 ft/detik
Total Dynamic Head	:	71,66 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%
Power Motor	:	39 Hp
BHp	:	31 Hp
Jumlah	:	1 Buah

2. Pompa ke Tangki Koagulasi

Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung air sungai ke tangki koagulasi.
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

ρ Air = 62,43 lb/cuft = 1 g/ml = 1.000 kg/m³

Bahan masuk = 156,53 m^3/jam x 1000 kg/m³
= 156526,25 kg/jam
= 344357,76 lb/jam

Rate Volumetrik (q_f) $= \frac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$

$= \frac{344357,76 \text{ lb/jam}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$

= 5515,90 cuft/jam
= 91,93 cuft/menit
= 689,49 gpm
= 1,53 cuft/detik

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

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

= 1

μ berdasarkan sg bahan :
Dari ***Kern Table 6 ; Page - 808*** didapat sg reference = 1
Dari ***Kern figure 14 ; Page 823*** didapat μ reference = 0,95 cp

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

$= \frac{1}{1} \times 0,95$

= 0,95 Cp
= 0,00064 lb/ft.detik

Asumsi aliran turbulen :

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

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

Dengan :

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

Diameter pipa optimum, Di = $4 \times 1,53^{0,45} \times 62,43^{0,1}$
= 8,09 in

Dipilih pipa 10 in, sch 40 **(Brownell & Young, Page 389)**

OD = 10,75 in
ID = 10,02 in = 0,84 ft = 0,25 m

$A = (\frac{1}{4} \times \pi \times ID^2)$
$= 1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}84^2$
$= 0{,}55 \; ft^2$

Kecepatan Aliran (v) $= \dfrac{q_f}{A}$
$= \dfrac{1{,}53}{0{,}55}$
$= 2{,}80$ ft/detik

NRe $= \dfrac{D\,v\,\rho}{\mu}$
$= \dfrac{0{,}84 \times 2{,}80 \times 62{,}43}{0{,}0006}$
$= 228600{,}80 > 2100$ *(Asumsi turbulen benar)*

[Peters, 4ed, pers 12-15 hal 501]

Dipilih pipa commercial steel, $\varepsilon = 0{,}000046$ m
$\varepsilon/D = 0{,}0002$
$f = 0{,}0045$ **(Geankoplis 4ed. Fig. 2.10-3, hal 88)**
$gc = 32{,}1740$ ft.lbm/detik^2.lbf

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

Panjang ekuivalen suction, Le **(Peters 4ed , Tabel - 1)**
ID pipa = 0,84 ft

Taksiran panjang pipa lurus						=	20	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x 0,84	=	80,16	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x 0,84	=	5,85	ft
Panjang Total Pipa						=	106,01	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 4ed, Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0045 \times 3^{2} \times 106{,}01}{32{,}17 \times 0{,}84}$$

$$= \frac{7{,}48}{26{,}87}$$

$= 0{,}28$ $ft.lb_f / lb_m$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 4[ed], Pers. 2.10-16)**

k = 0,55 ; A tangki >>> A pipa

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen

$$= \frac{0{,}55 \times 2{,}7994^{2}}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$= 0{,}0670$ $ft.lb_f / lb_m$

3. Friksi karena elbow 90°

kf = 0,75 karena turbul‹ **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$$F_4 = 3\,\frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3\,\frac{0{,}75 \times 7{,}84}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

$= 8{,}8165$ $ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3^{2}}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)**

$= 0{,}1218$ $ft.lb_f / lb_m$

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 7{,}84}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

$= 0{,}6661$ $ft.lb_f / lb_m$

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

$= 0{,}28 + 0{,}07 + 8{,}82 + 0{,}12 + 0{,}67$

$= 9{,}95$ $ft.lb_f / lb_m$

1 atm = 14,7 x 144 lbf/ft^2 = 2116,80 lbf/ft^2

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 8,47 m = 27,78 ft

ρ bahan = 62,43 lb/cuft = 1 gr/ml

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

$= 62{,}43 \times 27{,}78 \times 1$

$= 1.734{,}36 \ \text{lbf/ft}^2$

$P_2 = 1 \text{ atm} = 2116{,}8 \ \text{lbf/ft}^2$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2116{,}80 - 1734{,}36}{62{,}43} = \frac{382{,}44 \ \text{lbf/ft}^2}{62{,}43 \ \text{lb/cuft}} = 6{,}13 \ \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Asumsi : $Z_1 = 0 \text{ m} = 0 \text{ ft}$

$Z_2 = 14{,}8892 \text{ m} = 48{,}8490 \text{ ft}$

$g/gc = 1 \ \text{lbf/lbm}$

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

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

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z2 - Z1) \times \frac{g}{gc}$$

$$= (48{,}85 - 0{,}00) \times 1 \ \frac{\text{ft/dt}^2}{\text{t.lbm/dt}^2\text{.lt}}$$

$$= 48{,}85 \ \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2{,}80^{\ 2}}{2 \times 1 \times 32{,}1740} = 0{,}1218 \ \text{ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 6{,}13 + 48{,}85 + 0{,}12 + 9{,}95$$

$$= 65{,}05 \ \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Rate massa = 95,65 lb/dt

$$Hp = \frac{- Wf \times \text{rate massa}}{550}$$

$$= \frac{65{,}05 \times 95{,}65}{550}$$

$$= 11{,}31 \ \text{Hp}$$

(Perry 6 ed ; Pers 6-11, Page 6-5)

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4ed ; Figure 124-37 Page 520)**

$$\text{Bhp} = \frac{\text{Hp}}{\eta\ \text{pompa}} = \frac{11{,}31}{40\%} = 28{,}28\ \text{Hp}$$

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4[ed] ; Figure 14-38 Page 521)**

$$\text{Power motor} = \frac{\text{Bhp}}{\eta\ \text{motor}} = \frac{28{,}28}{80\%} = 35{,}35\ \text{Hp}$$

Spesifikasi Pompa Tangki Koagulasi :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung air sungai ke tangki koagulasi.
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	5.515,90 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	2,80 ft/detik
Total Dynamic Head	:	65 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%
Power Motor	:	35 Hp
BHp	:	28 Hp
Jumlah	:	1 Buah

3. Pompa ke Tangki Flokulasi

Fungsi	:	Mengalirkan air ke tangki flokulasi
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

ρ Air = 62,43 lb/cuft = 1 g/ml = 1.000 kg/m³

Bahan masuk = 156,54 m^3/jam x 1000 kg/m³
= 156541,55 kg/jam
= 344391,40 lb/jam

Rate Volumetrik (q_f) $= \dfrac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$

$= \dfrac{344391{,}40 \text{ lb/jam}}{62{,}43 \text{ lb/cuft}}$

= 5516,44 cuft/jam

= 91,94 cuft/menit

= 689,56 gpm

= 1,53 cuft/detik

Sg Bahan $= \dfrac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}}$

$= \dfrac{62{,}43 \text{ lb/cuft}}{62{,}43 \text{ lb/cuft}}$

= 1

μ berdasarkan sg bahan :

Dari ***Kern Table 6 ; Page - 808*** didapat sg reference = 1

Dari ***Kern figure 14 ; Page 823*** didapat μ reference = 0,95 cp

μ bahan $= \dfrac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu \text{ reference}$

$= \dfrac{1}{1} \times 0{,}95$

= 0,95 Cp

= 0,00064 lb/ft.detik

Asumsi aliran turbulen :

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

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

Dengan :

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $4 \times 1{,}53^{0{,}45} \times 62{,}43^{0{,}1}$

= 8,09 in

Dipilih pipa 8 in, sch 40 **(Brownell & Young, Page 389)**

OD = 8,63 in

ID = 7,98 in = 0,67 ft = 0,20 m

A = $(^1/_4 \times \pi \times ID^2)$

= $1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}67^2$

= 0,35 ft^2

Kecepatan Aliran (v) $= \dfrac{q_f}{A}$

$= \dfrac{1,53}{0,35}$

$=$ 4,41 ft/detik

NRe $= \dfrac{D\ v\ \rho}{\mu}$

$= \dfrac{0,67 \quad x \quad 4,41 \quad x \quad 62,43}{0,0006}$

$=$ 287032,18 > 2100 *(Asumsi turbulen benar)*

[Peters, 4ed, pers 12-15 hal 501]

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0002

f = 0,0045 **(Geankoplis 4ed. Fig. 2.10-3, hal 88)**

gc = 32,1740 ft.lbm/detik^2.lbf

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,67 ft

Taksiran panjang pipa lurus							=	20	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,67	=	63,85	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,67	=	4,66	ft
Panjang Total Pipa							=	88,50	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$F_1 = \dfrac{2f\ x\ v^2\ x\ Le}{gc\ x\ D}$ **(Geankoplis 4ed, Pers. 2.10-6)**

$= \dfrac{2 \quad x \quad 0,0045 \quad x \quad 4^{\ 2} \quad x \quad 88,50}{32,17 \quad x \quad 0,67}$

