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, dari generator, boiler, dan sebagainya.
5. Unit Pengolahan Limbah
   Unit ini berfungsi sebagai pengolahan limbah pabrik cair, padat maupun gas psoses.

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 pada suhu 148°C **(Ulrich, Appendix B ; Page 426)**

Dengan h_v = 506,573 kkal/kg

= 911,143 Btu/lb **(J.M Smith 7ed, App F table F-1)**

Jumlah *steam* yang dibutuhkan untuk memproduksi Carbon Black adalah :

No.	Nama Alat	Kode Alat	Steam	
			(kg/jam)	(lb/jam)
1.	Pre-Heater Heavy Fuel Oil	E-114	1308,1015	2883,870
2.	Pre-Heater Udara	E-325	17429,2497	38424,9155
Total				41.308,7855

Total kebutuhan *steam* = 41.308,7855 lb/jam

= 8261,7571 (lb/jam) 5 unit

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 8.261,7571
= 9.914,1085 lb/jam

Untuk menghitung kebutuhan bahan bakar :

$$m_f = \frac{m_s(h_v - h_f)}{e_b \times F} \times 100$$ **(Severn, W.H Page 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
e_b = efisiensi boiler 85-92% , ditetapkan e_b = 92%
F = nilai kalor bahan bakar; Btu/lb
h_v = 911,1426 Btu/lb (suhu steam = 148 ^{o}C)
(J.M Smith 7^{ed}, App F table F-3)
h_f = 180,17 Btu/lb (suhu air = 100 ^{o}C)
(J.M Smith 5^{ed}, steam table thermodynamics)
e_b = 92%
F = Nilai kalor bahan bakar
Digunakan Diesel Oil 33 ^{o}API (0.22% Sulfur)
Relatif Density, ρ = 0,790 gr/cc **(Perry 7^{ed}, Table 27-6)**
= 49,3181 lb/cuft
= 6,5929 lb/gal
Dari **Perry 7^{ed}, Figure 27-3** di dapat :
Heating Value = 137.273 Btu/gal

Maka, heating value bahan bakar $= \frac{137.273 \text{ Btu/gal}}{6,5929 \text{ lb/gal}}$
= 20.821,3650 Btu/lb

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

$$= \frac{9.914,1085 \times (911,143 - 180,17)}{92\% \times 20.821,3650} \times 100$$

= 37.831,863 lb/jam

Kapasitas Boiler

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

$$Q = \frac{9.914,1085 \times (911,1426 - 180,17)}{1000}$$

$= 7.246,9414$ KBtu/jam

Penentuan Boiler Horse Power

Untuk penentuan Boiler Horse Power, digunakan persamaan :

$$Hp = \frac{m_s(h_v - h_f)}{(970.3 \times 34.5)}$$ **(Severn, Pers 172 ; Page 140)**

Dimana :

Angka-angka 970.3 dan 34.5 adalah suatu penyesuaian pada penguapan 34.5 lb air/jam dari air pada 212^{o}F menjadi uap kering pada 212^{o}F pada tekanan 1 atm, untuk kondisi demikian diperlukan entalpi penguapan 970.3 Btu/lb.

$$Hp = \frac{m_s(h_v - h_f)}{(970.3 \times 34.5)}$$

$$= \frac{9.914,1085 \times (911,1426 - 180,17)}{970,3 \times 34,5}$$

$= 216,4859$ Hp

$= 216$ Hp

Penentuan Heating Surface Boiler **(Severn, W.H ; Page 140)**

Untuk 1 Hp boiler dibutuhkan 10 ft^2 heating surface

Total Heating Surface $= 10 \times 216,4859$

$= 2.164,8590$ ft^2

Kebutuhan air untuk pembuatan steam

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

Produksi steam = 9.914,1085 lb/jam

Kebutuhan air = 1,2 x 9.914,1085

= 11.896,9302 lb/jam

= 285.526,33 lb/hari

ρ air = 62,43 lb/cuft

$$\text{Volume air} = \frac{285.526,3}{62,43}$$

= 4.573,5436 cuft/hari
= 129,5081 m^3/hari
= 5,3962 m^3/jam

Air kondensat dari hasil pemanasan di recycle kembali ke boiler. Dianggap kehila ngan air kondensat sebesar 20%. Maka air yang ditambahkan sebagai make up water adalah :

= 20% x 5,3962
= 1,0792 m^3/jam
= 25,90162 m^3/hari

Air yang menguap 5% dari kebutuhan air di boiler :
Air yang menguap = 0,05 x 129,5081
= 6,4754 m^3/hari

Blowdown pada boiler adalah 15% dari kebutuhan air boiler :
Blowdown = 0,15 x 129,5081
= 19,4262 m^3/hari

Kebutuhan total air untuk steam = Kebutuhan air di boiler + Make up water
= 129,5081 + 25,9016
= 155,4097 m^3/hari

Spesifikasi :

Nama Alat	:	Boiler
Tekanan Steam	:	4,5 atm
Suhu	:	148 °C
Type	:	Fire tube boiler (tekanan steam < 10 atm)
Heating Surface	:	2.164,8590 ft^2
Kapasitas Boiler	:	7.246,9414 KBtu/jam
Rate Steam	:	9.914,1085 lb/jam
Effisiensi Boiler	:	92%
Power	:	216,4859 Hp
Bahan Bakar	:	Diesel Oil 33^o API
Rate Bahan Bakar	:	37.831,8629 lb/jam
Kebutuhan air	:	129,5081 m^3/hari
Make up water (20%)	:	25,9016 m^3/hari

Jumlah : 5 Buah

VII.2 Unit Penyediaan Air

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

Air pada pabrik ini dipakai untuk :
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	°C	suhu udara ± 3
5	Rasa		tidak berasa
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	0,001
20	Arsen	mg/l	0,05
21	Kadmium	mg/l	0,005
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 188 orang
   = 5,64 m^3/hari
2. Keperluan Laboratorium
   = 20 m^3/hari
3. Untuk menyiram kebun dan kebersihan pabrik
   = 15 m^3/hari
4. Cadangan atau lain-lain diperkirakan 20% dari kebutuhan air untuk
   sanitasi : = 8 m^3/hari

Total kebutuhan air sanitasi = 48,77 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 harus sangat bergantung pada kondisi air umpannya. Beberapa persyaratan yang 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 = 5,3962 m^3/jam

= 129,5081 m^3/hari

VII.2.3 Air Pendingin

Untuk kelancaran dan efisiensi kerja dari air pendingin, maka perlu 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 Alat	Cooling Tower	
			(kg/jam)	(lb/jam)
1	*Cooling Conveyor*	J-223	13.057,3510	28.786,2359
2	*Cooling Conveyor*	J-326	14.720,4128	32.452,622
Total				61.238,858

Kebutuhan air pendingin total = 61.239 lb/jam

Cooling Tower

Fungsi : Mendinginkan air pendingin yang sudah terpakai.

Untuk keperluan ini digunakan *cooling tower* dengan spesifikasi sebagai berikut :

Kebutuhan Cooling Water = 61.239 lb/jam

= 666.545 kg/hari

Densitas Air = 1000 kg/m^3

Volume Air = $\frac{666.545 \text{ kg/hari}}{1000 \text{ kg/m}^3}$

= 666,5454 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 666,5454

= 599,8909 m^3/hari

Air yang harus ditambahkan sebagai make up water :

= 10% x 666,5454

= 66,6545 m^3/hari

Jadi, total kebutuhan air (disirkulasi) sebesar :

$= \frac{666,5454 \times 264,17}{24 \times 60}$

= 122,2787 gpm

Perancangan Alat Cooling Tower

Fungsi : Mendinginkan air yang akan digunakan sebagai air pendingin.

Jenis : Cross Flow Induced Draft Cooling Tower

Rate Volumetrik = 122,2787 gpm

Digunakan udara sebagai pendingin dengan relative humidity 70%.

Suhu air masuk cooling tower (T_1) = 45 ℃ = 113 ^oF

Suhu air keluar cooling tower (T_2) = 30 ℃ = 86 ^oF

Diambil kondisi 70% relative humidity 30^{o}C

T dry bulb = T_{db} = 30 ℃ = 86 ^oF

T wet bulb = T_{wb} = 26 ℃ = 78,8 ^oF

Temperature Approach = $T_2 - T_{wb}$

= 86 - 78,8 = 7,2 ^oF

Temperature Range = $T_1 - T_2$

= 113 - 86 = 27 ^oF

Konsentrasi air cooling water pada suhu 30^{o}C = 2 gpm/ft^2

(Perry 7^{ed}, Figure 12-14)

Luas area pendinginan = $\frac{122,2787 \text{ gpm}}{2 \text{ gpm/ft}^2}$

$= 61{,}1393 \ ft^2$

Menghitung Make Up Water

Aliran air sirkulasi masuk cooling tower (Wc)

$= 666{,}5454 \ m^3/hari$

$= 27{,}7727 \ m^3/jam$

Evaporation Loss (We)

$= 0{,}00085 \times Wc\ (T_1 - T_2)$

$= 0{,}00085 \times 27{,}7727 \times 27$

$= 0{,}6374 \ m^3/jam$

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)**

$= 0{,}002 \times Wc$

$= 0{,}002 \times 27{,}7727$

$= 0{,}0555 \ m^3/jam$

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)**

$$= \frac{0{,}6374}{5 - 1}$$

$= 0{,}1593 \ m^3/jam$

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

$Wm = We + Wd + Wb$

$= 0{,}6374 + 0{,}0555 + 0{,}1593$

$= 0{,}8523 \ m^3/jam$

Dengan dasar perhitungan dari **Perry 3[ed] 1984 ; Page 3 - 795 ,** diperoleh :

- Tinggi cooling tower = 35 ft
- Jumlah deck = 12 Buah
- Lebar cooling tower = 12 ft
- Kecepatan angin = 3 mil/jam

$$L = \frac{Gpm \times W}{C \times 12 \times CW \times CH}$$ **(Perry 3[ed] 1984 ; Page 3 - 795)**

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	**Figure 56, Page 3-794 (Perry 3[ed], 1984)**
CW	=	0,98	**Figure 56, Page 3-794 (Perry 3[ed], 1984)**
C	=	2	**Figure 56, Page 3-794 (Perry 6[ed], 1984)**
CH	=	1,25	**Figure 56, Page 3-794 (Perry 6[ed], 1984)**

Maka dapat diperoleh :

$$L = \frac{122{,}2787 \times 1}{2 \times 12 \times 1 \times 1{,}25}$$
$= 4{,}0760$ ft
$= 4$ ft

Menghitung dimensi cooling tower
Kapasitas, Q = 122,2787 gpm
Konsentrasi air, Cooling Water T = 30°C = 2 gpm/ft^2
(Perry, 1997 ; Figure 12-14)

Luas menara, A $= \frac{122{,}2787 \text{ gpm}}{2 \text{ gpm/ft}^2}$
$= 61{,}1393$ ft^2

Tinggi menara :

Berdasarkan **Perry 8[ed] ; Page 12-19 :**

Untuk range pendingin 25 - 35°F dengan temperature approach 7.2°F di peroleh menara 35-40 ft.

tinggi Karena temperature range = 27 °F , maka diperoleh tinggi menara

$$\frac{27 - 25}{35 - 25} = \frac{y - 35}{40 - 35}$$
y = 36 ft

Tinggi menara (h) = 36 ft

Diameter Menara :

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

$$61{,}1393 = 0{,}785 \times D^2$$

$$D^2 = 77{,}8845$$

$$D = 8{,}8252 \text{ ft} = 2{,}6899 \text{ m}$$

Daya motor penggerak Fan Cooling Tower :

Dengan performance dari cooling tower 90%, diperoleh :

Power Fan = 0,03 Hp/ft^2 **(Perry 7^{ed}, Figure 12.15)**

Tenaga yang dibutuhkan = Luas cooling tower x 0,031
= 61,1393 x 0,031
= 1,895 Hp

Effisiensi Fan = 0,8

Fan Power $= \dfrac{1{,}895}{0{,}8}$
= 2,369 Hp
= 2 Hp

Spesifikasi :

Fungsi	:	Mendinginkan air yang akan digunakan sebagai air pendingin.
Type	:	Cross Flow Induced Draft Cooling Tower
Power	:	2 Hp
Kapasitas	:	27,77 m^3/jam

Dimensi

Tinggi	:	36	ft
Panjang	:	4	ft
Diameter	:	8,8252	ft
Lebar	:	12	ft
Luas	:	61,14	ft^2
Jumlah deck	:	12	Buah
Bahan Konstruksi	:	Baja stainless SA 240 Grade M tipe 316	
Jumlah	:	1	Buah

VII.2.4 Air Proses

Kebutuhan Air Proses :

No.	Nama Alat	Kode Alat	Cooling Tower	
			(kg/jam)	(lb/jam)
1	*Reaktor Futnace*	Q-210	35.915,5631	79.179,4504
2	Quench Tower	D-220	48.986,7109	107.996,1028
3	Pelletizer	S-310	3.246,4286	7.157,0764
Total				194.332,6296

Kebutuhan air proses = 194.332,6 lb/jam
= 3114,3050 ft^3/jam
= 88,1865 m^3/jam
= 2116,4751 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 penya ringan 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	=	48,768	m^3/hari	=	2,0320	m^3/jam
Air Umpan Boiler	=	129,508	m^3/hari	=	5,3962	m^3/jam
Air Pendingin	=	666,545	m^3/hari	=	27,7727	m^3/jam
Air Proses	=	2.116,475	m^3/hari	=	88,1865	m^3/jam
Total	=	2.961,2966	m^3/hari	=	123,3874	m^3/jam

Total air yang harus di supply dari water treatment = 2.961,2966 m^3/hari
Kehilangan akibat jalur pipa dalam perjalanan, untuk faktor keamanan maka direncanakan kebutuhan air sungai total :

= 1,2 x Kebutuhan normal
= 1,2 x 2.961,2966
= 3.553,556 m^3/hari
= 148,0648 m^3/jam

VII.3.1 Spesifikasi Peralatan Pengolahan Air

1. Bak Penampung Air Sungai

Fungsi : Menampung air sungai sebelum di proses menjadi air bersih.
Type : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.
Rate Volumetrik = 3.553,556 m^3/hari = 148,0648 m^3/jam
Ditentukan : Waktu tinggal = 2 jam

Volume air dalam bak penampung :

Direncanakan penyimpanan dengan 3 buah bak, sehingga volume masing - masing bak :

$$\text{Volume air dalam bak penampung} = \frac{\text{Rate volumetrik x waktu tinggal}}{\text{jumlah bak}}$$

$$= \frac{148{,}0648 \times 2}{3}$$

$$= 98{,}7099 \ m^3$$

Volume bak penampung = 1,1 x 98,7099 m^3 = 108,5809 m^3

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

Volume bak penampung air = P x L x H
108,5809 = 2 L x L x L
54,2904 = L^3
L = 3,7865 m
H = 3,7865 m
P = 7,5731 m

Check volume

Volume bak = 7,5731 x 3,7865 x 3,7865
= 108,5809 m^3 **(memenuhi)**

Volume Bak > Volume liquida **(Memenuhi)**

Asumsi padatan yang mengendap dan keluar 10% dari bak penampung air sungai

Q_2 = 10% x Q yang masuk
= 10% x 148,0648 m^3/jam
Q_2 = 14,8065 m^3/jam

Q_1 = Debit air yang akan masuk ke tangki koagulasi
Q_1 = Q yang masuk - Q_2
= 148,0648 - 14,8065 m^3/jam
= 133,2583 m^3/jam
= 3.198,200 m^3/hari

Spesifikasi Bak Penampung Air Sungai

Fungsi	:	Menampung air sungai sebelum di proses menjadi air bersih.
Kapasitas	:	108,5809 m^3
Bentuk	:	Bak berbentuk persegi panjang terbuka
Dimensi Bak Penampung		
Panjang (P)	:	7,5731 m
Lebar (L)	:	3,7865 m
Tinggi (H)	:	3,7865 m
Bahan Konstruksi	:	Beton
Jumlah	:	3 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 dengan pengaduk (paddle).

Rate volumetrik (Q_1) = 133,2583 m^3/jam
= 133.258 L/jam

Ditentukan : Waktu tinggal = 8 menit = 0,1333 jam
Dosis $Al_2(SO_4)_3$ = 20 mg/L **(AWWA : T.6.5)**

Kelarutan $Al_2(SO_4)_3$ = 250 - 300 g/L , Dipilih = 250 g/L
ρ $Al_2(SO_4)_3$ = 1,1293 kg/L

Kebutuhan $Al_2(SO_4)_3$ = 20 mg/L x 133.258 L/jam
= 2.665.166,97 mg/jam
= 2.665,1670 gram/jam
= 2,6652 kg/jam

Volume $Al_2(SO_4)_3$ $= \frac{2,6652 \text{ kg/jam}}{1,1293 \text{ kg/L}}$

= 2,3600 L/jam

= 0,0024 m^3/jam

Kebutuhan air untuk melarutkan $Al_2(SO_4)_3$ $= \frac{2.665,1670 \text{ gram/jam}}{250 \text{ g/L}}$

= 10,6607 L/jam

= 0,0107 m^3/jam

Rate volumetrik ke tangki flokulasi (Q_2) = Q_1 + Larutan Koagulan

= 133,2583 + 0,0107

= 133,2690 m^3/jam

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

Volume liquida dalam tangki = Rate volumetrik x waktu tinggal

= 133,2690 m^3/jam x 0,1333 jam

= 17,7692 m^3

Volume tangki koagulasi = 1,1 x 17,7692 m^3

= 19,5461 m^3

Volume tangki > Volume liquida **(Memenuhi)**

Menentukan Dimensi Tangki Koagulasi

Asumsi : H = 2 D

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

19,5461 = 0,785 x D^2 x 2.5 D

19,5461 = 1,57 D^3

D = 2,3177 m

H = 4,6354 m

Menentukan Tinggi Liquida (H_f) di dalam Tangki :

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

$$17{,}7692 = 0{,}785 \times 5{,}3716 \times H_f$$

$$17{,}7692 = 4{,}2167 \times H_f$$

$$H_f = 4{,}2140 \text{ m}$$

Check Volume :

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

$$= 0{,}785 \times 5{,}3716 \times 4{,}6354$$

$$= 19{,}5461 \text{ m}^3 > 17{,}7692 \text{ m}^3$$ **(Memenuhi)**

<u>Sistem Pengaduk</u>

Dalam tangki koagulasi ini dilengkapi dengan pengaduk berkecepatan 100 rpm (1.6667 rps). Dirancang pengaduk tipe flat blade turbin dengan 6 blade. Perbandingan antara diameter impeller dengan diameter tangki (Da/DT) = 1/3

(McCabe 5ed ; Page 243)

$$\text{Diameter Impeller (Da)} = \frac{1}{3} \times \text{Diameter tangki}$$

$$= \frac{1}{3} \times 2{,}3177$$

$$= 0{,}7726 \text{ m}$$

Kecepatan Pengadukan (N) = 100 rpm = 1,6667 rps

ρ air = 1000 kg/m^3

μ air = 0,8 Cp = 0,0008 kg/m.s

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

$$= \frac{1000 \times 0{,}5968 \times 1{,}6667}{0{,}0008}$$

$$= 1.243.436{,}3119$$

Dari **Geankoplis, Figure 3.4-4 Page 145**

Diketahui nilai Np pada N_{Re} = 1.243.436,312 adalah :

Np = 0,8

Daya yang diperlukan untuk motor pengaduk :

$P = Np \times \rho \times N^3 \times Da^5$ (Geankoplis 3^ed.^, eq. 3.4-2 page 145)

$= 0{,}8 \times 1000 \times 4{,}6296 \times 0{,}2752$

= 1.019,29 Watt

= 1,3658 Hp

Jika effisiensi motor 80%, maka :

$P = \frac{1{,}3658}{80\%}$

= 1,7073 Hp

Dipilih motor = 2 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
Waktu tinggal	:	8 menit
Kapasitas	:	19,5461 m^3

Dimensi Tangki

Diameter	:	2,3177 m = 7,6039 ft
Tinggi	:	4,6354 m = 15,2079 ft
Tinggi Liquida	:	4,2140 m

Sistem Pengaduk

Jenis	:	Propeller
Jumlah blade	:	3 Buah
Kecepatan Putaran	:	100 rpm
Diameter Impeller	:	0,7726 m
Power Motor	:	2 Hp
Effisiensi Motor	:	80%
Bahan	:	Carbon Steel
Jumlah	:	1 Buah

3. Tangki Flokulasi

Fungsi	:	Tempat terjadinya penggumpalan partikel dan kontaminan air sungai menjadi flok dengan penambahan Poly Alumunium Chlorida (PAC).
Type	:	Tangki berbentuk silinder dan dilengkapi dengan pengaduk.

Rate Volumetrik (Q_2) = 133,27 m^3/jam = 133.269 L/jam

Ditentukan : Waktu tinggal (t) = 15 menit = 0,2500 jam
Dosis PAC = 3 mg/L
Kelarutan PAC = 466 g/L
ρ PAC = 1,029 kg/L

Kebutuhan PAC = 3 mg/L x 133.269 L/jam
= 399.807 mg/jam
= 399,8070 gram/jam
= 0,3998 kg/jam

Volume PAC = $\frac{0,3998 \text{ kg/jam}}{1,029 \text{ kg/L}}$
= 0,3885 L/jam
= 0,0004 m^3/jam

Kebutuhan air untuk melarutkan PAC = $\frac{399,8070 \text{ gram/jam}}{466 \text{ g/L}}$
= 0,8580 L/jam
= 0,0009 m^3/jam

Rate volumetrik ke clarifier (Q_3) = Q_1 + Larutan Flokulan
= 133,2690 + 0,0009
= 133,2699 m^3/jam

Volume air dalam bak penampung :

Volume liquida dalam tangki = Rate volumetrik x waktu tinggal
= 133,2699 m^3/jam x 0,2500 jam
= 33,3175 m^3

Volume tangki flokulasi = 1,1 x 33,3175 m^3
= 36,6492 m^3

Volume tangki > Volume liquida **(Memenuhi)**

Menentukan Dimensi Tangki Flokulasi

Asumsi : H = 1,5 D

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

$36,6492 = 0,785 \times D^2 \times 1.5\ D$

$36,6492 = 1,1775\ D^3$

$D = 3,1456$ m

$H = 4,7184$ m

Menentukan Tinggi Liquida (H_f) di dalam Tangki :

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

$33,3175 = 0,785 \times 9,8947 \times H_f$

$33,3175 = 7,7673 \times H_f$

$H_f = 4,2894$ m

Check Volume :

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

$= 0,785 \times 9,895 \times 4,7184$

$= 36,65\ m^3 > 33,32\ m^3$ **(Memenuhi)**

<u>Sistem Pengaduk</u>

Dalam tangki koagulasi ini dilengkapi dengan pengaduk berkecepatan 100 rpm (1.6667 rps). Dirancang pengaduk tipe flat blade turbin dengan 6 blade. Perbandingan antara diameter impeller dengan diameter tangki (Da/DT) = 1/3

(McCabe 5ed; Page 243)

$$\text{Diameter Impeller (Da)} = \frac{1}{3} \times \text{Diameter tangki}$$

$$= \frac{1}{3} \times 3,1456 = 1,0485 \text{ m}$$

Kecepatan Pengadukan (N) = 30 rpm = 0,5000 rps

ρ air = 1000 kg/m^3

μ air = 0,8 Cp = 0,0008 kg/m.s

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

$$= \frac{1000 \times 1,0994 \times 0,5000}{0,0008}$$

= 687.131,7300

Dari **Geankoplis, Figure 3.4-4 Page 145**

Diketahui nilai Np pada N_{Re} = 687.131,7300 adalah :

Np = 4

Daya yang diperlukan untuk motor pengaduk :

$P = Np \times \rho \times N^3 \times Da^5$ (Geankoplis 3[ed.], pers. 3.4-2 ; page 145)

= 4 x 1000 x 0,1250 x 1,2674

= 634 Watt

= 1 Hp

Jika effisiensi motor 80%, maka :

$$P = \frac{0,849}{80\%}$$

= 1,061 Hp

Dipilih motor = 1 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 dan dilengkapi dengan pengaduk
Waktu tinggal	:	15 menit
Kapasitas	:	36,6492 m^3
Dimensi Tangki		
Diameter (D)	:	3,1456 m = 10,3202 ft
Tinggi (H)	:	4,7184 m = 15,4802 ft
Tinggi Liquida	:	4,2894 m
Sistem Pengaduk		
Jenis	:	Flat Blade Turbin with disk
Jumlah blade	:	6 Buah
Kecepatan Putaran	:	30 rpm
Diameter Impeller	:	1,049 m
Power Motor	:	1 Hp
Effisiensi Motor	:	80%
Bahan	:	Carbon Steel
Jumlah	:	1 Buah

4. Clarifier

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

Type : Berbentuk silinder tegak dengan bagian bawah berbentuk conis.

Proses : Continue

Rate volumetrik (Q_3) = 133,2699 m^3/jam

Waktu tinggal = 1.5 - 2.5 jam

Acuan design pada partikel flokulan, maka didapatkan :

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

= 40 m^3/m^2.hari

= 1,667 m^3/m^2.jam

$$A = \frac{Q}{v}$$

$$= \frac{133,2699}{1,667}$$

$$= 79,96192 \ m^2$$

D = 10,0927 m ; r = 5,0463 m

Diameter pipa umpan masuk d' = 0,15 D

= 1,5139 m

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

$$= \frac{10,0927}{6}$$

= 1,6821 m

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

Dipilih s = 4 s'

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

Volume = 79,96192 x 1,6821

= 134,5051 m^3

$$\text{Waktu tinggal} = \frac{134,5051}{133,2699}$$

= 1,0093 jam

= 1 jam , memenuhi standart yaitu 1.5 - 2.5 jam

Dimensi Tangki

Volume air = 133,2699 x 1
= 133,26987 m^3

Direncanakan volume air = volume clarifier agar terjadi overflow

Volume tangki = 133,2699 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 Silinder, Vs = $\pi \times r^2 \times hs + 1/3 \times \pi \times r^2 \times hc$
133,2699 = 79,96192 hs + 15,679 hs
133,2699 = 95,64 hs
Hs = 1,3934 m
Hc = 0,6967 m

Check Volume :

Volume Tangki = Vs + Vcone (tutup bawah)
Volume Tangki = $\pi \times r^2 \times hs + 1/3 \times \pi \times r^2 \times hc$
= 111,4223 + 18,57
= 129,9927 m^3 **(memenuhi)**

Volume Tangki < 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	:	129,9927 m^3
Waktu Tinggal	:	1 jam
Dimensi		
Diameter silinder	:	10,0927 m
Tinggi silinder	:	1,3934 m

Tinggi conis : 0,6967 m
Diameter pipa umpan : 1,5139 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 133,26987 = 13,327 m^3/jam

Ditentukan : Waktu tinggal = 24 jam

Volume air dalam bak penampung :

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= 13,3270 x 24
= 319,8477 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

$$\text{Volume bak} = \frac{319,8477}{85\%}$$
= 376,2914 m^3

Asumsi :
Tinggi (H) = 1 L
Panjang (P) = 1,5 L

Volume bak penampung air = P x L x H
376,2914 = 1,5 L x L x L
250,8609 = L^3
L = 6,3068 m
H = 6,3068 m
P = 9,4602 m

Check volume

Volume bak = 9,4602 x 6,3068 x 6,3068
= 376,2914 m^3 **(memenuhi)**

Volume Bak > Volume liquida **(Memenuhi)**

Spesifikasi Bak Penampung Flok

Fungsi	:	Menampung flok dari clarifier.
Kapasitas	:	376,2914 m^3
Bentuk	:	Bak berbentuk persegi panjang terbuka
Dimensi		
Panjang (P)	:	9,4602 m
Lebar (L)	:	6,3068 m
Tinggi (H)	:	6,3068 m
Bahan Konstruksi	:	Beton
Jumlah	:	1 Buah

6. Bak Penampung Air 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 133,270
= 119,94 m^3/jam

Ditentukan : Waktu tinggal = 1 jam

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

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= 119,9429 x 1
= 119,9429 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

Volume bak $= \dfrac{119,9429}{85\%}$
= 141,1093 m^3

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

Volume bak penampung air = P x L x H
141,1093 = 2 L x L x L
70,5546 = L^3

L = 4,1321 m
H = 4,1321 m
P = 8,2643 m

Check volume

Volume bak = 8,2643 x 4,1321 x 4,1321
= 141,11 m^3 **(memenuhi)**

Volume Bak > Volume liquida **(Memenuhi)**

Spesifikasi Bak Penampung Air Bersih :

Fungsi	:	Menampung air bersih dari clarifier.
Kapasitas	:	141,1093 m^3
Bentuk	:	Bak berbentuk persegi panjang terbuka
Dimensi		
Panjang (P)	:	8,2643 m
Lebar (L)	:	4,1321 m
Tinggi (H)	:	4,1321 m
Bahan Konstruksi	:	Beton
Jumlah	:	1 Buah

7. Sand Filter

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

Bentuk : Silinder dengan tutup atas dan bawah dished

Waktu tinggal = 15 menit = 0,250 jam

Rate Volumetrik, (Q_6) = 119,9429 m^3/jam

Asumsi : Jumlah flok 1% dari debit yang masuk

Jumlah flok = 1% x 119,9429
= 1,1994 m^3/jam

Volume air bersih = 119,9429 - 1,1994
= 118,7435 m^3/jam

Volume air yang ditampung = 118,7435 x 0,250
= 29,6859 m^3
= 130,7039 gpm

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

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

$$= \frac{130,7039}{12}$$

$= 10,892 \quad ft^2$

$$\text{Diameter} = \sqrt{4x\frac{A}{\pi}}$$

$= 3,7249 \quad m$

Tinggi lapisan dalam kolom, ditentukan :

Lapisan Gravel	=	0,3	m
Lapisan Pasir	=	0,7	m
Lapisan antrasit	=	0,5	m
Tinggi Air	=	2	m
Tinggi Lapisan	=	3,5	m

Kenaikan akibat back wash = 25% dari tinggi pasir dan lapisan antrasit
= 0,3000 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
= 3,5 + 0,3000 + 0,3 + 0,3
= 4,4000 m

Spesifikasi Sand Filter :

Fungsi	:	Menyaring padatan yang tersuspensi dalam air degan menggunakan penyaring
Bentuk	:	Silinder dengan tutup atas dan bawah dished
Kapasitas	:	29,686 m^3
Jumlah	:	2 Buah
Dimensi		
Luas bed	:	10,892 ft^2
Diameter	:	3,7249 m
Tinggi lapisan	:	3,500 m
Tinggi silinder	:	4,400 m
Tinggi backwash	:	0,300 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 119,94
= 118,74 m^3/jam

Ditentukan : Waktu tinggal = 1 jam

Volume air dalam bak penampung :

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= 118,7435 x 1
= 118,7435 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

$$\text{Volume bak} = \frac{118{,}7435}{85\%}$$

= 139,6982 m^3

Asumsi :
Tinggi (H) = 1 L
Panjang (P) = 2 L
Volume bak penampung air = P x L x H
139,6982 = 2 L x L x L
69,8491 = L^3
L = 4,1183 m
H = 4,1183 m
P = 8,2366 m

Check volume

Volume bak = 8,2366 x 4,1183 x 4,1183
= 139,698 m^3 **(memenuhi)**

Volume Bak > Volume Liquida **(Memenuhi)**

Spesifikasi Bak Penampung Air Bersih :

Fungsi : Menampung air bersih dari sand filter.
Kapasitas : 139,6982 m^3
Bentuk : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.