$= \dfrac{15,51}{21,40}$

$=$ 0,72 ft.lb$_f$ / lb$_m$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 4[ed], Pers. 2.10-16)**

k = 0,55 ; A tangki >>> A pipa

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen

$$= \frac{0{,}55 \times 4{,}4130^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

= 0,1665 $ft.lb_f / lb_m$

3. Friksi karena elbow 90°

kf = 0,75 karena turbul **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$$F_4 = 3\ \frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3\ \frac{0{,}75 \times 19}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

= 21,9090 $ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{4^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)**

= 0,3026 $ft.lb_f / lb_m$

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 19}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

= 1,6553 $ft.lb_f / lb_m$

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

= 0,72 + 0,17 + 21,91 + 0,30 + 1,66

= 24,76 $ft.lb_f / lb_m$

1 atm = 14,7 x 144 lbf/ft^2 = 2116,80 lbf/ft^2

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 3,59 m = 11,96 ft

ρ bahan = 62,43 lb/cuft = 1 gr/ml

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 62,43 x 11,96 x 1

= 746,50 lbf/ft^2

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

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2116{,}80 - 746{,}50}{62{,}43} = \frac{1370{,}30\ lbf/ft^2}{62{,}43\ lb/cuft}$$

$$= 21{,}95\ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 0 m = 0 ft
Z_2 = 5 m = 16,67 ft
g/gc = 1 lbf/lbm
g, percepatan gravitasi bumi = 32 ft/dt^2
gc, konstanta gravitasi bumi = 32,17 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z2 - Z1) \times \frac{g}{gc}$$

$$= (16{,}67 - 0{,}00) \times 1 \frac{ft/dt^2}{t.lbm/dt^2.lt}$$

$$= 16{,}67 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{4{,}41^2}{2 \times 1 \times 32{,}1740} = 0{,}3026 \ ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 21{,}95 + 16{,}67 + 0{,}30 + 24{,}76$$

$$= 63{,}68 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 95,66 lb/dt

$$Hp = \frac{- Wf \times rate\ massa}{550}$$

$$= \frac{63{,}68 \times 95{,}66}{550}$$

$$= 11{,}08 \ Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4^ed ; Figure 124-37 Page 520)**

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

$$= \frac{11{,}08}{40\%}$$

$$= 27{,}69 \ Hp$$

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4^ed ; Figure 14-38 Page 521)**

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

$$= \frac{27{,}69}{80\%}$$

= 34,61 Hp

Spesifikasi Pompa Tangki flokulasi :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari tangki koagulasi ke tangki flokulasi
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	5.516,44 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	4,41 ft/detik
Total Dynamic Head	:	64 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%
Power Motor	:	35 Hp
BHp	:	28 Hp
Jumlah	:	1 Buah

4. Pompa ke Sand Filter

Fungsi	:	Mengalirkan air dari Bak Penampung Air setengah bersih ke Sand Filter
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

ρ Air = 62,43 lb/cuft = 1 g/ml = 1.000 kg/m³

Bahan masuk = 140,89 m^3/jam x 1000 kg/m³
= 140889,59 kg/jam
= 309957,10 lb/jam

Rate Volumetrik (q_f) $= \frac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$

$$= \frac{309957{,}10 \text{ lb/jam}}{62{,}43 \text{ lb/cuft}}$$

= 4964,87 cuft/jam
= 82,75 cuft/menit
= 620,61 gpm
= 1,38 cuft/detik

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

μ berdasarkan sg bahan :
Dari **Kern Table 6 ; Page - 808** didapat sg reference = 1
Dari **Kern figure 14 ; Page 823** didapat μ reference = 0,95 cp

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

$$= \frac{1}{1} \times 0{,}95$$

$$= 0{,}95 \text{ Cp}$$

$$= 0{,}00064 \text{ lb/ft.detik}$$

Asumsi aliran turbulen :

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

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

Dengan :

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $4 \times 1{,}38^{0{,}45} \times 62{,}43^{0{,}13}$

= 7,71 in

Dipilih pipa 8 in, sch 30 **(Brownell & Young, Page 389)**

OD = 8,63 in

ID = 7,98 in = 0,67 ft = 0,20 m

A = $(^1/_4 \times \pi \times ID^2)$

= $1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}67^2$

= 0,35 ft^2

$$\text{Kecepatan Aliran (v)} = \frac{q_f}{A} = \frac{1{,}38}{0{,}35}$$

= 3,97 ft/detik

$$NRe = \frac{D\, v\, \rho}{\mu} = \frac{0{,}67 \times 3{,}97 \times 62{,}43}{0{,}0006}$$

= 258.332,99 > 2100 *(Asumsi turbulen benar)*

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0002

f = 0,0045 **(Geankoplis 4ed. Fig. 2.10-3, hal 88)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90°	32
Gate valve open	7

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,67 ft

		Taksiran panjang pipa lurus					=	20	ft
3 Elbow 90°	=	3	x	32	x	0,67	=	63,85	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,67	=	4,66	ft
Panjang Total Pipa							=	88,50	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0045 \times 3{,}97^2 \times 88{,}50}{32{,}17 \times 0{,}67}$$

$$= \frac{12{,}57}{21{,}40}$$

$$= 0{,}59 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3^ed, Pers. 2.10-16)**

k = 0,55 ; A tangki >>> A pipa

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen

$$= \frac{0{,}55 \times 3{,}97^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}13 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3. Friksi karena elbow 90°

kf = 0,75 karena turbulen **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$$F_3 = 3\ \frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3\ \frac{0{,}75 \times 16}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

$$= 17{,}75 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_4 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3{,}97^{\ 2}}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)**

$= 0{,}25$ ft.lb_f / lb_m

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$$F_5 = \frac{K_f \times V_1^{\ 2}}{2} = \frac{0{,}17 \times 16}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

$= 1{,}34$ ft.lb_f / lb_m

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

$= 0{,}59 + 0{,}13 + 17{,}75 + 0{,}25 + 1{,}34$

$= 20{,}05$ ft.lb_f / lb_m

1 atm = 14,7 x 144 lbf/ft^2 = 2116,80 lbf/ft^2

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 3,71 m = 12,35 ft

ρ bahan = 62,43 lb/cuft = 1 gr/ml

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 62,43 x 12,35 x 1

= 771,20 lbf/ft^2

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

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2.116{,}8 - 771{,}2}{62{,}43} = \frac{1345{,}60}{62{,}43}\ \frac{lbf/ft^2}{lb/cuft}$$

$$= 21{,}55\ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 0 m = 0 ft

Z_2 = 8,48 m = 27,82 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

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

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

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

$$= (27{,}82 - 0) : 1\ \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 27{,}82\ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3{,}97^{\;2}}{2 \times 1 \times 32{,}17} = 0{,}25 \quad ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 21{,}55 + 27{,}82 + 0{,}25 + 20{,}05$$

$$= 69{,}68 \quad \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 86,10 lb/dt

$$Hp = \frac{- Wf \times rate\ massa}{550}$$

$$= \frac{69{,}68 \times 86{,}10}{550}$$

$$= 10{,}91 \quad Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4ed ; Figure 14-37 Page 520)**

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

$$= \frac{10{,}91}{40\%}$$

$$= 27{,}27 \quad Hp$$

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4ed ; Figure 14-38 Page 521)**

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

$$= \frac{27{,}27}{80\%}$$

$$= 34 \quad Hp$$

Spesifikasi Pompa ke Sand Filter :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari Bak Penampung Air setengah bersih ke Sand Filter
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	4.964,87 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	4 ft/detik
Total Dynamic Head	:	70 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%

Power Motor	:	34 Hp
BHp	:	27 Hp
Jumlah	:	1 Buah

5. Pompa Bak Penampung Air Sanitasi

Fungsi	:	Mengalirkan air dari Bak Penampung Air Bersih ke Bak Air Sanitasi
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1 g/ml = 1.000 kg/m³

Bahan masuk = 1,7940 m^3/jam x 1000 kg/m³
= 1.794,00 kg/jam
= 3.946,80 lb/jam

Rate Volumetrik (q_f) $= \dfrac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$

$= \dfrac{3.946,80 \text{ lb/jam}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$

= 63,22 cuft/jam
= 1,05 cuft/menit
= 7,90 gpm
= 0,0176 cuft/detik

Sg Bahan $= \dfrac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} = \dfrac{62,430 \text{ lb/cuft}}{62,43 \text{ lb/cuft}} = 1$

μ berdasarkan sg bahan :
Dari **Kern Table 6 ; Page - 808** didapat sg referer 1
Dari **Kern figure 14 ; Page 823** didapat μ refere 0,95 cp

μ bahan $= \dfrac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}}$ x μ reference

$= \dfrac{1}{1}$ x 0,95

= 0,95 Cp
= 0,00064 lb/ft.detik

Asumsi aliran turbulen :