Dimensi

Panjang (P)	:	8,2366	m
Lebar (L)	:	4,1183	m
Tinggi (H)	:	4,1183	m
Bahan Konstruksi	:	Beton	
Jumlah	:	1 Buah	

9. Bak Penampung Air Bersih untuk Sanitasi

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

Bentuk : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.

Rate Volumetrik = 48,7680 m^3/har = 48.768,0000 L/hari
= 2,0320 m^3/jam

Waktu tinggal = 1 hari
= 24 jam

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

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= 2,0320 x 24
= 48,768 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

Volume bak $= \frac{48,768}{85\%}$
= 57,3741 m^3

Asumsi :

Tinggi (H) = 1 L

Panjang (P) = 2 L

Volume bak penampung air = P x L x H
57,3741 = 2 L x L x L
28,6871 = L^3
L = 3,0612 m
H = 3,0612 m
P = 6,1225 m

Check volume

Volume bak = 6,1225 x 3,0612 x 3,0612

= 57,3741 m^3 **(memenuhi)**

Volume Bak > Volume Liquida **(Memenuhi)**

Untuk membunuh kuman digunakan desinfektan jenis *chlorine* dengan kebutuhan *chlorine* sebesar = 200 mg/L **(Wesley : Page 96)**

Jumlah *chlorine* yang harus ditambahkan = 200 mg/L, maka per tahun perlu ditambahkan *chlorine* sebanyak :

= 200 mg/L x 48.768 L/hari x 330 hari/tahun
= 3.218.688.000 mg/tahun
= 3.219 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 (chlorin).
Bentuk	:	Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.
Waktu tinggal	:	1 hari = 24 jam
Kapasitas	:	57,3741 m^3

Dimensi

Panjang (P)	:	6,1225 m
Lebar (L)	:	3,0612 m
Tinggi (H)	:	3,0612 m
Bahan Konstruksi	:	Beton
Jumlah	:	1 Unit

10. Kation Exchanger

Fungsi : Mengurangi kesadahan air dikarenakan 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 = 0,3240 gram/gal
= (1 grain = 0.0648 gram)

Jumlah air yang diproses = 129,5081 m^3/hari
= 34.216,045 gallon/hari

Jumlah $CaCO_3$ dalam air = 0,3240 gram/gal x 34.216,0 gallon/hari
= 11.085,9986 gram/hari

Dipilih bahan pelunak :

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

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

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

$$\text{Berat ekuivalen} = \frac{\text{BM}}{\text{jumlah elektron}}$$ **(Underwood : 51)**

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

BM $CaCO_3$ = 100 gr/mol

$$\text{Berat ekuivalen} = \frac{\text{BM}}{\text{Elektron}} = \frac{100}{2} = 50$$

$$\text{ek (ekuivalen)} = \frac{11.085,9986}{50} = 221,7200 \text{ ek}$$

$$\text{Resin yang diperlukan} = \frac{221,7200 \text{ ek}}{1,8 \text{ ek/L resin}}$$

= 123,1778 L resin/hari

Karena regenerasi dilakukan setiap 3 bulan sekali, maka :

3 bulan = 90 hari

Kebutuhan resin setiap 3 bulan = 123,178 L resin/hai x 90 hari
= 11.085,9986 L resin
= 11,0860 m^3

<u>Cara Kerja</u>

Air dilewatkan pada kation exchanger yang berisi resin positif sehingga ion posi tif tertukar dengan resin positif.

Asumsi :

H = 2 D

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

11,0860	=	0,785	x D^2 x 2D
11,0860	=	1,57	D^3
D	=	1,9185	m
H	=	3,8370	m

Regenerasi Dowex

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	=	11.085,9986 L Resin (3 bulan)
Densitas Resin	=	1,2 kg/L
Massa Resin	=	Volume x Densitas
	=	11.085,9986 x 1,2
	=	13303,1983 kg

Volume resin yang di regenerasi	=	11.086 L Resin
Ekivalen Total Ca^{2+}	=	Volume Resin x Kapasitas Resin
	=	11.085,9986 x 1,8
	=	19954,7974 ek

Mol Total Ca^{2+}

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

$$= \frac{19954{,}7974 \text{ ek}}{2 \text{ ek/mol}}$$

$$= 9977{,}3987 \text{ mol}$$

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

Maka kebutuhan HCl = 2 x 9977,3987 (Dalam mol)
= 19954,7974 mol

Kebutuhan HCl = Mol HCl x BM HCl
= 19954,7974 x 36,5
= 728350,1059 gram
= 728,3501 kg

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

$$33\% = \frac{728,3501}{\text{Massa Total}}$$

Massa Total = 2207,1215 kg

dengan ρ HCl = 1,268 kg/L **(Perry 7ed ; T.2-57)**

Jadi ρ campuran = % HCl x ρ HCl + % H_2O x ρ H_2O
= 33% x 1,268 + 67% x 1
= 1,0884 gr/ml
= 1,0884 kg/L

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

$$= \frac{2207,1215}{1,0884}$$

= 2027,7843 L

Volume tangki HCl = 1,2 x 2.027,7843
= 2.433,3411 L
= 2,4333 m^3

Asumsi :
H = 2 D

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

2,4333 = 0,785 x D^2 x 2D
2,4333 = 1,57 D^3
D = 1,1573 m
H = 2,3145 m

Spesifikasi Kation Exchanger :

Fungsi	:	Mengurangi kesadahan air dikarenakan garam-garam Ca^{2+} Kandungan $CaCO_3$ dari pengolahan air sekitar 5 grain/gallon (Kirk Othmer,Vol.11:887). Kandungan ini sedianya dihilangkan dengan resin dowex bentuk granular, agar sesuai dengan syarat air boiler.
Bentuk	:	Silinder tegak
Kapasitas resin	:	11,0860 m^3/3bulan
Jumlah	:	1 Buah
Waktu regenerasi resin	:	3 Bulan
Dimensi resin		
Tinggi	:	3,8370 m
Diameter	:	1,9185 m
Dimensi tangki HCl		
Tinggi	:	2,3145 m
Diameter	:	1,1573 m
Bahan konstruksi	:	Stainless Steel type 316

11. Anion Exchanger

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

Kandungan $CaCO_3$ = 5 grain/gal = 0,3240 gram/gal
= (1 grain = 0.0648 gram)

Jumlah air yang diproses = 129,5081 m^3/hari
= 34.216,045 gallon/hari

Jumlah $CaCO_3$ dalam air = 0,3240 gram/gal x 34.216 gallon/hari
= 11.085,9986 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-} .

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

$$\text{Berat ekuivalen} = \frac{\text{BM}}{\text{jumlah elektron}}$$ **(Underwood : 51)**

Untuk $CaCO_3$, 1 mol CO_3 melepas 2 elektron : CO_3^{2-} , sehingga elektron = 2

BM $CaCO_3$ = 100 gr/mol

$$\text{Berat ekuivalen} = \frac{\text{BM}}{\text{Elektron}} = \frac{100}{2} = 50$$

$$\text{ek (ekuivalen)} = \frac{11.085,9986}{50} = 221,7200 \text{ ek}$$

$$\text{Resin yang diperlukan} = \frac{221,7200 \text{ ek}}{2 \text{ ek/L resin}}$$

= 110,8600 L resin/hari

Karena regenerasi dilakukan setiap 3 bulan sekali, maka :

3 bulan = 90 hari

Kebutuhan resin setiap 3 bulan = 110,860 L resin/hai x 90 hari
= 9.977,3987 L resin
= 9,9774 m^3

Cara Kerja

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

Asumsi :

H = 2 D

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

$$9,9774 = 0,785 \times D^2 \times 2D$$

$$9,9774 = 1,57 \; D^3$$

$$D = 1,8523 \text{ m}$$

$$H = 3,7046 \text{ m}$$

Regenerasi Dowex

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

$$R - OH + HX \rightarrow R - X + H_2O$$

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	=	9.977,3987 L Resin	(3 bulan)
Densitas Resin	=	1,06 kg/L	
Massa Resin	=	Volume x Densitas	
	=	9.977,3987 x 1,06	
	=	10576,0426 kg	

Volume resin yang di regenerasi	=	9.977,3987 L Resin
Ekivalen Total Ca^{2+}	=	Volume Resin x Kapasitas Resin
	=	9.977,3987 x 2
	=	19954,7974 ek

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

$= \dfrac{19954,7974 \text{ ek}}{2 \text{ ek/mol}}$

= 9977,3987 mol

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

Maka kebutuhan NaOH = 2 x 9977,3987
(Dalam mol) = 19954,7974 mol

Kebutuhan NaOH	=	Mol NaOH x BM NaOH
(Dalam kg)	=	19954,7974 x 40
	=	798191,8969 gram
	=	798,1919 kg

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

40% = $\dfrac{798{,}1919}{\text{Massa Total}}$

Massa Total = 1995,4797 kg

dengan ρ NaOH = 1,327 gr/ml

Jadi ρ campuran = % NaOH x ρ NaOH + % H_2O x ρ H_2O
= 40% x 1,327 + 60% x 1
= 1,1308 gr/ml
= 1,1308 kg/L

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

= $\dfrac{1995{,}4797}{1{,}1308}$

= 1764,6620 L

Volume tangki NaOH = 1,2 x 1.764,6620
= 2.117,5943 L
= 2,1176 m^3

Asumsi :
H = 2 D

Volume Tangki = $\dfrac{\pi}{4}$ x D^2 x H

2,1176 = 0,785 x D^2 x 2D
2,1176 = 1,57 D^3
D = 1,1049 m
H = 2,2098 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 dengan resin dowex bentuk granular, agar sesuai dengan syarat air boiler.

Bentuk : Silinder tegak

Kapasitas resin : 9,9774 m^3/3bulan
Jumlah : 1 Buah
Waktu regenerasi resin : 3 Bulan

Dimensi resin

Tinggi : 3,7046 m
Diameter : 1,8523 m

Dimensi tangki NaOH

Tinggi : 2,2098 m
Diameter : 1,1049 m
Bahan konstruksi : Stainless Steel type 316

12. 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.

Rate Volumetrik = 129,508 m^3/har = 129.508,119 L/hari
= 5,3962 m^3/jam

Waktu tinggal = 12 jam

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

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= 5,3962 x 12
= 64,7541 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

Volume bak $= \dfrac{64,7541}{85\%}$
= 76,1812 m^3

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

Volume bak penampung air = P x L x H
76,1812 = 2 L x L x L
38,0906 = L^3

L = 3,3646 m
H = 3,3646 m
P = 6,7293 m

Check volume

Volume bak = 6,7293 x 3,3646 x 3,3646
= 76,1812 m^3 **(memenuhi)**

Volume Bak > Volume Liquida (**Memenuhi**)

Spesifikasi Bak Penampung Air Demineralisasi :

Fungsi	:	Menampung air lunak dari kation-anion exchanger yang ak an digunakan dijadikan sebagai air umpan boiler.
Bentuk	:	Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari beton.
Waktu tinggal	:	12 jam
Kapasitas	:	76,181 m^3
Dimensi		
Panjang (P)	:	6,7293 m
Lebar (L)	:	3,3646 m
Tinggi (H)	:	3,3646 m
Bahan Konstruksi	:	Beton
Jumlah	:	1 Buah

13. Bak Penampung Air Proses

Fungsi : Menampung air lunak dari kation-anion exchanger yang akan digunak an sebagai air proses.

Bentuk : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari Beton.

Rate Volumetrik = 2116,5 m^3/har = 2.116.475 L/hari
= 88,2 m^3/jam

Waktu tinggal = 12 jam

__**Volume air dalam bak penampung :**__

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= 88,1865 x 12
= 1058,2376 m^3

Volume bak penampung direncanakan 85% terisi air

$$\text{Volume bak} = \frac{1058,2376}{85\%}$$

= 1244,9854 m^3

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

Volume bak penampung air = P x L x H
1244,9854 = 2 L x L x L
622,4927 = L^3
L = 8,5384 m
H = 8,5384 m
P = 17,0769 m

Check volume
Volume bak = 17,0769 x 8,5384 x 8,5384
= 1245,0 m^3 **(memenuhi)**
Volume Bak > Volume Liquida **(Memenuhi)**

Spesifikasi Bak Penampung Air Proses :

Fungsi	:	Menampung air lunak dari kation-anion exchanger yang akan digunakan sebagai air proses.
Bentuk	:	Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari Beton.
Waktu tinggal	:	12 jam
Kapasitas	:	1245,0 m^3
Dimensi		
Panjang (P)	:	17,0769 m
Lebar (L)	:	8,5384 m
Tinggi (H)	:	8,5384 m
Bahan Konstruksi	:	Beton
Jumlah	:	1 Buah

14. Bak Penampung Air Pendingin
Fungsi : Menampung air pendingin dari cooling tower untuk pendingin.
Bentuk : Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari Beton.

Rate Volumetrik = 666,5454 m^3/hari
= 27,7727 m^3/jam

Waktu tinggal = 1 jam

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

Volume air = Rate volumetrik x waktu tinggal
= 27,7727 x 1
= 27,7727 m^3

Volume bak penampung direncanakan 80% terisi air

Volume bak $= \dfrac{27,7727}{80\%}$
= 34,7159 m^3

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

Volume bak penampung air = P x L x H
34,7159 = 2 L x L x L
17,3580 = L^3
L = 2,5892 m
H = 2,5892 m
P = 5,1784 m

Check volume

Volume bak = 5,1784 x 2,5892 x 2,5892
= 34,7159 m^3 **(memenuhi)**

Volume Bak > Volume Liquida **(Memenuhi)**

Spesifikasi Bak Penampung Air Pendingin :

Fungsi : Menampung air pendingin dari cooling tower untuk pendingin.
Bentuk Bak berbentuk persegi panjang terbuat dari Beton.
Waktu tinggal : 1 jam
Kapasitas : 34,7159 m^3

Dimensi

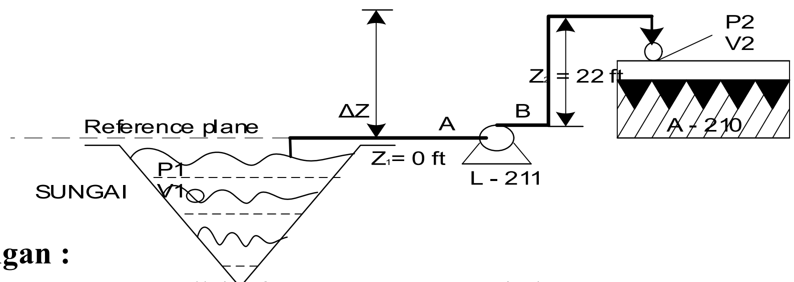
Panjang (P) : 5,1784 m
Lebar (L) : 2,5892 m

Tinggi (H) : 2,5892 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 = 62,430 lb/cuft = 1,0001 g/ml
Densitas air 30 °C = 86 °F = 995,2944 kg/m³
(Badger ; App.9 : 733)

Bahan masuk = 148,0648 m^3/jam x 995,2944 kg/m³
= 147.368,1052 kg/jam
= 324.887,725 lb/jam

Densitas air 62,14 °C = 143,9 °F ***(Badger; App 9, hal 733)***

$$\frac{86 - 85}{90 - 85} = \frac{x - 62,14}{62,12 - 62,14}$$

$$\frac{1}{5} = \frac{x - 62,14}{-0,02}$$

-0,02 = 5 x - 310,7
x = 62,136 lb/cuft
x = 995,294448 kg/m³

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

$= \frac{324.887,725 \text{ lb/jam}}{62,430 \text{ lb/cuft}}$

= 1.301,0080 cuft/jam 5 unit pump
= 21,6835 cuft/menit
= 162,2032 gpm
= 0,3614 cuft/detik

$$\text{Sg Bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} = \frac{62{,}430}{62{,}43} = 1{,}0000$$

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

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu \text{ reference} = \frac{1{,}000}{1} \times 0{,}95$$

= 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 = $3{,}9 \times 0{,}3614^{0{,}45} \times 62{,}4300^{0{,}1}$
= 4,2224 in

Dipilih pipa 6 in, sch 80 **(Brownell & Young, Page 389)**

OD = 6,6250 in
ID = 5,761 in = 0,480083 ft = 0,1463 m

A = $(^1/_4 \times \pi \times ID^2)$
= $1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}4801^2$
= 0,1809 ft^2

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

$$= \frac{0,3614}{0,1809}$$

$= 1,9974$ ft/detik

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

$$= \frac{0,4801 \times 1,9974 \times 62,4300}{0,0006}$$

$= 93.780 > 2100$ **(Asumsi turbulen benar)**

(Geankoplis 3ed ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, $\varepsilon = 0,000046$ m

$\varepsilon/D = 0,0003$

$f = 0,0038$ **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,4801 ft

Taksiran panjang pipa lurus							=	9842,5	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,4801	=	46,0880	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,4801	=	3,3606	ft
Panjang Total Pipa							=	9891,9486	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 3^{ed}, Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0038 \times 1{,}9974^2 \times 9891{,}9486}{32{,}1740 \times 0{,}4801}$$

$$= \frac{299{,}9470}{15{,}4462}$$

$$= 19{,}4188 \ \text{ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

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 = 0,4 ; A tangki >>> A pipa **[Peters 4[ed] ; Page 484]**

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen **[Peters 4[ed] ; Page 484]**

$$= \frac{0{,}4 \times 1{,}9974^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= 0{,}0248 \ \text{ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

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

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3[ed], Pers. 2.10-15)**

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

$$= \frac{1{,}9974^2 - 0}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= \frac{3{,}9898}{64{,}3480}$$

$$= 0{,}0620 \ \text{ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}75 \times 3{,}99}{2}$$

$$= 1{,}4962 \ \text{ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

5. Friksi karena Gate Valve

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 3{,}99}{2}$$

$$= 0{,}3391 \ \text{ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5$
$= 19{,}4188 + 0{,}0248 + 0{,}0620 + 1{,}496 + 0{,}3391$
$= 21{,}3409$ $ft.lb_f / lb_m$
1 atm = 14,7 x 144 lbf/ft^2 = 2116,8 lbf/ft^2

P_1 = P atm + P hidrotatis — Tinggi bahan = 2 m
= 1 atm + (ρ x H x g/gc) — = 6,5617 ft
= 2526,4457 lbf/ft^2

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

$\Delta P = P_1 - P_2$
= 2.526,4457 - 2.116,8000
= 409,6457 lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{409{,}6457 \ lbf/ft^2}{62{,}4300 \ lb/cuft} = 6{,}5617 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 0,0000 ft
Z_2 = 3,7865 m = 12,4230 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2
gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{1{,}9974^2}{2 \times 1 \times 32{,}1740} = 0{,}0620 \ ft.lb_f / lb_m$$

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

$$= (12{,}4230 - 0{,}0000) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 12{,}4230 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 6{,}5617 + 12{,}4230 + 0{,}0620 + 21{,}3409$$

$$= 40{,}3876 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Sg campuran (Himmelblau : Berdasarkan Sg bahan) = 1,0000
Rate volumetrik = 162,2032 gpm

$$Hp = \frac{- Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$ **(Perry 6ed ; Pers 6-11, Page 6-5)**

$$= \frac{40{,}3876 \times 162{,}2032 \times 1{,}0000}{3960}$$

$$= 1{,}6543 \text{ Hp}$$

Rate volumetrik = 162,2032 gpm
Viskositas (μ) = 0,9500 Cp = 0,9500 Cs

Effisiensi Pompa = 80% **(Peters 4ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{1{,}7}{80\%}$$

$$= 2{,}1 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 83% **(Peters 4ed ; Figure 14 - 38 Page 521)**

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

$$= \frac{2{,}1}{83\%}$$

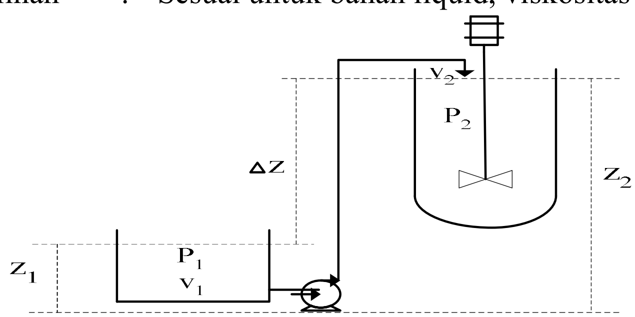
$$= 2{,}5 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Air Sungai :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari sungai ke bak penampung air sungai.
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	1.301,01 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	1,9974 ft/detik
Total Dynamic Head	:	40,3876 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	83%
Effisiensi Pompa	:	80%
Power Motor	:	2,5 Hp
BHp	:	2,1 Hp
Jumlah	:	5 Buah

2. Pompa Tangki Koagulasi

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



Perhitungan :

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1,0001 g/ml

Densitas air 30 °C = 86 °F = 995,2944 kg/m³

(Badger ; App.9 : 733)

Bahan masuk = 133,2583 m^3/jam x 995,2944 kg/m³
= 132.631,2947 kg/jam
= 292.401,6048 lb/jam

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

$= \frac{292.401,6048 \text{ lb/jam}}{62,430 \text{ lb/cuft}}$

= 1.170,9178 cuft/jam 4 unit pompa

= 19,5153 cuft/menit
= 145,9842 gpm
= 0,3253 cuft/detik

$$\text{Sg Bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference}} = \frac{62,430}{62,43} = 1,0000$$

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

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

$$= \frac{1,000}{1} \times 0,95$$

= 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 = $3,9 \times 0,3253^{0,45} \times 62,4300^{0,1}$
= 4,0269 in

Dipilih pipa 6 in, sch 40 **(Brownell & Young, Page 389)**
OD = 6,6250 in
ID = 6,065 in = 0,5054 ft = 0,1541 m

A = $(^1/_4 \times \pi \times ID^2)$
= $1/4 \times 3,14 \times 0,5054^2$
= 0,2005 ft^2

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

$= \dfrac{0,3253}{0,2005}$

$=$ 1,6220 ft/detik

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

$= \dfrac{0,5054 \times 1,6220 \times 62,4300}{0,0006}$

= 80.172 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

(Geankoplis 3[ed] ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0003

f = 0,0048 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,5054 ft

				Taksiran panjang pipa lurus				=	35	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,5054		=	48,5200	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,5054		=	3,5379	ft
Panjang Total Pipa								=	78,5200	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 3[ed], Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0048 \times 1{,}6220^2 \times 78{,}5200}{32{,}1740 \times 0{,}5054}$$

$$= \frac{6{,}0670}{16{,}2613}$$

$$= 0{,}3731 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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 = 0,4 ; A tangki >>> A pipa **[Peters 4[ed] ; Page 484]**

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen **[Peters 4[ed] ; Page 484]**

$$= \frac{0{,}4 \times 1{,}6220^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= 0{,}0164 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3[ed], Pers. 2.10-15)**

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

$$= \frac{1{,}6220^2 - 0}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= \frac{2{,}6309}{64{,}3480}$$

$$= 0{,}0409 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}75 \times 2{,}63}{2}$$

$$= 0{,}9866 \quad ft.lb_f / lb_m$$

5. Friksi karena Gate Valve

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 2{,}63}{2}$$

$$= 0{,}2236 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$= 0{,}3731 + 0{,}0164 + 0{,}0409 + 0{,}987 + 0{,}2236$$

$$= 1{,}6406 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$1\ atm = 14{,}7 \times 144\ lbf/ft^2 = 2116{,}8\ lbf/ft^2$

ρ bahan = 62,4300 lb/cuft = 1,0001 gr/ml

$$P_1 = 1\ atm + (\rho \times H \times g/gc)$$

$$= 2979{,}9163 \quad lbf/ft^2$$

$$P_2 = 1\ atm$$

$$= 2116{,}8 \quad lbf/ft^2$$

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$= 2.979{,}9163 - 2.116{,}8000$$

$$= 863{,}1163 \quad lbf/ft^2$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{863{,}1163\ lbf/ft^2}{62{,}4300\ lb/cuft}$$

$$= 13{,}8253 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 13,8253 ft
Z_2 = 30,0000 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2
gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{1{,}6220^2}{2 \times 1 \times 32{,}1740}$$

$= 0{,}0409 \quad ft.lb_f / lb_m$

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

$$= (30{,}0000 - 13{,}8253) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 16{,}1747 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 13{,}8253 + 16{,}1747 + 0{,}0409 + 1{,}6406$$

$$= 31{,}6815 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Sg campuran (Himmelblau : Berdasarkan Sg bahan) = 1,0000
Rate volumetrik = 145,9842 gpm

$$Hp = \frac{- Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$ **(Perry 6ed ; Pers 6-11, Page 6-5)**

$$= \frac{31{,}6815 \times 145{,}9842 \times 1{,}0000}{3960}$$

$$= 1{,}1679 \quad Hp$$

Rate volumetrik = 145,9842 gpm
Viskositas (μ) = 0,0006 Cp = 0,0006 Cs

Effisiensi Pompa = 80% **(Peters 4ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{1{,}2}{80\%}$$

$$= 1{,}5 \quad Hp$$

Effisiensi motor = 82% **(Peters 4ed ; Figure 14 - 38 Page 521)**

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

$$= \frac{1{,}460}{82\%}$$

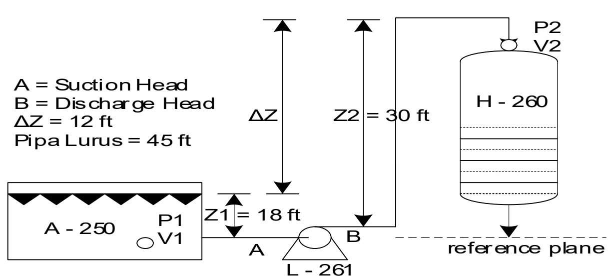
$$= 2 \quad \text{Hp}$$

Spesifikasi Pompa Tangki Koagulasi :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung air sungai ke tangki koagulasi.	
Type	:	Centrifugal Pump	
Bahan	:	Commercial Steel	
Rate Volumetrik	:	1.171	cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	1,6220	ft/detik
Total Dynamic Head	:	31,6815	ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	82%	
Effisiensi Pompa	:	80%	
Power Motor	:	2	Hp
BHp	:	1,5	Hp
Jumlah	:	4	Buah

3. Pompa Sand Filter

Fungsi = Mengalirkan bahan dari bak penampung air bersih ke sand filter
Type = Centrifugal Pump
Dasar pemilihan = Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.