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

Dengan :

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $4 \times 0{,}018^{0{,}45} \times 62{,}43^{0{,}13}$

= 1,08 in

Dipilih pipa 1 in, sch 40 **(Brownell & Young, Page 389)**

OD = 1,32 in

ID = 1,10 in = 0,09 ft = 0,03 m

A = $(^1/_4 \times \pi \times ID^2)$

= $1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}092^2$

= 0,0066 ft^2

Kecepatan Aliran (v) = $\frac{q_f}{A}$

= $\frac{0{,}0176}{0{,}0066}$

= 2,66 ft/detik

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

= $\frac{0{,}09 \times 2{,}66 \times 62{,}43}{0{,}0006}$

= 23866,46 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0016

f = 0,0080 **(Geankoplis 4ed. Fig. 2.10-3, hal 88)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90°	32
Gate valve open	7

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,09 ft

				Taksiran panjang pipa lurus		=	25	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x 0,09	=	8,80	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x 0,09	=	0,64	ft
Panjang Total Pipa						=	34,44	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0080 \times 2{,}66^2 \times 34{,}44}{32{,}17 \times 0{,}09}$$

$$= \frac{3{,}91}{2{,}95}$$

$$= 1{,}32 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-16)**

k = 0,55 ; A tangki >>> A pip **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

α = 1,0 ; untuk aliran turbule **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

$$= \frac{0{,}55 \times 2{,}66^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}0606 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3. Friksi karena elbow 90^o

kf = 0,75 karena turbulen **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$$F_3 = 3\,\frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3\,\frac{0{,}75 \times 7{,}09}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

$$= 7{,}97 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_4 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2{,}66^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)**

$$= 0{,}11 \quad ft.lb_f / lb_m$$

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$$F_5 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 7{,}09}{2}$$ **(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)**

$$= 0{,}60 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$= 1,32 + 0,06 + 7,97 + 0,11 + 0,60$

$= 10,07$ ft.lb_f / lb_m

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

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 3,69 m = 12,12 ft

ρ bahan = 62,43 lb/cuft = 1 gr/ml

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 62,43 x 12,12 x 1

= 756,52 lbf/ft^2

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

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2.116,8 - 756,52}{62,43} = \frac{1360,28\ lbf/ft^2}{62,43\ lb/cuft}$$

$$= 21,79\ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 0 m = 0 ft

Z_2 = 8,04 m = 26,37 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

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

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

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z2 - Z1) \times \frac{g}{gc}$$

$$= (26,37 - 0) \times 1\ \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 26,37\ \frac{ft.lbf}{lbm\ s}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2,66^2}{2 \times 1 \times 32,17} = 0,11\ ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 21,79 + 26,37 + 0,11 + 10,07$$

$$= 58,34\ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 1,10 lb/dt

$$Hp = \frac{- Wf \times \text{rate massa}}{550}$$

$$= \frac{58{,}34 \times 1{,}10}{550}$$

$$= 0{,}12 \text{ Hp}$$

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4^ed ; Figure 14-37 Page 520)**

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

$$= \frac{0{,}12}{40\%}$$

$$= 0{,}29 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4^ed ; Figure 14-38 Page 521)**

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

$$= \frac{0{,}29}{80\%}$$

$$= 0{,}36 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Bak Penampung Air Sanitasi :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari Bak Penampung Air bersih ke Ba Air Sanitasi
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	63,22 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	2,66 ft/detik
Total Dynamic Head	:	58 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%
Power Motor	:	0,36 Hp
BHp	:	0,29 Hp
Jumlah	:	1 Buah

6. Pompa air ke kation exchanger

Fungsi	:	Mengalirkan bahan dari bak penampung air bersih ke kation exchanger
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1 g/ml = 1.000 kg/m³

Bahan masuk = 28,0087 m^3/jam x 1000 kg/m³
= 28.008,70 kg/jam
= 61.619,13 lb/jam

Rate Volumetrik (q_f) $= \dfrac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$

$= \dfrac{61.619,13 \text{ lb/jam}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$

= 987,01 cuft/jam
= 16,45 cuft/menit
= 123,38 gpm
= 0,27 cuft/detik

Sg Bahan $= \dfrac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} = \dfrac{62,43 \text{ lb/cuft}}{62,43 \text{ lb/cuft}} = 1$

μ berdasarkan sg bahan :
Dari **Kern Table 6 ; Page - 808** didapat sg referei 1
Dari **Kern figure 14 ; Page 823** didapat μ refere 0,95 cp

μ bahan $= \dfrac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu \text{ reference}$

$= \dfrac{1}{1} \times 0,95$

= 0,95 Cp
= 0,00064 lb/ft.detik

Asumsi aliran turbulen :

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

Dengan :

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

Diameter pipa optimum, Di = $4 \times 0,274^{0,45} \times 62,43^{0,13}$
= 3,73 in

Dipilih pipa 4 in, sch 40 **(Brownell & Young, Page 389)**
OD = 4,50 in
ID = 4,03 in = 0,34 ft = 0,10 m

A = $(\frac{1}{4} \times \pi \times ID^2)$
= $1/4 \times 3,14 \times 0,336^2$
= 0,0885 ft^2

Kecepatan Aliran (v) $= \dfrac{q_f}{A}$

$= \dfrac{0,2742}{0,0885}$

$=$ 3,10 ft/detik

NRe $= \dfrac{D\ v\ \rho}{\mu}$

$= \dfrac{0,34 \times 3,10 \times 62,43}{0,0006}$

$=$ 101705,90 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0004

f = 0,0080 **(Geankoplis 4ed. Fig. 2.10-3, hal 88)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,34 ft

				Taksiran panjang pipa lu			=	25	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,34	=	32,24	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,34	=	2,35	ft
Panjang Total Pipa							=	59,59	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$F_1 = \dfrac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-6)**

$= \dfrac{2 \times 0,0080 \times 3,10^2 \times 59,59}{32,17 \times 0,34}$

$= \dfrac{9,14}{10,81}$

= 0,85 $ft.lb_f / lb_m$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-16)**

k = 0,55 ; A tangki >>> A pip **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

α = 1,0 ; untuk aliran turbule **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

$$= \frac{0,55 \times 3,10^2}{2 \times 1,0 \times 32,17}$$

= 0,08 $ft.lb_f / lb_m$

3. Friksi karena elbow 90°

kf = 0,75 karena turbulen **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$$F_3 = 3 \frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3 \frac{0,75 \times 9,59}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

= 10,79 $ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_4 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3,10^2}{2 \times 1 \times 32,17}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)**

= 0,15 $ft.lb_f / lb_m$

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$$F_5 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0,17 \times 9,59}{2}$$ **(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)**

= 0,82 $ft.lb_f / lb_m$

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

= 0,85 + 0,08 + 10,79 + 0,15 + 0,82

= 12,68 $ft.lb_f / lb_m$

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

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 3,69 m = 12,31 ft

ρ bahan = 62,43 lb/cuft = 1 gr/ml

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 62,43 x 12,31 x 1

= 768,62 lbf/ft^2

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

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2.116,8 - 768,62}{62,43} = \frac{1348,18}{62,43} \frac{lbf/ft^2}{lb/cuft}$$

$$= 21,60 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 0 m = 0 ft
Z_2 = 3,69 m = 12,12 ft
g/gc = 1 lbf/lbm
g, percepatan gravitasi bumi = 32 ft/dt^2
gc, konstanta gravitasi bumi = 32,17 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z2 - Z1) \times \frac{g}{gc}$$

$$= (12,12 - 0) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 12,12 \frac{ft.lbf}{lbm\ \ s}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3,10^2}{2 \times 1 \times 32,17} = 0,15 \ ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 21,60 + 12,12 + 0,15 + 12,68$$

$$= 46,54 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 17,12 lb/dt

$$Hp = \frac{- Wf \times rate\ massa}{550}$$

$$= \frac{46,54 \times 17,12}{550}$$

$$= 1,45 \ Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4ed ; Figure 14-37 Page 520)**

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

$$= \frac{1,45}{40\%}$$

= 3,62 Hp

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4ed ; Figure 14-38 Page 521)**

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

$$= \frac{3,62}{80\%}$$

= 4,53 Hp

Spesifikasi Pompa Bak Penampung Air Sanitasi :

Fungsi	:	Mengalirkan bahan dari bak penampung air bersih ke kation exchanger
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	987,01 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	3,10 ft/detik
Total Dynamic Head	:	46,54 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%
Power Motor	:	4,53 Hp
BHp	:	3,62 Hp
Jumlah	:	1 Buah

7. Pompa air ke Anion Exchanger

Fungsi	:	Mengalirkan bahan dari kation exchanger ke anion exchanger
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1 g/ml = 1.000 kg/m³

Bahan masuk = 28,0087 m³/jam x 1000 kg/m³
= 28.008,70 kg/jam
= 61.619,13 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik } (q_f) = \frac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$$

$$= \frac{61.619,13 \text{ lb/jam}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$$