Perhitungan :

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1,0001 g/ml
Densitas air 30 °C = 86 °F = 995,2944 kg/m³
(Badger ; App.9 : 733)

Bahan masuk = 119,9429 m^3/jam x 995,2944 kg/m³
= 119.378,4832 kg/jam

= 263.181,8040 lb/jam

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

$= \frac{263.181,8040 \text{ lb/jam}}{62,430 \text{ lb/cuft}}$

= 2.107,8152 cuft/jam (digunakan 2 pompa)

= 35,1303 cuft/menit

= 262,8094 gpm

= 0,5855 cuft/detik

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

$= \frac{62,430}{62,43} =$ 1,0000

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

$= \frac{1,000}{1} \times 0,95$

= 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 $= 3,9 \times 0,5855^{0,45} \times 62,4300^{0,1}$

= 5,2463 in

Dip **(Brownell & Young, Page 389)**

OD = 10,7500 in

ID = 10,2500 in = 0,8542 ft = 0,2604 m

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

$= 1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}8542^2$

$= 0{,}5727 \ ft^2$

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

$= \dfrac{0{,}5855}{0{,}5727}$

$= 1{,}0223$ ft/detik

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

$$= \frac{0{,}8542 \times 1{,}0223 \times 62{,}4300}{0{,}0006}$$

$= 85.396 > 2100$ **(Asumsi turbulen benar)**

(Geankoplis 3ed ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, $\varepsilon = 0{,}000046$ m

$\varepsilon/D = 0{,}0002$

$f = 0{,}0040$ **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,8542 ft

				Taksiran panjang pipa lurus				=	45	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,8542		=	82,0000	ft
1 Globe Valve	=	1	x	300	x	0,8542		=	256,2500	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,8542		=	5,9792	ft
Panjang Total Pipa								=	389,2292	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 3[ed], Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0,0040 \times 1,0223^2 \times 389,2292}{32,1740 \times 0,8542}$$

$$= \frac{3,2542}{27,4820}$$

$$= 0,1184 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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 = 0,4 ; A tangki >>> A pipa **[Peters 4[ed] ; Page 484]**

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen **[Peters 4[ed] ; Page 484]**

$$= \frac{0,4 \times 1,0223^2}{2 \times 1,0 \times 32,1740}$$

$$= 0,0065 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3[ed], Pers. 2.10-15)**

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

$$= \frac{1,0223^2 - 0}{2 \times 1,0 \times 32,1740}$$

$$= \frac{1,0451}{64,3480}$$

$$= 0,0162 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena elbow 90^o

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0,75 \times 1,05}{2}$$

$$= 0,3919 \quad ft.lb_f / lb_m$$

5. Friksi karena Globe Valve

$$F_4 = \frac{K_f \quad x \quad V_1^2}{2} = \frac{6 \quad x \quad 1,05}{2}$$

$= \quad 3,1352 \quad ft.lb_f / lb_m$

6. Friksi karena Gate Valve

$$F_4 = \frac{K_f \quad x \quad V_1^2}{2} = \frac{0,17 \quad x \quad 1,05}{2}$$

$= \quad 0,0888 \quad ft.lb_f / lb_m$

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$
$= 0,1184 + 0,0065 + 0,0162 + 0,3919 + 3,1352$
$+ 0,0888$
$= 3,7571 \quad ft.lb_f / lb_m$

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

P_1 = 1 atm + (ρ x H x g/gc)
= 2995,373719 lbf/ft^2

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

ρ bahan = 62,4300 lb/cuft = 1,0001 gr/ml

$\Delta P = P_2 - P_1$
= 2.116,8000 - 2.995,3737
= 878,5737 lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{878,5737 \quad lbf/ft^2}{62,4300 \quad lb/cuft} = 14,0729 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 18 ft
Z_2 = 30 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2

gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{1,0223^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 0,0162 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$= (30 - 18) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 12,0000 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 14,0729 + 12,0000 + 0,0162 + 3,7571$$

$$= 29,8463 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Sg campuran (Himmelblau : Berdasarkan Sg bahan) = 1,0000

Rate volumetrik = 262,8094 gpm

$$Hp = \frac{- Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$ **(Perry 6ed ; Pers 6-11, Page 6-5)**

$$= \frac{29,8463 \times 262,8094 \times 1,0000}{3960}$$

$$= 1,9808 \quad Hp$$

Rate volumetrik = 262,8094 gpm

Viskositas (μ) = 1,0000 Cp = 1,0000 Cs

Effisiensi Pompa = 80% **(Peters 4ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

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

$$= 2 \quad Hp$$

Effisiensi motor = 84% **(Peters 4ed ; Figure 14 - 38 Page 521)**

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

$$= \frac{2}{84\%}$$

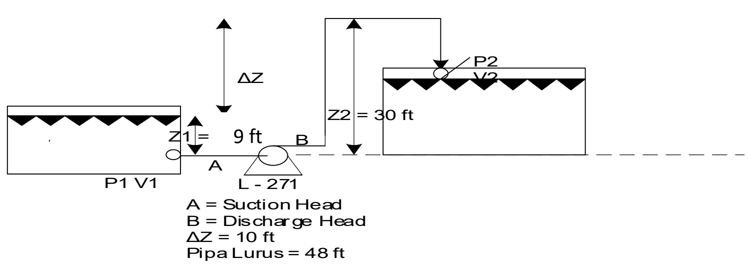
$$= 3 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Sand Filter :

Fungsi	:	Mengalirkan bahan dari bak penampung air bersih ke sand filter.
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	2.108 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	1,0223 ft/detik
Total Dynamic Head	:	29,8463 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	84%
Effisiensi Pompa	:	80%
Power Motor	:	3 Hp
BHp	:	2 Hp
Jumlah	:	2 Buah

4. Pompa Bak Penampung Air Sanitasi

Fungsi	:	Mengalirkan bahan dari bak penampung air jernih ke bak penampung air sanitasi
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.



Perhitungan :

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1,0001 g/ml

Densitas air 30 °C = 86 °F = 995,2944 kg/m³
(Badger ; App.9 : 733)

Bahan masuk = 2,0320 m^3/jam x 995,2944 kg/m³
= 2.022,4383 kg/jam
= 4.458,7080 lb/jam

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

$= \dfrac{4.458,7080 \text{ lb/jam}}{62,430 \text{ lb/cuft}}$

= 71,4193 cuft/jam
= 1,1903 cuft/menit
= 8,9042 gpm
= 0,0198 cuft/detik

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

$= \dfrac{62,430}{62,43}$

= 1,0000

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

$= \dfrac{1,000}{1} \times 0,95$

= 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 = $3,9 \times 0,0198^{0,45} \times 62,4300^{0,1}$
= 1,1438 in

Dipilih pipa 1 in, sch 10 **(Brownell & Young, Page 387)**

OD = 1,3150 in
ID = 1,0970 in = 0,0914 ft = 0,0279 m

$A = (^1/_4 \times \pi \times ID^2)$
$= 1/4 \times 3,14 \times 0,0914^2$
$= 0,0066 \text{ ft}^2$

Kecepatan Aliran (v) $= \dfrac{q_f}{A}$
$= \dfrac{0,0198}{0,0066}$
= 3,0241 ft/detik

$NRe = \dfrac{D\ v\ \rho}{\mu}$
$= \dfrac{0,0914 \times 3,0241 \times 62,4300}{0,0006}$
= 27.035,7237 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**
(Geankoplis 3ed ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m
ε/D = 0,0017
f = 0,0060 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**
gc = 32,1740 $\text{ft.lbm/detik}^2\text{.lbf}$

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^o	32
Gate valve open	7
Globe valve open	300

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,0914 ft

Taksiran panjang pipa lurus							=	70	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,0914	=	8,7760	ft
1 Globe Valve	=	1	x	300	x	0,0914	=	27,4250	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,0914	=	0,6399	ft
Panjang Total Pipa							=	106,8409	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 3^{ed}, Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0060 \times 3{,}0241^2 \times 106{,}8409}{32{,}1740 \times 0{,}0914}$$

$$= \frac{11{,}7248}{2{,}9412}$$

$$= 3{,}9863 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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 = 0,4 ; A tangki >>> A pipa **[Peters 4^{ed} ; Page 484]**

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen **[Peters 4^{ed} ; Page 484]**

$$= \frac{0{,}4 \times 3{,}0241^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= 0{,}0568 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3^{ed}, Pers. 2.10-15)**

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

$$= \frac{3{,}0241^2 - 0}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= \frac{9{,}1450}{64{,}3480}$$

$= 0{,}1421 \quad ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}75 \times 9{,}145}{2}$$

$= 3{,}4294 \quad ft.lb_f / lb_m$

5. Friksi karena Globe Valve

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{6 \times 9{,}145}{2}$$

$= 27{,}4351 \quad ft.lb_f / lb_m$

6. Friksi karena Gate Valve

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 9{,}145}{2}$$

$= 0{,}7773 \quad ft.lb_f / lb_m$

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$

$= 3{,}9863 + 0{,}0568 + 0{,}1421 + 3{,}4294 + 27{,}4351 + 0{,}7773$

$= 35{,}8271 \quad ft.lb_f / lb_m$

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

P_1 = 1 atm + (ρ + H + g/gc)

= 2960,326315 lb/ft^2

P_2 = 1 atm

= 2116,8 lbf/ft^2

ρ bahan = 62,4300 lb/cuft = 1,0001 gr/ml

ΔP = P1 - P2

= 2.960,3263 - 2.116,8000

$= 843{,}5263 \quad lbf/ft^2$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{843{,}5263 \; lbf/ft^2}{62{,}4300 \; lb/cuft}$$

$$= 13{,}5116 \; \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 9 ft
Z_2 = 30 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2
gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3{,}0241^{\;2}}{2 \times 1 \times 32{,}1740}$$

$$= 0{,}1421 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$= (30{,}0000 - 9{,}0000) \times 1 \; \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 21{,}0000 \; \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 13{,}5116 + 21{,}0000 + 0{,}1421 + 35{,}8271$$

$$= 70{,}4808 \; \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Sg campuran (Himmelblau : Berdasarkan Sg bahan) = 1,0000
Rate volumetrik = 8,9042 gpm

$$Hp = \frac{- Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$ **(Perry 6ed ; Pers 6-11, Page 6-5)**

$$= \frac{70{,}4808 \times 8{,}9042 \times 1{,}0000}{3960}$$

$$= 0{,}1585 \; Hp = 0{,}17 \; Hp$$

Rate volumetrik = 8,9042 gpm
Viskositas (μ) = 1,0000 Cp = 1,0000 Cs

Effisiensi Pompa = 20% **(Peters 4[ed] ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{0{,}1655}{20\%}$$

$$= 0{,}8274 \text{ Hp}$$

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

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

$$= \frac{0{,}8274}{80\%}$$

$$= 1{,}0342 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Bak Penampung Air Sanitasi :

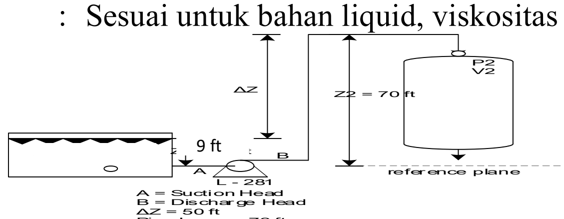
Fungsi	:	Mengalirkan bahan dari bak penampung air jernih ke bak penampung air sanitasi.	
Type	:	Centrifugal Pump	
Bahan	:	Commercial Steel	
Rate Volumetrik	:	71,4193	cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	3,0241	ft/detik
Total Dynamic Head	:	70,4808	ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%	
Effisiensi Pompa	:	20%	
Power Motor	:	1,0	Hp
BHp	:	0,8274	Hp
Jumlah	:	1	Buah

5. Pompa Kation Exchanger

Fungsi : Mengalirkan bahan dari bak penampung air jernih ke tangki kation exchanger.

Type : Centrifugal Pump

Dasar pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.



Perhitungan :

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1,0001 g/ml

Densitas air 30 °C = 86 °F = 995,2944 kg/m³

(Badger ; App.9 : 733)

Bahan masuk = 5,3962 m^3/jam x 995,2944 kg/m³
= 5.370,7796 kg/jam
= 11.840,5282 lb/jam

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

$= \frac{11.840,5282 \text{ lb/jam}}{62,430 \text{ lb/cuft}}$

= 189,6609 cuft/jam
= 3,1610 cuft/menit
= 23,6460 gpm
= 0,0527 cuft/detik

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

$= \frac{62,430}{62,43}$

= 1,0000

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

$= \frac{1,000}{1} \times 0,95$

= 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 = $3,9 \times 0,0527^{0,45} \times 62,4300^{0,1}$
= 1,7751 in

Dipilih pipa 2 in, sch 40 **(Brownell & Young, Page 387)**

OD = 2,3750 in
ID = 2,0670 in = 0,1723 ft = 0,0525 m

A = $(^1/_4 \times \pi \times ID^2)$
= $1/4 \times 3,14 \times 0,1723^2$
= 0,0233 ft^2

$$\text{Kecepatan Aliran (v)} = \frac{q_f}{A} = \frac{0,0527}{0,0233}$$

= 2,2620 ft/detik

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

$$= \frac{0,1723 \times 2,2620 \times 62,4300}{0,0006}$$

= 38.104 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

(Geankoplis 3^ed ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0009
f = 0,0049 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**
gc = 32,1740 ft.lbm/detik^2.lbf

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,1723 ft

Taksiran panjang pipa lu							=	95	ft
3 Elbow 90°	=	3	x	32	x	0,1723	=	16,5360	ft
1 Globe Valve	=	1	x	300	x	0,1723	=	51,6750	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,1723	=	1,2058	ft
Panjang Total Pipa							=	164,4168	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0049 \times 2{,}2620^2 \times 164{,}4168}{32{,}1740 \times 0{,}1723}$$

$$= \frac{8{,}2442}{5{,}5420}$$

$$= 1{,}4876 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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 = 0,4 ; A tangki >>> A pipa **[Peters 4ed ; Page 484]**

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen **[Peters 4ed ; Page 484]**

$$= \frac{0{,}4 \times 2{,}2620^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= 0{,}0318 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-15)**

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

$$= \frac{2,2620^{2} - 0}{2 \times 1,0 \times 32,1740}$$

$$= \frac{5,1165}{64,3480}$$

$$= 0,0795 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0,75 \times 5,12}{2}$$

$$= 1,9187 \quad ft.lb_f / lb_m$$

5. Friksi karena Globe Valve

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{6 \times 5,12}{2}$$

$$= 15,3495 \quad ft.lb_f / lb_m$$

6. Friksi karena Gate Valve

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0,17 \times 5,12}{2}$$

$$= 0,4349 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$$

$$= 1,4876 + 0,0318 + 0,0795 + 1,9187 + 15,3495 + 0,4349$$

$$= 19,3020 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$1 \text{ atm} = 14,7 \times 144 \quad lbf/ft^2 = 2116,8 \quad lbf/ft^2$$

$$P_1 = 1 \text{ atm} + (\rho \times H \times g/gc)$$

$$= 2902,6991$$

$$P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$= 2116,8 \quad lbf/ft^2$$

ρ bahan = 62,4300 lb/cuft = 1,0001 gr/ml

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$= 2.902,6991 - 2.116,8000$$
$$= 785,8991 \ \text{lbf/ft}^2$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{785,8991 \ \text{lbf/ft}^2}{62,4300 \ \text{lb/cuft}}$$
$$= 12,5885 \ \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Asumsi : $Z_1 = 9$ ft
$Z_2 = 70$ ft
$g/gc = 1$ lbf/lbm
g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2
gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2,2620^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$
$$= 0,0795 \ \text{ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

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

$$= (70 - 9) \times 1 \ \frac{\text{ft/dt}^2}{\text{ft.lbm/dt}^2\text{.lbf}}$$

$$= 61 \ \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F$$
$$= 12,5885 + 61,0000 + 0,0795 + 19,3020$$
$$= 92,9700 \ \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Sg campuran (Himmelblau : Berdasarkan Sg bahan) = 1,0000
Rate volumetrik = 23,6460 gpm

$$Hp = \frac{- Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$ **(Perry 6^{ed} ; Pers 6-11, Page 6-5)**

$$= \frac{92,9700 \times 23,6460 \times 1,0000}{3960}$$

$= 0,5551$ Hp $= 0,6$ Hp

Rate volumetrik = 23,6460 gpm
Viskositas (μ) = 1,0000 Cp = 1,0000 Cs

Effisiensi Pompa = 45% **(Peters 4[ed] ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{0,5551}{45\%}$$

$= 1,2337$ Hp

Effisiensi motor = 81% **(Peters 4[ed] ; Figure 14 - 38 Page 521)**

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

$$= \frac{1,2337}{81\%}$$

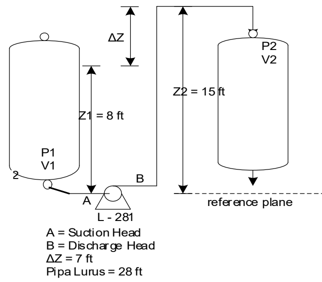
$= 1,5230$ Hp

Spesifikasi Pompa Kation Exchanger :

Fungsi	:	Mengalirkan bahan dari bak penampung air jernih ke tangkikation exchanger.
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	189,6609 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	2,2620 ft/detik
Total Dynamic Head	:	92,9700 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	81%
Effisiensi Pompa	:	45%
Power Motor	:	1,5 Hp
BHp	:	1 Hp
Jumlah	:	1 Buah

6. Pompa Anion Exchanger

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



Perhitungan :

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1,0001 g/ml

Densitas air 30 °C = 86 °F = 995,2944 kg/m³

(Badger ; App.9 : 733)

Bahan masuk = 5,3962 m^3/jam x 995,2944 kg/m³
= 5.370,7796 kg/jam
= 11.840,5282 lb/jam

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

$= \dfrac{11.840,5282 \text{ lb/jam}}{62,430 \text{ lb/cuft}}$

= 189,6609 cuft/jam
= 3,1610 cuft/menit
= 23,6460 gpm
= 0,0527 cuft/detik

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

$= \dfrac{62,430}{62,43}$

= 1,0000

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

$= \dfrac{1,000}{1} \times 0,95$

= 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 = $3{,}9 \times 0{,}0527^{0{,}45} \times 62{,}4300^{0{,}1}$
= 1,7751 in

Dipilih pipa 2 in, sch 40S **(Brownell & Young, Page 387)**

OD = 2,3750 in
ID = 2,0670 in = 0,1723 ft = 0,0525 m

A = $(^1/_4 \times \pi \times ID^2)$
= $1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}1723^2$
= 0,0233 ft^2

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

= $\dfrac{0{,}0527}{0{,}0233}$
= 2,2620 ft/detik

NRe = $\dfrac{D\, v\, \rho}{\mu}$
= $\dfrac{0{,}1723 \times 2{,}2620 \times 62{,}4300}{0{,}0006}$
= 38.104 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**
(Geankoplis 3ed ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m
ε/D = 0,0009
f = 0,0050 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**
gc = 32,1740 ft.lbm/detik^2.lbf

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,1723 ft

			Taksiran panjang pipa lurus				=	28	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,1723	=	16,5360	ft
1 Globe Valve	=	1	x	300	x	0,1723	=	51,6750	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,1723	=	1,2058	ft
Panjang Total Pipa							=	97,4168	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 3^ed, Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0050 \times 2{,}2620^2 \times 97{,}4168}{32{,}1740 \times 0{,}1723}$$

$$= \frac{4{,}9843}{5{,}5420}$$

$$= 0{,}8994 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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 = 0,4 ; A tangki >>> A pipa **[Peters 4^ed ; Page 484]**

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen **[Peters 4^ed ; Page 484]**

$$= \frac{0{,}4 \times 2{,}2620^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= 0{,}0318 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3[ed], Pers. 2.10-15)**

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

$$= \frac{2{,}2620^2 - 0}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= \frac{5{,}1165}{64{,}3480}$$

$= 0{,}0795$ $ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}75 \times 5{,}12}{2}$$

$= 1{,}9187$ $ft.lb_f / lb_m$

5. Friksi karena Globe Valve

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{6 \times 5{,}12}{2}$$

$= 15{,}3495$ $ft.lb_f / lb_m$

6. Friksi karena Gate Valve

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 5{,}12}{2} = 0{,}4349$$ $ft.lb_f / lb_m$

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$

$= 0{,}8994 + 0{,}0318 + 0{,}0795 + 1{,}9187 + 15{,}3495 + 0{,}4349$

$= 18{,}7138$ $ft.lb_f / lb_m$

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

P_1 = 1 atm + (ρ x H x g/gc)

= 2902,699062 lb/ft^2

P_2 = 1 atm

= 2116,8 lbf/ft^2

ρ bahan = 62,4300 lb/cuft = 1,0001 gr/ml

$$\Delta P = P_1 - P_2$$
$$= 2.902{,}6991 - 2.116{,}8000$$
$$= 785{,}8991 \ \text{lbf/ft}^2$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{785{,}8991 \ \text{lbf/ft}^2}{62{,}4300 \ \text{lb/cuft}}$$
$$= 12{,}5885 \ \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Asumsi : Z_1 = 8 ft
Z_2 = 15 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2
gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2{,}2620^2}{2 \times 1 \times 32{,}1740}$$
$$= 0{,}0795 \ \text{ft.lb}_f / \text{lb}_m$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times \frac{g}{gc}$$
$$= (15{,}0000 - 8{,}0000) \times 1 \ \frac{\text{ft/dt}^2}{\text{ft.lbm/dt}^2\text{.lbf}}$$
$$= 7{,}0000 \ \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2 \alpha gc} + \Sigma F$$
$$= 12{,}5885 + 7{,}0000 + 0{,}0795 + 18{,}7138$$
$$= 38{,}3818 \ \frac{\text{ft.lbf}}{\text{lbm}}$$

Sg campuran (Himmelblau : Berdasarkan Sg bahan) = 1,0000

Rate volumetrik = 23,6460 gpm

$$Hp = \frac{- Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$ **(Perry 6[ed] ; Pers 6-11, Page 6-5)**

$$= \frac{38,3818 \times 23,6460 \times 1,0000}{3960}$$

$$= 0,2292 \text{ Hp}$$

Rate volumetrik = 23,6460 gpm

Viskositas (μ) = 1,0000 Cp = 1,0000 Cs

Effisiensi Pompa = 20% **(Peters 4[ed] ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{0,2292}{20\%}$$

$$= 1,1459 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 82% **(Peters 4[ed] ; Figure 14 - 38 Page 521)**

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

$$= \frac{1,1459}{82\%}$$

$$= 1,3975 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Anion Exchanger :

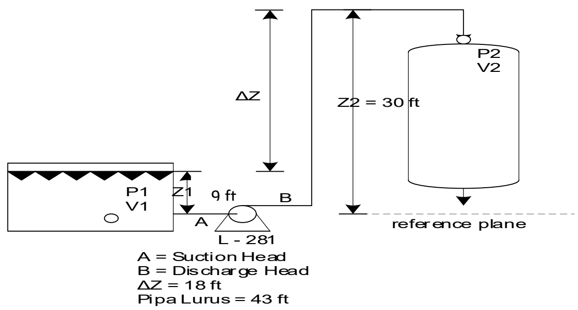
Fungsi	:	Mengalirkan air dari kation exchanger ke anion
	:	exchanger.
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	189,6609 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	2,2620 ft/detik
Total Dynamic Head	:	38,3818 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	82%
Effisiensi Pompa	:	20%
Power Motor	:	1,3975 Hp
BHp	:	1,1459 Hp
Jumlah	:	1 Buah

7. Pompa Air Umpan Boiler

Fungsi : Mengalirkan air dari bak penampung air demineralisasi ke Boiler.

Type : Centrifugal Pump

Dasar pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.



Perhitungan :

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1,0001 g/ml

Densitas air 30 °C = 86 °F = 995,2944 kg/m³

(Badger ; App.9 : 733)

Bahan masuk = 5,3962 m^3/jam x 995,2944 kg/m³
= 5.370,7796 kg/jam
= 11.840,4208 lb/jam

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

$= \dfrac{11.840,4208 \text{ lb/jam}}{62,430 \text{ lb/cuft}}$

= 189,6592 cuft/jam
= 3,1610 cuft/menit
= 23,6458 gpm
= 0,0527 cuft/detik

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

$= \dfrac{62,430}{62,43}$

= 1,0000

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

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

$$= \frac{1,000}{1} \times 0,95$$

= 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 = $3,9 \times 0,0527^{0,45} \times 62,4300^{0,1}$

= 1,7751 in

Dipilih pipa 2 in, sch 40S **(Brownell & Young, Page 387)**

OD = 2,3750 in

ID = 2,0670 in = 0,1723 ft = 0,0525 m

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

= $1/4 \times 3,14 \times 0,1723^2$

= 0,0233 ft^2

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

$$= \frac{0,0527}{0,0233}$$

= 2,2620 ft/detik

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

$$= \frac{0,1723 \times 2,2620 \times 62,4300}{0,0006}$$

= 38.103 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

(Geankoplis 3[ed] ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0009

f = 0,0050 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,1723 ft

				Taksiran panjang pipa lu				=	43,0000	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,1723		=	16,5360	ft
1 Globe Valve	=	1	x	300	x	0,1723		=	51,6750	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,1723		=	1,2058	ft
Panjang Total Pipa								=	112,4168	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 3[ed], Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0,0050 \times 2,2620^2 \times 112,4168}{32,1740 \times 0,1723}$$

$$= \frac{5,7517}{5,5420}$$

$$= 1,0378 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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 = 0,4 ; A tangki >>> A pipa **[Peters 4[ed] ; Page 484]**

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen **[Peters 4[ed] ; Page 484]**

$$= \frac{0{,}4 \quad x \quad 2{,}2620^{\;2}}{2 \quad x \quad 1{,}0 \quad x \quad 32{,}1740}$$

$= \quad 0{,}0318 \quad ft.lb_f / lb_m$

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

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \text{ x } \alpha \text{ x gc}}$$ **(Geankoplis 3[ed], Pers. 2.10-15)**

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

$$= \frac{2{,}2620^{\;2} \quad - \quad 0}{2 \quad x \quad 1{,}0 \quad x \quad 32{,}1740}$$

$$= \frac{5{,}1164}{64{,}3480}$$

$= \quad 0{,}0795 \quad ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = \frac{K_f \quad x \quad V_1^2}{2} = \frac{0{,}75 \quad x \quad 5{,}12}{2}$$

$= \quad 1{,}9187 \quad ft.lb_f / lb_m$

5. Friksi karena Globe Valve

$$F5 = \frac{K_f \quad x \quad V_1^2}{2} = \frac{6 \quad x \quad 5{,}12}{2}$$

$= \quad 15{,}3493 \quad ft.lb_f / lb_m$

6. Friksi karena Gate Valve

$$F6 = \frac{K_f \quad x \quad V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \quad x \quad 5{,}12}{2}$$

$= \quad 0{,}4349 \quad ft.lb_f / lb_m$

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$

$= 1{,}0378 + 0{,}0318 + 0{,}0795 + 1{,}9187 + 15{,}3493 + 0{,}4349$

$= \quad 18{,}8520 \quad ft.lb_f / lb_m$

1 atm $= 14{,}7 \quad x \quad 144 \quad lbf/ft^2 = 2116{,}8 \quad lbf/ft^2$

P_1 = 1 atm + (ρ x H x g/gc)
= 2805,9563 lb/ft^2

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

ρ bahan = 62,4300 lb/cuft = 1,0001 gr/ml

$$\Delta P = P1 - P2 = 2.805,9563 - 2.116,8000 = 689,1563 \ lbf/ft^2$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{689,1563 \ lbf/ft^2}{62,4300 \ lb/cuft} = 11,0389 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 9 ft
Z_2 = 30 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2
gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{2,2620^2}{2 \times 1 \times 32,1740} = 0,0795 \ ft.lb_f / lb_m$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times \frac{g}{gc} = (30,0000 - 9,0000) \times 1 \ \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf} = 21,0000 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Persamaan Bernoulli

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

$= 11{,}0389 + 21{,}0000 + 0{,}0795 + 18{,}8520$

$= 50{,}9704 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$

Sg campuran (Himmelblau : Berdasarkan Sg bahan) = 1,0000
Rate volumetrik = 23,6458 gpm

$$Hp = \frac{- Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$ **(Perry 6ed ; Pers 6-11, Page 6-5)**

$$= \frac{50{,}9704 \times 23{,}6458 \times 1{,}0000}{3960}$$

$= 0{,}3044$ Hp

Rate volumetrik = 23,6458 gpm
Viskositas (μ) = 1,0000 Cp = 1,0000 Cs

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

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

$$= \frac{0{,}3044}{40\%}$$

$= 0{,}7609$ Hp

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

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

$$= \frac{0{,}7609}{80\%}$$

$= 0{,}9511$ Hp

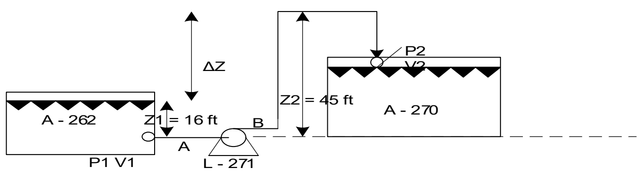
Spesifikasi Pompa Air Umpan Boiler :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung air demineralisasi ke Boiler.
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel

Rate Volumetrik	:	189,6592	cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	2,2620	ft/detik
Total Dynamic Head	:	50,9704	ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%	
Effisiensi Pompa	:	40%	
Power Motor	:	1,0	Hp
BHp	:	0,8	Hp
Jumlah	:	1	Buah

8. Pompa Air Proses

Fungsi : Mengalirkan air dari bak air bersih ke bak air proses.
Type : Centrifugal Pump
Dasar pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.