= 987,01 cuft/jam
= 16,45 cuft/menit
= 123,38 gpm

= 0,27 cuft/detik

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

μ berdasarkan sg bahan :

Dari **Kern Table 6 ; Page - 808** didapat sg referei 1

Dari **Kern figure 14 ; Page 823** didapat μ refere 0,95 cp

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

$$= \frac{1}{1} \times 0{,}95$$

= 0,95 Cp

= 0,00064 lb/ft.detik

Asumsi aliran turbulen :

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

Dengan :

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $4 \times 0{,}274^{0,45} \times 62{,}43^{0,13}$

= 3,73 in

Dipilih pipa 4 in, sch 40 **(Brownell & Young, Page 389)**

OD = 4,50 in

ID = 4,03 in = 0,34 ft = 0,10 m

A = $(^1/_4 \times \pi \times ID^2)$

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

= 0,0885 ft^2

$$\text{Kecepatan Aliran (v)} = \frac{q_f}{A}$$

$$= \frac{0{,}2742}{0{,}0885}$$

= 3,10 ft/detik

$$NRe = \frac{D\, v\, \rho}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}34 \times 3{,}10 \times 62{,}43}{0{,}0006}$$

= 101705,90 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0004

f = 0,0080 **(Geankoplis 4ed. Fig. 2.10-3, hal 88)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,34 ft

				Taksiran panjang pipa lu			=	25	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,34	=	32,24	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,34	=	2,35	ft
Panjang Total Pipa							=	59,59	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0080 \times 3{,}10^2 \times 59{,}59}{32{,}17 \times 0{,}34}$$

$$= \frac{9{,}14}{10{,}81}$$

= 0,85 ft.lb$_f$ / lb$_m$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3^{ed}, Pers. 2.10-16)**

k = 0,55 ; A tangki >>> A pip **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

α = 1,0 ; untuk aliran turbule **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

$$= \frac{0{,}55 \times 3{,}10^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}17}$$

= 0,08 ft.lb$_f$ / lb$_m$

3. Friksi karena elbow 90°

kf = 0,75 karena turbulen **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$$F_3 = 3\frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3\frac{0,75 \times 9,59}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

= 10,79 $ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_4 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3,10^2}{2 \times 1 \times 32,17}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)**

= 0,15 $ft.lb_f / lb_m$

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$$F_5 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0,17 \times 9,59}{2}$$ **(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)**

= 0,82 $ft.lb_f / lb_m$

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

= 0,85 + 0,08 + 10,79 + 0,15 + 0,82

= 12,68 $ft.lb_f / lb_m$

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

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H	=	0,00 m	=	0,00 ft
ρ bahan	=	62,43 lb/cuft	=	1 gr/ml
P hidrostatis	=	ρ x H x g/gc		
	=	62,43 x 0,00 x 1		
	=	0,00 lbf/ft^2		

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

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2.116,8 - 0,00}{62,43} = \frac{2116,80\ lbf/ft^2}{62,43\ lb/cuft}$$

$$= 33,91\ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 0 m = 0 ft

Z_2 = 9,87 m = 32,91 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

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

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

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z2 - Z1) \times \frac{g}{gc}$$

$$= (32{,}91 - 0) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 32{,}91 \frac{ft.lbf}{lbm \quad s}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3{,}10^{\ 2}}{2 \times 1 \times 32{,}17} = 0{,}15 \quad ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 33{,}91 + 32{,}91 + 0{,}15 + 12{,}68$$

$$= 79{,}64 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 17,12 lb/dt

$$Hp = \frac{-Wf \times \text{rate massa}}{550}$$

$$= \frac{79{,}64 \times 17{,}12}{550}$$

$$= 2{,}48 \quad Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4^{ed} ; Figure 14-37 Page 520)**

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

$$= \frac{2{,}48}{40\%}$$

$$= 6{,}20 \quad Hp$$

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4^{ed} ; Figure 14-38 Page 521)**

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

$$= \frac{6{,}20}{80\%}$$

$$= 7{,}75 \quad Hp$$

Spesifikasi Pompa Bak Penampung Air Sanitasi :

Fungsi	:	Mengalirkan bahan dari kation exchanger ke anion exchanger
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	987,01 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	3,10 ft/detik
Total Dynamic Head	:	79,64 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%
Power Motor	:	7,75 Hp
BHp	:	6,20 Hp
Jumlah	:	1 Buah

8. Pompa air umpan Boiler

Fungsi	:	Mengalirkan bahan dari bak air demineralisasi ke boiler
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1 g/ml = 1.000 kg/m³

Bahan masuk = 1,4986 m^3/jam x 1000 kg/m³
= 1.498,65 kg/jam
= 3.297,02 lb/jam

$$\text{Rate Volumetrik } (q_f) = \frac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}} = \frac{3.297,02 \text{ lb/jam}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$$

= 52,81 cuft/jam
= 0,88 cuft/menit
= 6,60 gpm
= 0,01 cuft/detik

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

μ berdasarkan sg bahan :
Dari **Kern Table 6 ; Page - 808** didapat sg reference = 1
Dari **Kern figure 14 ; Page 823** didapat μ reference = 0,95 cp

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

$$= \frac{1}{1} \times 0{,}95$$

= 0,95 Cp

= 0,00064 lb/ft.detik

Asumsi aliran turbulen :

D_i optimum untuk aliran turbulen, NRe > 2100 digunakan persamaan (15) Peter

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

Dengan :

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $4 \times 0{,}015^{0,45} \times 62{,}43^{0,13}$

= 1,00 in

Dipilih pipa 3/4 in, sch 40 **(Brownell & Young, Page 389)**

OD = 0,80 in

ID = 0,60 in = 0,05 ft = 0,02 m

A = $(^1/_4 \times \pi \times ID^2)$

= $1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}050^2$

= 0,0020 ft^2

Kecepatan Aliran (v) = $\frac{q_f}{A}$

$$= \frac{0{,}0147}{0{,}0020}$$

= 7,48 ft/detik

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

$$= \frac{0{,}05 \times 7{,}48 \times 62{,}43}{0{,}0006}$$

= 36551,56 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0030

f = 0,0080 **(Geankoplis 4ed. Fig. 2.10-3, hal 88)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90°	32
Gate valve open	7

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

Panjang ekuivalen suction, Le **(Peters 4ed , Tabel - 1)**
ID pipa = 0,05 ft

Taksiran panjang pipa lu							=	25	ft
3 Elbow 90°	=	3	x	32	x	0,05	=	4,80	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,05	=	0,35	ft
Panjang Total Pipa							=	30,15	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0080 \times 7{,}48^2 \times 30{,}15}{32{,}17 \times 0{,}05}$$

$$= \frac{26{,}95}{1{,}61}$$

$$= 16{,}7558 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-16)**

k = 0,55 ; A tangki >>> A pip **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**
α = 1,0 ; untuk aliran turbule **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

$$= \frac{0{,}55 \times 7{,}48^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}4776 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3. Friksi karena elbow 90°

kf = 0,75 karena turbulen **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$$F_3 = 3 \frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3 \frac{0{,}75 \times 55{,}88}{2}$$

$$= 62{,}86 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_4 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{7{,}48^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)**

$$= 0{,}8684 \quad ft.lb_f / lb_m$$

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$$F_5 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 55{,}88}{2}$$ **(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)**

$= 4{,}750$ ft.lb$_f$ / lb$_m$

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

$= 16{,}7558 + 0{,}4776 + 62{,}8615 + 0{,}8684 + 4{,}7495$

$= 85{,}71$ ft.lb$_f$ / lb$_m$

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

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H	=	8,00	m =	26,67	ft
ρ bahan	=	62,43	lb/cuft =	1	gr/ml
P hidrostatis	=	ρ x H x g/gc			
	=	62,43 x 26,67 x 1			
	=	1664,80	lbf/ft^2		

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

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2.116{,}8 - 1.664{,}80}{62{,}43} = \frac{452{,}00 \text{ lbf/ft}^2}{62{,}43 \text{ lb/cuft}}$$

$$= 7{,}24 \ \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Asumsi	:	Z_1	=	0	m =	0	ft
		Z_2	=	11,00	m =	36,67	ft
		g/gc	=	1	lbf/lbm		

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

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

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z2 - Z1) \times \frac{g}{gc}$$

$$= (36{,}67 - 0) \times 1 \ \frac{\text{ft/dt}^2}{\text{ft.lbm/dt}^2\text{.lbf}}$$

$$= 36{,}67 \ \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}} \text{ s}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{7{,}48^2}{2 \times 1 \times 32{,}17} = 0{,}8684 \text{ ft.lb}_f \text{ / lb}_m$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 7{,}24 + 36{,}67 + 0{,}8684 + 85{,}71$$

$$= 130{,}49 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 0,92 lb/dt

$$Hp = \frac{-Wf \times \text{rate massa}}{550}$$

$$= \frac{130{,}49 \times 0{,}92}{550}$$

$$= 0{,}22 \ Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4ed ; Figure 14-37 Page 520)**

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

$$= \frac{0{,}22}{40\%}$$

$$= 0{,}54 \ Hp$$

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4ed ; Figure 14-38 Page 521)**

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

$$= \frac{0{,}54}{80\%}$$

$$= 1 \ Hp$$

Spesifikasi Pompa Air Umpan Boiiler :

Fungsi	:	Mengalirkan bahan dari bak air demineralisasi ke boil
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	52,81 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	7,48 ft/detik
Total Dynamic Head	:	130 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%
Power Motor	:	1 Hp
BHp	:	0,54 Hp
Jumlah	:	1 Buah

9. Pompa air proses

Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak air demineralisasi ke peralatan proses
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1 g/ml = 1.000 kg/m³

Bahan masuk = 26,5101 m^3/jam x 1000 kg/m³
= 26.510,05 kg/jam
= 58.322,11 lb/jam

Rate Volumetrik (q_f) $= \frac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$

$= \frac{58.322,11 \text{ lb/jam}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$

= 934,20 cuft/jam
= 15,57 cuft/menit
= 116,78 gpm
= 0,26 cuft/detik

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

μ berdasarkan sg bahan :
Dari **Kern Table 6 ; Page - 808** didapat sg reference = 1
Dari **Kern figure 14 ; Page 823** didapat μ reference = 0,95 cp

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

$= \frac{1}{1} \times 0,95$

= 0,95 Cp
= 0,00064 lb/ft.detik

Asumsi aliran turbulen :

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

Dengan :

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

Diameter pipa optimum, Di = $4 \times 0,260^{0,45} \times 62,43^{0,13}$
= 3,64 in

Dipilih pipa 4 in, sch 40 **(Brownell & Young, Page 389)**

OD = 4,50 in

ID = 4,03 in = 0,34 ft = 0,10 m

$A = (\frac{1}{4} \times \pi \times ID^2)$

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

$= 0,0885 \text{ ft}^2$

Kecepatan Aliran (v) $= \dfrac{q_f}{A}$

$= \dfrac{0,2595}{0,0885}$

$= 2,93$ ft/detik

$NRe = \dfrac{D\, v\, \rho}{\mu}$

$= \dfrac{0,34 \times 2,93 \times 62,43}{0,0006}$

$= 96263,98 > 2100$ **(Asumsi turbulen benar)**

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0004

f = 0,0080 **(Geankoplis 4ed. Fig. 2.10-3, hal 88)**

gc = 32,17 $\text{ft.lbm/detik}^2\text{.lbf}$

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90°	32
Gate valve open	7

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,34 ft

Taksiran panjang pipa lu							=	25	ft
3 Elbow 90°	=	3	x	32	x	0,34	=	32,24	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,34	=	2,35	ft
Panjang Total Pipa							=	59,59	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0080 \times 2{,}93^2 \times 59{,}59}{32{,}17 \times 0{,}34}$$

$$= \frac{8{,}19}{10{,}81}$$

$$= 0{,}7581 \quad ft.lb_f / lb_m$$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-16)**

k = 0,55 ; A tangki >>> A pip **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

α = 1,0 ; untuk aliran turbule **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

$$= \frac{0{,}55 \times 2{,}93^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}0734 \quad ft.lb_f / lb_m$$

3. Friksi karena elbow 90°

kf = 0,75 karena turbulen **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$$F_3 = 3 \frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3 \frac{0{,}75 \times 8{,}59}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

$$= 9{,}66 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_4 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2{,}93^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)**

$$= 0{,}1335 \quad ft.lb_f / lb_m$$

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$$F_5 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 8{,}59}{2}$$ **(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)**

$$= 0{,}730 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$= 0{,}7581 + 0{,}0734 + 9{,}6648 + 0{,}1335 + 0{,}7302$$

$$= 11{,}36 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 4,95 m = 16,51 ft

ρ bahan = 62,43 lb/cuft = 1 gr/ml

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 62,43 x 16,51 x 1

= 1030,46 lbf/ft^2

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

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2.116,8 - 1.030,46}{62,43} = \frac{1086,34}{62,43}\ \frac{lbf/ft^2}{lb/cuft} = 17,40\ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 0 m = 0 ft

Z_2 = 11,00 m = 36,67 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

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

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

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z2 - Z1) \times \frac{g}{gc}$$

$$= (36,67 - 0) \times 1\ \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 36,67\ \frac{ft.lbf}{lbm}\ s$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2,93^2}{2 \times 1 \times 32,17} = 0,1335\ ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 17,40 + 36,67 + 0,1335 + 11,36$$

$$= 65,56\ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 16,20 lb/dt

$$Hp = \frac{-\,Wf \times \text{rate massa}}{550}$$

$$= \frac{65{,}56 \times 16{,}20}{550}$$

$$= 1{,}93 \text{ Hp}$$

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4[ed] ; Figure 14-37 Page 520)**

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

$$= \frac{1{,}93}{40\%}$$

$$= 4{,}83 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4[ed] ; Figure 14-38 Page 521)**

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

$$= \frac{4{,}83}{80\%}$$

$$= 6{,}03 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Air Proses :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak air demineralisasi ke peralatan proses
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	934,20 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	2,93 ft/detik
Total Dynamic Head	:	65,56 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%
Power Motor	:	6,03 Hp
BHp	:	4,83 Hp
Jumlah	:	1 Buah

10. Pompa air ke bak penampung air pendingin

Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak air bersih ke bak air pendingin
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1 g/ml = 1.000 kg/m³

Bahan masuk = 101,9534 m^3/jam x 1000 kg/m³
= 101.953,41 kg/jam
= 224.297,50 lb/jam

Rate Volumetrik (q_f) $= \dfrac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$

$= \dfrac{224.297,50 \text{ lb/jam}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$

= 3.592,78 cuft/jam
= 59,88 cuft/menit
= 449,10 gpm
= 1,00 cuft/detik

Sg Bahan $= \dfrac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} = \dfrac{62,43 \text{ lb/cuft}}{62,43 \text{ lb/cuft}} = 1$

μ berdasarkan sg bahan :
Dari **Kern Table 6 ; Page - 808** didapat sg reference = 1
Dari **Kern figure 14 ; Page 823** didapat μ reference = 0,95 cp

μ bahan $= \dfrac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu \text{ reference}$

$= \dfrac{1}{1} \times 0,95$

= 0,95 Cp
= 0,00064 lb/ft.detik

Asumsi aliran turbulen :

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

Dengan :

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

Diameter pipa optimum, Di = $4 \times 0,998^{0,45} \times 62,43^{0,13}$
= 6,67 in

Dipilih pipa 8 in, sch 40 **(Brownell & Young, Page 389)**
OD = 8,63 in
ID = 7,98 in = 0,67 ft = 0,20 m

A = $(\frac{1}{4} \times \pi \times ID^2)$ = $1/4 \times 3,14 \times 0,665^2$ = 0,3472 ft^2

Kecepatan Aliran (v) $= \dfrac{q_f}{A}$

$= \dfrac{0,9980}{0,3472}$

= 2,87 ft/detik

$NRe = \dfrac{D\ v\ \rho}{\mu}$

$= \dfrac{0,67 \times 2,87 \times 62,43}{0,0006}$

= 186940,21 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0002

f = 0,0080 **(Geankoplis 4ed. Fig. 2.10-3, hal 88)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

Perhitungan friksi berdasarkan **Peters, 4[ed] Tabel 1 halaman 484**

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90°	32
Gate valve open	7

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

Panjang ekuivalen suction, Le **(Peters 4[ed] , Tabel - 1)**

ID pipa = 0,67 ft

				Taksiran panjang pipa lu		=	25	ft
3 Elbow 90°	=	3	x	32	x	0,67	=	63,85	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,67	=	4,66	ft
Panjang Total Pipa							=	93,50	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$F_1 = \dfrac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-6)**

$= \dfrac{2 \times 0,0080 \times 2,87^2 \times 93,50}{32,17 \times 0,67}$

$= \dfrac{12,36}{21,40} = 0,5775\ ft.lb_f / lb_m$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$ **(Geankoplis 3[ed], Pers. 2.10-16)**

k = 0,55 ; A tangki >>> A pip **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

α = 1,0 ; untuk aliran turbule **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

$= \frac{0,55 \times 2,87^2}{2 \times 1,0 \times 32,17}$

$= 0,0706 \ ft.lb_f / lb_m$

3. Friksi karena elbow 90°

kf = 0,75 karena turbulen **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$F_3 = 3 \frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3 \frac{0,75 \times 8,26}{2}$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

$= 9,29 \ ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$F_4 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3^2}{2 \times 1 \times 32,17}$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)**