Perhitungan :

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1,0001 g/ml
Densitas air 30 °C = 86 °F = 995,2944 kg/m³
(Badger ; App.9 : 733)

Bahan masuk = 88,1865 m^3/jam x 995,2944 kg/m³
= 87.771,4976 kg/jam
= 193.501,0436 lb/jam

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

$= \dfrac{193.501,0436 \text{ lb/jam}}{62,430 \text{ lb/cuft}}$

= 1.033,1627 cuft/jam (digunakan 3 pompa)
= 17,2194 cuft/menit
= 128,8096 gpm
= 0,2870 cuft/detik

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

$= \dfrac{62,430}{}$

62,43
= 1,0000

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

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

$$= \frac{1{,}000}{1} \times 0{,}95$$

= 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 = $3{,}9 \times 0{,}2870^{0{,}45} \times 62{,}4300^{0{,}1}$

= 3,8063 in

Dipilih pipa 10 in, sch 20 **(Brownell & Young, Page 387)**

OD = 10,7500 in

ID = 10,2500 in = 0,8542 ft = 0,2604 m

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

= $1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}8542^2$

= 0,5727 ft^2

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

$$= \frac{0{,}2870}{0{,}5727}$$

= 0,5011 ft/detik

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

$$= \frac{0{,}8542 \quad x \quad 0{,}5011 \quad x \quad 62{,}4300}{0{,}0006}$$

= 41.858 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

(Geankoplis 3[ed] ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0002

f = 0,0035 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,8542 ft

				Taksiran panjang pipa lurus			=	55,0000	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,8542	=	82,0000	ft
1 Globe Valve	=	1	x	300	x	0,8542	=	256,2500	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,8542	=	5,9792	ft
Panjang Total Pipa							=	399,2292	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f\ x\ v^2\ x\ Le}{gc\ x\ D}$$ **(Geankoplis 3[ed], Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \quad x \quad 0{,}0035 \quad x \quad 0{,}5011^{\ 2} \quad x \quad 399{,}2292}{32{,}1740 \quad x \quad 0{,}8542}$$

$$= \frac{0{,}7017}{27{,}4820}$$

$= 0{,}0255 \quad ft.lb_f / lb_m$

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)**

$k = 0{,}4$; A tangki >>> A pipa **[Peters 4ed ; Page 484]**

$\alpha = 1{,}0$; untuk aliran turbulen **[Peters 4ed ; Page 484]**

$$= \frac{0{,}4 \times 0{,}5011^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$= 0{,}0016 \quad ft.lb_f / lb_m$

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

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-15)**

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

$$= \frac{0{,}5011^2 - 0}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= \frac{0{,}2511}{64{,}3480}$$

$= 0{,}0039 \quad ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}75 \times 0{,}25}{2} = 0{,}0942 \quad ft.lb_f / lb_m$$

5. Friksi karena Globe Valve

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{6 \times 0{,}25}{2}$$

$= 0{,}7533 \quad ft.lb_f / lb_m$

6 Friksi karena Gate Valve

$$F_6 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 0{,}25}{2}$$

$= 0{,}0213 \quad ft.lb_f / lb_m$

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$

= 0,0255 + 0,0016 + 0,0039 + 0,0942 + 0,7533 + 0,0213

= 0,8998 $ft.lb_f / lb_m$

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

P_1 = 1 atm + (ρ x H x g/gc)
= 3865,66574 lb/ft^2

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

ρ bahan = 62,4300 lb/cuft = 1,0001 gr/ml

ΔP = P_2 - P_1
= 3.865,6657 - 2.116,8000
= 1.748,8657 lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{1.748,8657 \ lbf/ft^2}{62,4300 \ lb/cuft}$$
$$= 28,0132 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 16 ft
Z_2 = 45 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2
gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{0,5011^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$
$$= 0,0039 \ ft.lb_f / lb_m$$

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

$$= (45{,}0000 - 16{,}0000) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 29{,}0000 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 28{,}0132 + 29{,}0000 + 0{,}0039 + 0{,}8998$$

$$= 57{,}9169 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Sg campuran (Himmelblau : Berdasarkan Sg bahan) = 1,0000
Rate volumetrik = 128,8096 gpm

$$Hp = \frac{-\ Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$ **(Perry 6[ed] ; Pers 6-11, Page 6-5)**

$$= \frac{57{,}9169 \times 128{,}8096 \times 1{,}0000}{3960}$$

$$= 1{,}8839 \text{ Hp}$$

Rate volumetrik = 128,8096 gpm
Viskositas (μ) = 1,0000 Cp = 1,0000 Cs

Effisiensi Pompa = 88% **(Peters 4[ed] ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{2}{88\%}$$

$$= 2 \text{ Hp}$$

Effisiensi motor = 86% **(Peters 4[ed] ; Figure 14 - 38 Page 521)**

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

$$= \frac{2}{86\%}$$

$$= 2 \text{ Hp}$$

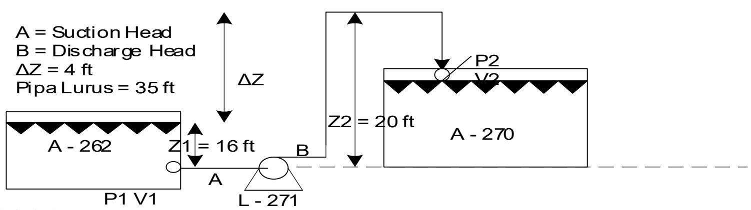
Spesifikasi Pompa Air Proses :

Fungsi : Mengalirkan air dari bak air bersih ke bak air proses.

Type	:	Centrifugal Pump	
Bahan	:	Commercial Steel	
Rate Volumetrik	:	1.033,1627	cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	0,5011	ft/detik
Total Dynamic Head	:	57,9169	ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	86%	
Effisiensi Pompa	:	88%	
Power Motor	:	2	Hp
BHp	:	2	Hp
Jumlah	:	1	Buah

9. Pompa 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.



Perhitungan :

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1,0001 g/ml
Densitas air 30 °C = 86 °F = 995,2944 kg/m³
(Badger ; App.9 : 733)

Bahan masuk = 27,7727 m^3/jam x 995,2944 kg/m³
= 27.642,0388 kg/jam
= 60.939,6386 lb/jam

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

$= \dfrac{60.939,6386 \text{ lb/jam}}{62,430 \text{ lb/cuft}}$

= 976,1275 cuft/jam
= 16,2688 cuft/menit
= 121,6987 gpm
= 0,2711 cuft/detik

$$\text{Sg Bahan} = \frac{\rho\ \text{bahan}}{\rho\ \text{reference}} = \frac{62{,}430}{62{,}43} = 1{,}0000$$

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

$$\mu\ \text{bahan} = \frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reference}} \times \mu\ \text{reference}$$
$$= \frac{1{,}000}{1} \times 0{,}95$$
$$= 0{,}95\ \text{Cp}$$
$$= 0{,}00064\ \text{lb/ft.detik}$$

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 $= 3{,}9 \times 0{,}2711^{0{,}45} \times 62{,}4300^{0{,}1}$
$= 3{,}7103$ in

Dipilih pipa 4 in, sch 40S **(Brownell & Young, Page 387)**
OD = 4,5000 in
ID = 4,0260 in = 0,3355 ft = 0,1023 m

A $= (\frac{1}{4} \times \pi \times ID^2)$
$= 1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}3355^2$
$= 0{,}0884\ ft^2$

$$\text{Kecepatan Aliran (v)} = \frac{q_f}{A} = \frac{0{,}2711}{0{,}0884}$$

= 3,0687 ft/detik

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

$$= \frac{0,3355 \times 3,0687 \times 62,4300}{0,0006}$$

= 100.684 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**

(Geankoplis 3[ed] ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m

ε/D = 0,0004

f = 0,0042 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**

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

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

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

ID pipa = 0,3355 ft

Taksiran panjang pipa lurus								=	35,0000	ft
3 Elbow 90°	=	3	x	32	x	0,3355		=	32,2080	ft
1 Globe Valve	=	1	x	300	x	0,3355		=	100,6500	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,3355		=	2,3485	ft
Panjang Total Pipa								=	170,2065	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 3[ed], Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0,0042 \times 3,0687^2 \times 170,2065}{32,1740 \times 0,3355}$$

$$= \frac{13{,}4634}{10{,}7944}$$

$= 1{,}2473$ $ft.lb_f / lb_m$

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 = 0,4 ; A tangki >>> A pipa **[Peters 4ed ; Page 484]**

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen **[Peters 4ed ; Page 484]**

$$= \frac{0{,}4 \times 3{,}0687^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$= 0{,}0585$ $ft.lb_f / lb_m$

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

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-15)**

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

$$= \frac{3{,}0687^2 - 0}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= \frac{9{,}4167}{64{,}3480}$$

$= 0{,}1463$ $ft.lb_f / lb_m$

4. Friksi karena elbow 90^o

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}75 \times 9{,}42}{2}$$

$= 3{,}5313$ $ft.lb_f / lb_m$

5. Friksi karena Globe Valve

$$F_5 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{6 \times 9{,}42}{2}$$

$= 28{,}2501$ $ft.lb_f / lb_m$

6. Friksi karena Gate Valve

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 9{,}42}{2}$$

$$= 0{,}8004 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$$

$$= 1{,}2473 + 0{,}0585 + 0{,}1463 + 3{,}5313 + 28{,}2501 + 0{,}8004$$

$$= 34{,}0339 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$1 \text{ atm} = 14{,}7 \times 144 \ lbf/ft^2 = 2116{,}8 \ lbf/ft^2$$

$$P_1 = 1 \text{ atm} + (\rho \times H \times g/gc)$$

$$= 2647{,}127997 \ lb/ft^2$$

$$P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$= 2116{,}8 \ lbf/ft^2$$

ρ bahan = 62,4300 lb/cuft = 1,0001 gr/ml

$$\Delta P = P1 - P2$$

$$= 2.647{,}1280 - 2.116{,}8000$$

$$= 530{,}3280 \ lbf/ft^2$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{530{,}3280 \ lbf/ft^2}{62{,}4300 \ lb/cuft}$$

$$= 8{,}4948 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 16,0000 ft

Z_2 = 20,0000 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2

gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3{,}0687^2}{2 \times 1 \times 32{,}1740}$$

$$= 0{,}1463 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$= (20{,}0000 - 16{,}0000) \times 1 \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 4{,}0000 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 8{,}4948 + 4{,}0000 + 0{,}1463 + 34{,}0339$$

$$= 46{,}6750 \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Sg campuran (Himmelblau : Berdasarkan Sg bahan) = 1,0000
Rate volumetrik = 121,6987 gpm

$$Hp = \frac{- Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$ **(Perry 6ed ; Pers 6-11, Page 6-5)**

$$= \frac{46{,}6750 \times 121{,}6987 \times 1{,}0000}{3960}$$

$$= 1{,}4344 \ Hp$$

Rate volumetrik = 121,6987 gpm
Viskositas (μ) = 1,0000 Cp = 1,0000 Cs

Effisiensi Pompa = 65% **(Peters 4ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{1}{65\%}$$

$$= 2 \ Hp$$

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

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

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

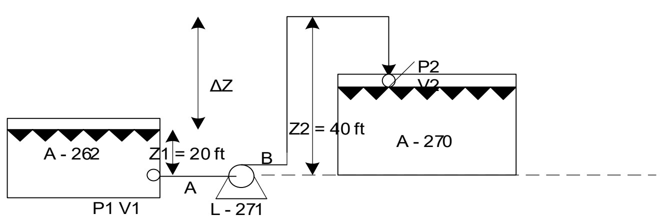
$= 3$ Hp

Spesifikasi Pompa Bak Penampung Air Pendingin :

Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak air bersih ke bak air pendingin.	
Type	:	Centrifugal Pump	
Bahan	:	Commercial Steel	
Rate Volumetrik	:	976,1275	cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	3,0687	ft/detik
Total Dynamic Head	:	46,6750	ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%	
Effisiensi Pompa	:	65%	
Power Motor	:	3	Hp
BHp	:	2	Hp
Jumlah	:	1	Buah

10. Pompa Recycle Air Pendingin

Fungsi	:	Mengalirkan bekas air pendingin ke cooling tower.
Type	:	Centrifugal Pump
Dasar pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.



Perhitungan :

ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1,0001 g/ml

Densitas air 30 °C = 86 °F = 995,2944 kg/m³

(Badger ; App.9 : 733)

Bahan masuk = 27,7727 m^3/jam x 995,2944 kg/m³

= 27.642,0388 kg/jam

= 60.939,6386 lb/jam

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

$$= \frac{60.939,6386 \text{ lb/jam}}{62,430 \text{ lb/cuft}}$$

= 976,1275 cuft/jam
= 16,2688 cuft/menit
= 121,6987 gpm
= 0,2711 cuft/detik

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

$$= \frac{62,430}{62,43} = 1,0000$$

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

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

$$= \frac{1,000}{1} \times 0,95$$

= 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 = $3,9 \times 0,2711^{0,45} \times 62,4300^{0,1}$
= 3,7103 in

Dipilih pipa 4 in, sch 120 **(Brownell & Young, Page 387)**
OD = 4,5000 in
ID = 3,6240 in = 0,3020 ft = 0,0920 m

$A = (^1/_4 \times \pi \times ID^2)$
$= 1/4 \times 3{,}14 \times 0{,}3020^2$
$= 0{,}0716 \text{ ft}^2$

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

$= \dfrac{0{,}2711}{0{,}0716}$
$= 3{,}7872$ ft/detik

$NRe = \dfrac{D\, v\, \rho}{\mu}$
$= \dfrac{0{,}3020 \times 3{,}7872 \times 62{,}4300}{0{,}0006}$
$= 111.853 > 2100$ **(Asumsi turbulen benar)**
(Geankoplis 3[ed] ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m
ε/D = 0,0005
f = 0,0045 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**
gc = 32,1740 ft.lbm/detik^2.lbf

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

Panjang ekuivalen suction, Le **(Peters 4[ed] , Tabel - 1)**
ID pipa = 0,3020 ft

					Taksiran panjang pipa lu	=		53,0000	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,3020	=	28,9920	ft
1 Globe Valve	=	1	x	300	x	0,3020	=	90,6000	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,3020	=	2,1140	ft
Panjang Total Pipa							=	174,7060	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0045 \times 3{,}7872^2 \times 174{,}7060}{32{,}1740 \times 0{,}3020}$$

$$= \frac{22{,}5523}{9{,}7165}$$

$$= 2{,}3210 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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 = 0,4 ; A tangki >>> A pipa **[Peters 4ed ; Page 484]**

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen **[Peters 4ed ; Page 484]**

$$= \frac{0{,}4 \times 3{,}7872^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= 0{,}0892 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-15)**

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

$$= \frac{3{,}7872^2 - 0}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= \frac{14{,}3430}{64{,}3480}$$

$$= 0{,}2229 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena elbow 90^o

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}75 \times 14{,}34}{2}$$

$$= 5{,}3786 \quad ft.lb_f / lb_m$$

5. Friksi karena Globe Valve

$$F5 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{6 \times 14,34}{2}$$

$$= 43,0291 \quad ft.lb_f / lb_m$$

6. Friksi karena Gate Valve

$$F6 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0,17 \times 14,34}{2}$$

$$= 1,2192 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$$

$$= 2,3210 + 0,0892 + 0,2229 + 5,3786 + 43,0291 + 1,2192$$

$$= 52,2600 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$1 \text{ atm} = 14,7 \times 144 \ lbf/ft^2 = 2116,8 \ lbf/ft^2$$

$$P_1 = 1 \text{ atm} + (\rho \times H \times g/gc)$$

$$= 2647,127997 \ lb/ft^2$$

$$P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$= 2116,8 \ lbf/ft^2$$

ρ bahan = 62,4300 lb/cuft = 1,0001 gr/ml

$$\Delta P = P_1 - P_2$$

$$= 2647,127997 - 2116,8$$

$$= 530,3280 \ lbf/ft^2$$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{530,3280 \ lbf/ft^2}{62,4300 \ lb/cuft}$$

$$= 8,4948 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_1 = 20,0000 ft
Z_2 = 40,0000 ft
g/gc = 1 lbf/lbm

g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2

gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3,7872^{\;2}}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 0,2229 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$= (40,0000 - 20,0000) \times 1 \quad \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$

$$= 20,0000 \quad \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Persamaan Bernoulli

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

$$= 8,4948 + 20,0000 + 0,2229 + 52,2600$$

$$= 80,9776 \quad \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Sg campuran (Himmelblau : Berdasarkan Sg bahan) = 1,0000

Rate volumetrik = 121,6987 gpm

$$Hp = \frac{- Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$ **(Perry 6^ed ; Pers 6-11, Page 6-5)**

$$= \frac{80,9776 \times 121,6987 \times 1,0000}{3960}$$

$$= 2 \quad Hp$$

Rate volumetrik = 121,6987 gpm

Viskositas (μ) = 1,0000 Cp = 1,0000 Cs

Effisiensi Pompa = 65% **(Peters 4^ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{2}{65\%}$$

$$= 4 \quad Hp$$

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

$$\text{Power motor} = \frac{\text{Bhp}}{\eta\ \text{motor}} = \frac{4}{80\%} = 5 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Recycle Air Pendingin :

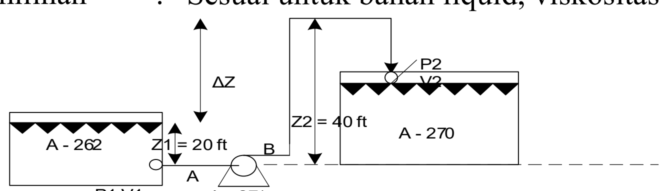
Fungsi	:	Mengalirkan bekas air pendingin ke cooling tower.
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	976,1275 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	3,7872 ft/detik
Total Dynamic Head	:	80,9776 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	65%
Power Motor	:	5 Hp
BHp	:	4 Hp
Jumlah	:	1 Buah

11. Pompa Cooling Tower

Fungsi : Mengalirkan bekas air pendingin keluar dari cooling tower menuju bak penampung air pendingin.