$= 0,1284 \ ft.lb_f / lb_m$

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$F_5 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0,17 \times 8}{2}$ **(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)**

$= 0,702 \ ft.lb_f / lb_m$

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

$= 1 + 0,0706 + 9 + 0,1284 + 0,7022$

$= 10,77 \ ft.lb_f / lb_m$

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

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 3,69 m = 12,31 ft

ρ bahan = 62,43 lb/cuft = 1 gr/ml

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 62,43 x 12,31 x 1

= 768,62 lbf/ft^2

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

$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2.116,8 - 768,62}{62,43} = \frac{1348,18 \ lbf/ft^2}{62,43 \ lb/cuft}$

$= 21,60 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$

Asumsi : Z_1 = 0 m = 0 ft
Z_2 = 5,00 m = 16,67 ft
g/gc = 1 lbf/lbm
g, percepatan gravitasi bumi = 32 ft/dt^2
gc, konstanta gravitasi bumi = 32,17 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z2 - Z1) \times \frac{g}{gc}$$
$$= (16,67 - 0) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$
$$= 16,67 \frac{ft.lbf}{lbm\ \ s}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2,87^2}{2 \times 1 \times 32,17} = 0,1284 \ ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F$$
$$= 21,60 + 16,67 + 0,1284 + 10,77$$
$$= 49,16 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 62,30 lb/dt

$$Hp = \frac{- Wf \times rate\ massa}{550}$$
$$= \frac{49,16 \times 62,30}{550}$$
$$= 5,57 \ Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4ed ; Figure 14-37 Page 520)**

$$Bhp = \frac{Hp}{\eta\ pompa}$$
$$= \frac{5,57}{40\%}$$
$$= 13,92 \ Hp$$

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4ed ; Figure 14-38 Page 521)**

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

$= \dfrac{13{,}92}{80\%}$

= 17 Hp

Spesifikasi Pompa Air ke bak penampung air pendingin :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak air bersih ke bak air pending
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	3.592,78 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	2,87 ft/detik
Total Dynamic Head	:	49,16 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%
Power Motor	:	17 Hp
BHp	:	13,92 Hp
Jumlah	:	1 Buah

11. Pompa air pendingin

Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak air pendingin ke plant
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1 g/ml = 1.000 kg/m³

Bahan masuk = 101,9534 m^3/jam x 1000 kg/m³
= 101.953,41 kg/jam
= 224.297,50 lb/jam

Rate Volumetrik (q_f) $= \dfrac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$

$= \dfrac{224.297{,}50 \text{ lb/jam}}{62{,}43 \text{ lb/cuft}}$

= 3.592,78 cuft/jam
= 59,88 cuft/menit
= 449,10 gpm
= 1,00 cuft/detik

Sg Bahan $= \dfrac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} = \dfrac{62{,}43 \text{ lb/cuft}}{62{,}43 \text{ lb/cuft}} = 1$

µ berdasarkan sg bahan :
Dari **Kern Table 6 ; Page - 808** didapat sg reference = 1
Dari **Kern figure 14 ; Page 823** didapat µ reference = 0,95 cp

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu \text{ reference}$$
$$= \frac{1}{1} \times 0{,}95$$
$$= 0{,}95 \text{ Cp}$$
$$= 0{,}00064 \text{ lb/ft.detik}$$

Asumsi aliran turbulen :

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

Dengan :

q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)

ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $4 \times 0{,}998^{0,45} \times 62{,}43^{0,13}$
= 6,67 in

Dipilih pipa 14 in, sch 30 **(Brownell & Young, Page 389)**

OD = 14,00 in

ID = 13,25 in = 1,10 ft = 0,34 m

$$A = (^1/_4 \times \pi \times ID^2)$$
$$= 1/4 \times 3{,}14 \times 1{,}104^2$$
$$= 0{,}9571 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan Aliran (v)} = \frac{q_f}{A}$$
$$= \frac{0{,}9980}{0{,}9571}$$
$$= 1{,}04 \text{ ft/detik}$$

$$NRe = \frac{D\, v\, \rho}{\mu}$$
$$= \frac{1{,}10 \times 1{,}04 \times 62{,}43}{0{,}0006}$$

= 112601,49 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0001

f = 0,0080 **(Geankoplis 4ed. Fig. 2.10-3, hal 88)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

Sambungan / Fitting	Le/D
Elbow standard 90°	32
Gate valve open	7

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 1,10 ft

Taksiran panjang pipa lu						=	25	ft
3 Elbow 90°	=	3	x	32	x 1,10	=	106,00	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x 1,10	=	7,73	ft
Panjang Total Pipa						=	138,73	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0080 \times 1{,}04^2 \times 138{,}73}{32{,}17 \times 1{,}10}$$

$$= \frac{2{,}41}{35{,}53}$$

$= 0{,}0679$ $ft.lb_f / lb_m$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-16)**

k = 0,55 ; A tangki >>> A pip **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

α = 1,0 ; untuk aliran turbule **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

$$= \frac{0{,}55 \times 1{,}04^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}17}$$

$= 0{,}0093$ $ft.lb_f / lb_m$

3. Friksi karena elbow 90°

kf = 0,75 karena turbulen **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$$F_3 = 3\ \frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3\ \frac{0{,}75 \times 1{,}09}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

$= 1{,}22$ $ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_4 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{1{,}04^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)**

$= 0{,}0169$ $ft.lb_f / lb_m$

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$$F_5 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 1{,}09}{2}$$ **(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)**

$= 0{,}092$ $ft.lb_f / lb_m$

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

$= 0{,}0679 + 0{,}0093 + 1{,}2233 + 0{,}0169 + 0{,}0924$

$= 1{,}41$ $ft.lb_f / lb_m$

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

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 5,44 m = 18,12 ft

ρ bahan = 62,43 lb/cuft = 1 gr/ml

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 62,43 x 18,12 x 1

= 1131,09 lbf/ft^2

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

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2.116{,}8 - 1.131{,}09}{62{,}43} = \frac{985{,}71 \ lbf/ft^2}{62{,}43 \ lb/cuft} = 15{,}79 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 0 m = 0 ft

Z_2 = 5 m = 16,67 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

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

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

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z2 - Z1) \times \frac{g}{gc}$$

$$= (16{,}67 - 0) \times 1 \ \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 16{,}67 \ \frac{ft.lbf}{lbm} \ s$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{1{,}04^2}{2 \times 1 \times 32{,}17} = 0{,}0169 \ ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 15{,}79 + 16{,}67 + 0{,}0169 + 1{,}41$$

$$= 33{,}88 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 62,30 lb/dt

$$Hp = \frac{-Wf \times \text{rate massa}}{550}$$

$$= \frac{33{,}88 \times 62{,}30}{550}$$

$$= 3{,}84 \ Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4[ed] ; Figure 14-37 Page 520)**

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

$$= \frac{3{,}84}{40\%}$$

$$= 9{,}60 \ Hp$$

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4[ed] ; Figure 14-38 Page 521)**

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

$$= \frac{9{,}60}{80\%}$$

$$= 11{,}99 \ Hp$$

Spesifikasi pompa air pendingin :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak air pendingin ke plant
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	3.592,78 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	1,04 ft/detik
Total Dynamic Head	:	33,88 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%
Power Motor	:	12 Hp
BHp	:	9,60 Hp
Jumlah	:	1 Buah

12. Pompa Cooling Tower

Fungsi	:	Mengalirkan bekas air pendingin keluar plant menuju cooling tower lalu menuju bak penampung air pendingin.
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1 g/ml = 1.000 kg/m³

Bahan masuk = 101.953,41 kg/jam
= 224.297,50 lb/jam

Rate Volumetrik (q_f) $= \frac{\text{Rate Massa}}{\text{Densitas}}$

$= \frac{224.297,50 \text{ lb/jam}}{62,43 \text{ lb/cuft}}$

= 3.592,78 cuft/jam
= 59,88 cuft/menit
= 449,10 gpm
= 1,0 cuft/detik

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

μ berdasarkan sg bahan :
Dari **Kern Table 6 ; Page - 808** didapat sg reference = 1
Dari **Kern figure 14 ; Page 823** didapat μ reference = 0,95 cp

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

$= \frac{1}{1} \times 0,95$

= 0,95 Cp
= 0,00064 lb/ft.detik

Asumsi aliran turbulen :
D_i optimum untuk aliran turbulen, NRe > 2100 digunakan persamaan (15) Peter
Diameter optimum = $3.9 \times q_f^{0.45} \times \rho^{0.13}$ **[Peters, 4[ed], pers.15 : 496]**
Dengan :
q_f = Fluid flow rate; (cuft/detik)
ρ = Fluid Density; (lb/cuft)

Diameter pipa optimum, Di = $4 \times 1,0^{0,45} \times 62,43^{0,13}$
= 6,67 in

Dipilih pipa 14 in, sch 30 **(Brownell & Young, Page 389)**

OD = 14,00 in

ID = 13,25 in = 1,10 ft = 0,34 m

$A = (\frac{1}{4} \times \pi \times ID^2)$

$= 1/4 \times 3,14 \times 1,104^2$

$= 0,9571\ ft^2$

Kecepatan Aliran (v) $= \frac{q_f}{A}$

$= \frac{0,9980}{0,9571}$

$= 1,04$ ft/detik

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

$= \frac{1,10 \times 1,04 \times 62,43}{0,0006}$

= 112601,49 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0001

f = 0,0080 **(Geankoplis 4ed. Fig. 2.10-3, hal 88)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 1,10 ft

Taksiran panjang pipa lu							=	25	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	1,10	=	106,00	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	1,10	=	7,73	ft
Panjang Total Pipa							=	138,73	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0080 \times 1{,}04^2 \times 138{,}73}{32{,}17 \times 1{,}10}$$

$$= \frac{2{,}41}{35{,}53}$$

$= 0{,}0679 \quad ft.lb_f / lb_m$

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-16)**

$k = 0{,}55$; A tangki >>> A pip **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

$\alpha = 1{,}0$; untuk aliran turbule **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-16)**

$$= \frac{0{,}55 \times 1{,}04^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}17}$$

$= 0{,}0093 \quad ft.lb_f / lb_m$

3. Friksi karena elbow 90^o

kf = 0,75 karena turbulen **(Geankoplis 4ed tabel 2.10-2 hal 94)**

$$F_3 = 3\,\frac{K_f \times V_1^2}{2} = 3\,\frac{0{,}75 \times 1{,}09}{2}$$

(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)

$= 1{,}22 \quad ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_4 = \frac{V^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{1{,}04^2}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$ **(Geankoplis 4ed, eq 2.10-15)**

$= 0{,}0169 \quad ft.lb_f / lb_m$

5. Friksi karena Gate Valve

kf = 0,17 *(Geankoplis 4ed, tabel 2.10-1)*

$$F_5 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 1{,}09}{2}$$ **(Geankoplis 3ed, eq 2.10-17)**

$= 0{,}092 \quad ft.lb_f / lb_m$

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

$= 0{,}0679 + 0{,}0093 + 1{,}2233 + 0{,}0169 + 0{,}0924$

$= 1{,}41 \quad ft.lb_f / lb_m$

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

P_1 = P hidrostatis

Tinggi bahan, H = 5,00 m = 16,67 ft

ρ bahan = 62,43 lb/cuft = 1 gr/ml

P hidrostatis = ρ x H x g/gc

= 62,43 x 16,67 x 1

= 1040,50 lbf/ft^2

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

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{P_2 - P_1}{\rho} = \frac{2.116,8 - 1.040,50}{62,43} = \frac{1076,30}{62,43} \frac{lbf/ft^2}{lb/cuft}$$

$$= 17,24 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 0 m = 0 ft

Z_2 = 10,50 m = 35,00 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

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

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

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z2 - Z1) \times \frac{g}{gc}$$

$$= (35,00 - 0) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 35,00 \frac{ft.lbf}{lbm} \text{ s}$$

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{1,04^2}{2 \times 1 \times 32,17} = 0,0169 \ ft.lb_f / lb_m$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 17,24 + 35,00 + 0,0169 + 1,41$$

$$= 53,67 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Rate massa = 62,30 lb/dt

$$Hp = \frac{- Wf \times rate\ massa}{550}$$

$$= \frac{53,67 \times 62,30}{550}$$

$$= 6,08 \ Hp$$

Effisiensi Pompa = 40% **(Peters 4^{ed} ; Figure 14-37 Page 520)**

$$Bhp = \frac{Hp}{\eta \text{ pompa}} = \frac{6{,}08}{40\%} = 15{,}20 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 80% **(Peters 4^{ed} ; Figure 14-38 Page 521)**

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\eta \text{ motor}} = \frac{15{,}20}{80\%} = 19{,}00 \text{ Hp}$$

Spesifikasi air pendingin :

Fungsi	:	Mengalirkan bekas air pendingin keluar plant menuju cooling tower lalu menuju bak penampung air pendingin.
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	3.592,78 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	1,04 ft/detik
Total Dynamic Head	:	53,67 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	40%
Power Motor	:	19 Hp
BHp	:	15 Hp
Jumlah	:	1 Buah

VII.4. Unit Pembangkit Tenaga Listrik

Tenaga listrik yang dibutuhkan Pabrik ini dipenuhi dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) dan Generator set (Genset) dan distribusi pemakaian listtrik untuk memenuhi kebutuhan pabrik adalah sebagai berikut :

- Untuk keperluan proses.
- Untuk keperluan penerangan.

Untuk keperluan proses disediakan dari generator set, sedangkan untuk penerangan dari PLN. Bila terjadi kerusakan pada generator set, kebutuhan listrik bisa diperoleh dari PLN. Demikian juga bila terjadi gangguan dari PLN, kebutuhan listrik untuk penerangan bisa diperoleh dari generator set. Perincian kebutuhan listrik dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel VII.1. Kebutuhan Listrik untuk Peralatan Proses dan Utilitas

No	Nama Alat Peralatan Proses	Kode Alat	Power (hp)
1	Pompa - 1	L-111	2
2	Belt Conveyor	J-121	3
3	Bucket Elevator - 1	J-122	4
4	Screw Conveyor - 1	J - 124	4
5	Tangki Pengencer H2SO4	M - 130	37
6	Pompa - 2	L - 131	2
7	Pompa - 3	L - 141	2
8	Blower - 1	G - 142	46
9	Manheim Furnace	Q - 210	144
10	Blower - 2	J - 211	46
11	Screw Conveyor - 2	J-212	4
12	Rotary Cooler	B - 220	89
13	Blower - 3	B - 221	46
14	Cooling Screw Conveyor	J - 223	2
15	Bucket Elevator - 2	J - 224	4
16	Solution Tank	R - 230	56
17	Pompa - 4	L - 232	2
18	Crystallizer	S - 250	35
19	Centrifuge	H - 260	125
20	Screw Conveyor - 3	J - 261	4
21	Bucket Elevator - 4	J - 262	4
22	Pompa - 5	L - 263	2
23	Ball Mill	C - 270	700
24	Pompa - 6	L - 311	2
25	Pompa - 7	L - 321	2
Total			1.368

No	Nama Alat Peralatan Utilitas	Kode Alat	Power (hp)
1	Boiler	P - 350	83
2	Cooling Tower	P - 360	9
3	Tangki Koagulasi	M - 210	9
4	Tangki Flokulasi	M - 220	3
5	Pompa Air Sungai	L - 109	39
6	Pompa ke Tangki Koagulasi	L - 111	35
7	Pompa ke Tangki Flokulasi	L - 211	35
8	Pompa ke Sand Filter	L - 313	34
9	Pompa Bak Penampung Air Sanitasi	L - 322	1
10	Pompa ke Kation Exchanger	L - 324	5

11	Pompa ke Anion Exchanger	L - 331	8
12	Pompa Air Umpan Boiler	L - 342	1
13	Pompa Air Proses	L - 343	6
14	Pompa Bak Penampung Air Pendingin	L - 325	17
15	Pompa Recycle Air Pendingin	L - 328	12
16	Pompa Cooling Tower	L - 361	19
Total			315

1 Hp = 745,6 W = 0,746 kW

Total kebutuhan listrik = 1368 + 315 = 1.683,27 hp

= 1.255 kWh

untuk tiap-tiap lokasi. Dengan menggunakan perbandingan beban listrik lumen/m2 Kebutuhan listrik untuk penerangan pabrik dihitung berdasarkan penerangan dimana 1 foot candle = 10.076 lumen / m^2

1 lumen = 0,0015 W

Tabel VII.2. Kebutuhan Listrik Untuk Penerangan

No	Lokasi	Luas (m^2)	Foot candle	Lumen / m^2
1	Jalan	2350	235	2367860
2	Pos Keamanan	100	10	100760
3	Parkir	1200	120	1209120
4	Taman	800	80	806080
5	Timbangan Truk	100	10	100760
6	Pemadam Kebakaran	200	20	201520
7	Bengkel	225	22,5	226710
8	Kantor	1200	120	1209120
9	Perpustakaan	500	50	503800
10	Kantin	225	22,5	226710
11	Poliklinik	100	10	100760
12	Mushola	900	90	906840
13	Ruang Proses	2500	250	2519000
14	Ruang Kontrol	100	10	100760
15	Laboratorium	625	62,5	629750
16	Unit Pengolahan Air	900	90	906840
17	Unit Pembangkit Listrik	500	50	503800
18	Unit Boiler	500	50	503800
19	Storage Produk	625	62,5	629750
20	Storage Bahan Baku	625	62,5	629750
21	Gudang	625	62,5	629750
22	Utilitas	500	50	503800
23	Daerah Perluasan	3600	360	3627360
Total		**19000**	**1900**	19144400

Untuk penerangan daerah proses, daerah perluasan, daerah utilitas, daerah bahan baku, daerah produk, tempat parkir, bengkel, gudang, jalan dan taman digunakan merkury 250 watt. Untuk lampu merkury 250 watt

Lumen Output = 166666,67 lumen **(Perry 7^ed^, Conversion Table)**

Jumlah lampu merkury yang dibutuhkan :

Tabel VII.3 Jumlah Lampu Merkury

No	Lokasi	Lumen / m^2
1	Ruang Proses	2519000
2	Daerah Perluasan	3627360
3	Utilitas	503800
4	Storage Bahan Baku	629750
5	Storage Produk	629750
6	Parkir	1209120
7	Bengkel	226710
8	Gudang	629750
9	Jalan Aspal	2367860
10	Taman	806080
	Total	13149180

$$\text{Jumlah lampu mercury yang dibutuhkan} = \frac{13.149.180}{166.666,67}$$

= 78,90 ≈ 79 buah

Untuk penerangan lain digunakan lamp 40 watt

Untuk lampu TL 40 watt, lumen out put = 26.667

$$\text{Jumlah lampu TL yang dibutuhkan} = \frac{19144400 - 13149180}{26667}$$

= 225 Buah

Kebutuhan listrik untuk penerangan :

= [79 x 250]+[225 x 40]

= 28.743 watt

= 28,74 kWh

Kebutuhan listrik untuk AC kantor = 20 kWh

Supply PLN hanya untuk penerangan dan AC

= 28,74 + 20

= 48,74 kWh

Untuk menjamin kelancaran dalam penyediaan, ditambah 20 % dari kebutuhan

Sehingga kebutuhan listrik = 1,2 x 48,74 = 58,49 kWh

VIII.4.1. Generator Set

Direncanakan digunakan Generator Portable Set (penempatannya mudah)

Effisiensi generator set : 80%

Supply listrik untuk keperluan proses dan utilitas diperoleh dari generator set.

Kebutuhan listrik untuk keperluan proses dan utilitas = 1314 kWh

Untuk menjamin kelancaran dalam penyediaan, ditambah 20% dari kebutuhan.

Sehingga kebutuhan listrik = 1,2 x 1314

= 1.576 kWh

Kapasitas generator set total $= \frac{1.576}{80\%}$

= 1970,31 kWh

Digunakan generator iwata dengan kapasitas 1.200 kWh , Sehingga

Jumlah generator $= \frac{1970,31 \text{ kWh}}{1.200 \text{ kWh}} = 1,64$ buah ≈ 2 buah

1 kW = 56,87 Btu/menit

Q generator = 1970,31 x 56,87

= 112051,48 Btu/menit

Heating Value minyak bakar = 19.065,6944 Btu/lb

[Perry 6ed, 1984 Page 1629]

Kebutuhan bahan bakar untuk generator $= \frac{112051,48 \text{ Btu/menit}}{19065,69 \text{ Btu/lb}}$

= 5,88 lb/menit

= 159,95 kg/jam

Jadi dalam perencanaan ini, disediakan generator pembangkit tenaga listrik yang dapat menghasilkan daya listrik sesuai dengan kebutuhan dengan bahan bakar solar sebesar = 160 kg/jam

Berat jenis bahan bakar = 870 kg/m^3 = 0,87 kg/L

Maka kebutuhan bahan bakar $= \frac{159,95}{0,87}$

= 183,85 L/jam

= 4.412 L/hari

Spesifikasi Generator Set :

Fungsi	:	Pembangkit Tenaga Listrik
Kapasitas	:	1.970 kWh
Power factor	:	80%
Frekuensi	:	50 Hz
Bahan bakar	:	Diesel Oil
Jumlah bahan bakar	:	4.412,39 L/hari
Jumlah	:	3 buah (1 cadangan)

VII.5 Tangki Penyimpan Bahan Bakar

VII.5.1 Tangki Penyimpanan Bahan Bakar Solar

Fungsi : Menyimpan bahan bakar solar untuk kebutuhan generator dan boiler.

Bentuk : Tangki Silinder Vertikal dengan plat datar (flat bottom) dan atap torispherical dished

kebutuhan Bahan Bakar Furnace :

Kebutuhan bahan bakar untuk Furnace per jam	=	1.172	lb/jam
Kebutuhan bahan bakar untuk generator per jam	=	353	lb/jam
Kebutuhan bahan bakar untuk boiler per jam	=	156	lb/jam
Total Minyak Diesel	=	1.681	lb/jam

Densitas minyak diesel = 54,31 lb/cuft

$$\text{Kapasitas} = \frac{\text{Total Minyak Diesel}}{\text{Densitas minyak diesel}} = \frac{1.681}{54,31} = 30,94 \text{ cuft/jam}$$

1 cuft = 28,32 liter

Kapasitas per jam = 876,32 L/jam

Direncanakan penyimpanan bahan bakar selama 7 Hari :

$$\text{Volume bahan} = 30,94 \text{ cuft/jam} \times \frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}} \times 7 \text{ hari}$$

= 5.199 cuft

Volume tangki = 1,2 x 5.199 = 6.238 cuft

Menentukan dimensi tangki

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

Volume silinder = $1/4 \; x \; \pi \; x \; [(Ds)]^2 \; x$ Hs

$$6.238 = \frac{1}{4} \times 3,14 \times D^2 \times 2\,D$$

$6.238 = 1,57 \; Ds^3$

$Ds^3 = 3.973 \; ft^3$

Ds = 15,84 ft = 4,83 m

Hs = 31,68 ft = 9,66 m

V tutup atas = $0,000049 \; Ds^3$ (Torispherical) **[Brownell : 88]**

Volume tangki = Volume silinder + Volume tutup atas

$6.238 = 1,57 \; Ds^3 + 0,000049 \; Ds^3$

$6.238 = 1,57 \; D^3$

Dt = 15,84 ft = 190,06 in = 4,83 m

Ht = 31,68 ft = 380,13 in = 9,66 m

$$\text{Volume liquid} = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times Hliq$$

$$5.199 = 196,92 \ H\ liq$$

$$Hliq = 26,40 \ ft = 317 \ in = 8 \ m$$

Menentukan Tekanan Design

Jika didalam bejana terdapat liquid , maka :

$$P\ design = Po - Pi + Phidrostatis$$

$$P\ design = 14,7 - 14,7 + Phidrostatis$$

$$P\ design = Phidrostatis$$

$$P\ design = \rho \times g/gc \times H_{liq}$$

$$= 54,31 \ \frac{lbm}{cuft} \times 1 \ \frac{lbf}{lbm} \times 26,40 \ ft$$

$$= 1433,70 \ lbf/ft^2$$

$$= 9,96 \ Psi$$

Menentukan tebal minimun shell

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank :

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fe - 0.6P} + C$$ **[Brownell, pers.13-1, Page 254]**

Dengan :

t_{min} = tebal shell minimum ; in

P = tekanan tangki ; Psi

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

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

E = faktor pengelasan, digunakan double welded

e = 0,80

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

ri = 0,5 x 190,06
= 95,03 in

Asumsi tebal shell = 1/4 in

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

$$4/16 = \frac{9,96 \times 95,03}{f \times 0,8 - 0,6 \times 9,96} + 1/8$$

$$1/8 = \frac{946,15}{f \times 0,8 - 5,97}$$

$$f = 9.454 \ psi$$

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

<u>Menentukan dimensi tutup atas dan bawah (Torispherical dished)</u>

Tutup atas berbentuk standart dished head

OD = ID + 2ts
= 190,06 + 2 x 1/4
= 191 in = 15,8802 ft
rc = 170 in = 14 ft **(Brownell & Young, T. 5.7 hal 9(**

Tebal standart torispherical dished (atas) :

$$t_h = \frac{0{,}885 \times P \times rc}{fe - 0{,}1P} + C$$ **(Brownell & Young pers 13.12 hal 258)**

Dimana :

P_d = Tekanan desain (psi)
Di Diameter dalam (in)
E = Faktor Pengelasan, 0,8
t = Tebal dinding minimal (in)

$$t_h = \frac{0{,}885 \times 9{,}96 \times 170{,}00}{10120 - 0{,}996} + 0{,}13$$

= 2/7 in ; digunakan t 2/7 in

Spesifikasi Tangki Penyimpanan Bahan Bakar Solar :

Nama alat	:	Menyimpan bahan bakar untuk kebutuhan generator
Tipe	:	Tangki Silinder Vertikal dengan plat datar (flat bottom) dan atap torispherical dished
Kapasitas	:	6.238 cuft
Diameter	:	4,83 m
Tinggi	:	9,66 m
Tebal shell	:	4/16 in
Tebal tutup	:	2/7 in
Bahan konstruksi	:	Carbon Steel SA-283 grade C
Jumlah	:	1 Buah