Type : Centrifugal Pump

Dasar pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah.



ρ Air = 62,430 lb/cuft = 1,0001 g/ml

Densitas air 30 °C = 86 °F = 995,2944 kg/m³

(Badger ; App.9 : 733)

Bahan masuk = 27,7727 m³/jam x 995,2944 kg/m³
= 27.642,0388 kg/jam
= 60.940,1915 lb/jam

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

$= \dfrac{60.940,1915 \text{ lb/jam}}{62,430 \text{ lb/cuft}}$

= 976,1363 cuft/jam
= 16,2689 cuft/menit
= 121,6998 gpm
= 0,2711 cuft/detik

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

$= \dfrac{62,430}{62,43}$

= 1,0000

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

$= \dfrac{1,000}{1} \times 0,95$

= 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 $= 3,9 \times 0,2711^{0,45} \times 62,4300^{0,1}$
= 3,7103 in

Dipilih pipa 4 in,sch 40s **(Brownell & Young, Page 387)**
OD = 4,5000 in
ID = 4,0260 in = 0,3355 ft = 0,1023 m

A = ($^1/_4$ x π x ID^2)
= 1/4 x 3,14 x 0,3355 ^{2}
= 0,0884 ft^2

Kecepatan Aliran (v) = $\frac{q_f}{A}$
= $\frac{0,2711}{0,0884}$
= 3,0687 ft/detik

NRe = $\frac{D\ v\ \rho}{\mu}$
= $\frac{0,3355 \times 3,0687 \times 62,4300}{0,0006}$
= 100.685 > 2100 **(Asumsi turbulen benar)**
(Geankoplis 3^{ed} ; Page 88)

Dipilih pipa commercial steel, ε = 0,000046 m
ε/D = 0,0004
f = 0,0040 **(Geankoplis ; Figure 2. 10 - 3)**
gc = 32,1740 ft.lbm/detik^2.lbf

Digunakan persamaan Bernoulli :

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

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

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

(Peters & Timmerhause, Page 484-485)

Panjang ekuivalen suction, Le **(Peters 4^{ed} , Tabel - 1)**
ID pipa = 0,3355 ft

				Taksiran panjang pipa lurus				=	53,0000	ft
3 Elbow 90^o	=	3	x	32	x	0,3355		=	32,2080	ft
1 Globe Valve	=	1	x	300	x	0,3355		=	100,6500	ft
1 Gate Valve	=	1	x	7	x	0,3355		=	2,3485	ft
Panjang Total Pipa								=	188,2065	ft

Friksi yang terjadi:

1. Friksi karena gesekan bahan dalam pipa

$$F_1 = \frac{2f \times v^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-6)**

$$= \frac{2 \times 0{,}0040 \times 3{,}0687^2 \times 188{,}2065}{32{,}1740 \times 0{,}3355}$$

$$= \frac{14{,}1785}{10{,}7944}$$

$$= 1{,}3135 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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 = 0,4 ; A tangki >>> A pipa **[Peters 4ed ; Page 484]**

α = 1,0 ; untuk aliran turbulen **[Peters 4ed ; Page 484]**

$$= \frac{0{,}4 \times 3{,}0687^2}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= 0{,}0585 \quad ft.lb_f / lb_m$$

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

$$F_3 = \frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers. 2.10-15)**

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

$$= \frac{3{,}0687^2 - 0}{2 \times 1{,}0 \times 32{,}1740}$$

$$= \frac{9{,}4169}{64{,}3480}$$

$$= 0{,}1463 \quad ft.lb_f / lb_m$$

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}75 \times 9{,}42}{2}$$

$$= 3{,}5313 \quad ft.lb_f / lb_m$$

5. Friksi karena Globe Valve

$$F5 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{6 \times 9{,}42}{2}$$

$= 28{,}2506 \quad ft.lb_f / lb_m$

6. Friksi karena Gate Valve

$$F6 = \frac{K_f \times V_1^2}{2} = \frac{0{,}17 \times 9{,}42}{2}$$

$= 0{,}8004 \quad ft.lb_f / lb_m$

$\Sigma F = F_1 + F_2 + F_3 + F_4 + F_5 + F_6$

$= 1{,}3135 + 0{,}0585 + 0{,}1463 + 3{,}5313 + 28{,}2506 + 0{,}8004$

$= 34{,}1008 \quad ft.lb_f / lb_m$

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

P_1 = 1 atm + (ρ x H x g/gc)

= 4301,85 lb/ft^2

P_2 = 1 atm

= 2116,8 lbf/ft^2

ρ bahan = 62,4300 lb/cuft = 1,0001 gr/ml

$\Delta P = P_2 - P_1$

= 4301,85 - 2116,8

= 2.185,0500 lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{2.185{,}0500 \ lbf/ft^2}{62{,}4300 \ lb/cuft}$$

$$= 35{,}0000 \ \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Asumsi : Z_2 = 40 ft

Z_1 = 20 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

g, percepatan gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2

gc, konstanta gravitasi bumi = 32,1740 ft/dt^2 x lbm/lbf

$$\frac{\Delta v^2}{2 \times \alpha \times gc} = \frac{3,0687^{2}}{2 \times 1 \times 32,1740}$$
$$= 0,1463 \quad ft.lb_f / lb_m$$

$$\Delta Z \frac{g}{gc} = (Z_2 - Z_1) \times \frac{g}{gc}$$
$$= (40 - 20) \times 1 \quad \frac{ft/dt^2}{ft.lbm/dt^2.lbf}$$
$$= 20 \quad \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Persamaan Bernoulli

$$-Wf = \frac{\Delta P}{\rho} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta V^2}{2\,\alpha\, gc} + \Sigma F$$
$$= 35,0000 + 20,0000 + 0,1463 + 34,1008$$
$$= 89,2471 \quad \frac{ft.lbf}{lbm}$$

Sg campuran (Himmelblau : Berdasarkan Sg bahan) = 1,0000
Rate volumetrik = 121,6998 gpm

$$Hp = \frac{-\,Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$ **(Perry 6ed ; Pers 6-11, Page 6-5)**

$$= \frac{89,2471 \times 121,6998 \times 1,0000}{3960}$$
$$= 2,7 \quad Hp$$

Rate volumetrik = 121,6998 gpm
Viskositas (μ) = 1,0000 Cp = 1,0000 Cs

Effisiensi Pompa = 65% **(Peters 4ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{2,7}{65\%}$$
$$= 4,2 \quad Hp$$

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

$$\text{Power motor} = \frac{\text{Bhp}}{\eta \text{ motor}} = \frac{4{,}2}{80\%} = 5{,}3 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa Cooling Tower :

Fungsi	:	Mengalirkan bekas air pendingin keluar dari cooling tower menuju bak penampung air pendingin.
Type	:	Centrifugal Pump
Bahan	:	Commercial Steel
Rate Volumetrik	:	976,1363 cuft/jam
Kecepatan Aliran	:	3,0687 ft/detik
Total Dynamic Head	:	89,2471 ft.lbf/lbm
Effisiensi Motor	:	80%
Effisiensi Pompa	:	65%
Power Motor	:	5,3 Hp
BHp	:	4,2 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 listrik 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 feed	L-111	1,2
2	Blower-1	G-121	2
3	Cooling Convenyor-1	J-231	1,7
4	Bucket Elevator-1	J-232	2,2

5	Peletizer	S-310	5
6	Belt Conveyor	J-312	2,9
7	Blower-2	G-322	4
8	Rotary Dryer	B-320	4,8
9	Cooling Conveyor-2	J-326	1,0
10	Bucket Elevator-2	J-328	3,4
Total			28

No	**Nama Alat Peralatan Proses**	**Kode Alat**	**Power (hp)**
1	Boiler		216,5
2	Cooling Tower	P - 313	2,0
3	Tangki Koagulasi	A - 220	2,0
4	Tangki Flokulasi	A - 230	1,0
5	Pompa Air Sungai	L - 211	2,5
6	Pompa ke Tangki Koagulasi	L - 221	1,8
7	Pompa ke Sand Filter	L - 251	2,9
8	Pompa Bak Penampung Air Sanitasi	L - 271	1,0
9	Pompa ke Kation Exchanger	L - 281	1,5
10	Pompa ke Anion Exchanger	L - 291	1,4
11	Pompa Air Umpan Boiler	L - 293	1,0
12	Pompa Air Proses	L - 321	2,5
13	Pompa Bak Penampung Air Pendingin	L - 311	2,8
14	Pompa Recycle Air Pendingin	L - 312	4,8
15	Pompa Cooling Tower	L - 314	5,3
Total			249

1 Hp = 745,6 W = 0,746 kW

Total kebutuhan listrik = 28,393 + 249

= 277 x 0,7456 kW

= 206,7642 kWh

= 207 kWh

Kebutuhan listrik untuk penerangan pabrik dihitung berdasarkan kuat penerang an untuk tiap-tiap lokasi. Dengan menggunakan perbandingan beban listrik lumen/m^2

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	3875	235	2367860
2	Pos Keamanan	75	10	100760
3	Parkir	600	120	1209120
4	Taman	400	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	3600	360	3627360
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
23	Daerah Perluasan	3600	360	3627360
Total		**20100**	**1960**	19748960

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 mempunyai besar :

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	3627360
2	Daerah Perluasan	3627360
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	13753740

Jumlah lampu mercury yang dibutuhkan = $\frac{13753740}{166666,7}$

= 82,5224

≈ 83 buah

Untuk penerangan lain digunakan lampu 40 watt

Untuk lampu TL 40 watt, lumen out put = 26666,6667

Jumlah lampu TL yang dibutuhkan = $\frac{19748960 - 13753740}{26666,6667}$

= 224,8

≈ 225 buah

Kebutuhan listrik untuk penerangan :

= [83 x 250]+[225 x 40]

= 29.750 watt

= 29,750 kWh

Kebutuhan listrik untuk AC kantor = 20 kWh

Supply PLN hanya untuk penerangan dan AC

= 29,7500 + 20,000

= 49,7500 kWh

Untuk menjamin kelancaran dalam penyediaan, ditambah 20 % dari total kebutuhan ,

Sehingga kebutuhan listrik = 1,2 x 49,7500

= 59,7000 kWh

VIII.4.1. Generator Set (Penyediaan Listrik)

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 = 207 kWh

Untuk menjamin kelancaran dalam penyediaan, ditambah 20% dari total kebutuhan

Sehingga kebutuhan listrik = 1,2 x 207

= 248,117 kWh

Kapasitas generator set total = $\frac{248,1171}{80\%}$

= 310,1464 kWh

1 kW = 56,87 Btu/menit

Q generator = 310,1464 x 56,87

= 17.638,0234 Btu/menit

[Perry 6[ed], 1984 Page 1629]

Heating Value minyak bakar = 19.065,6944 Btu/lb

Kebutuhan bahan bakar untuk generator = $\frac{17.638,0234 \text{ Btu/menit}}{19.065,6944 \text{ Btu/lb}}$

= 0,9251 lb/menit

= 25,2002 kg/jam

Jadi dalam perencanaan ini, harus disediakan generator pembangkit tenaga listrik yang dapat menghasilkan daya listrik yang sesuai. Dengan kebutuhan bahan bakar solar sebesar = 25,2002 kg/jam

Berat jenis bahan bakar = 870 kg/m^3 = 0,87 kg/L

Maka kebutuhan bahan bakar = $\frac{25,2002}{0,87}$

= 28,9658 L/jam

= 695,1786 L/hari

Spesifikasi Generator Set :

Fungsi	:	Pembangkit Tenaga Listrik
Kapasitas	:	310,1464 kWh
Power factor	:	80%
Frekuensi	:	50 Hz
Bahan bakar	:	Diesel Oil
Jumlah bahan bakar	:	695,1786 L/hari
Jumlah	:	2 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 untuk generator per jam	=	55,5071	lb/jam
Kebutuhan bahan bakar untuk boiler per jam	=	37.831,8629	lb/jam
Total Minyak Diesel	=	37.887,3700	lb/jam

Densitas minyak diesel = 54,31 lb/cuft

Kapasitas = 697,613 cuft/jam

1 cuft = 28,32 liter

Kapasitas per jam = 19756,4043 L/jam

Direncanakan penyimpanan bahan bakar selama 1 minggu:

Volume bahan = 698 cuft/jam x $\frac{24 \text{ jam}}{1 \text{ hari}}$ x 7 hari

= 117.199,0 cuft

Safety factor = 20%

Volume tangki = 1,1 x 117.199,0

= 128.918,9094 cuft

Menentukan dimensi tangki

Asumsi dimensi ratio : H/D = 1 **(Ulrich Table.4-27)**

Volume silinder $= \frac{1}{4}\, x\, \pi\, x\, Ds^2\, x$ Hs

$= \frac{1}{4}\, x\, 3{,}14\, x\, Ds^2\, x\, 1.5D$

= 0,785 Ds^3

V tutup atas = 0,000049 Ds^3 (Torispherical) **[Brownell : 88]**

Volume tangki = Volume silinder + Volume tutup atas

128918,9094 = 0,785 Ds^3 + 0,000049 Ds^3

128918,9094 = 0,785 D^3

Dt = 54,76 ft = 657,1349 in = 16,6912 m

Ht = 54,76 ft = 657,1349 in = 16,6912 m

Menentukan ukuran tangki dan ketebalannya

Volume liquid = $\frac{\pi}{4}$ x $Dliq^2$ x Hliq

117199,0086 = 0,785 $Dliq^3$

Dliq = 53,05 ft = 636,5991 in = 16,1696 m

Hliq = 53,05 ft = 636,5991 in = 16,1696 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 = ρ x g/gc x H_{liq}

$$= 54{,}3100 \ \frac{lbm}{cuft} \times 1 \ \frac{lbf}{lbm} \times 53{,}05 \ ft$$

$$= 2881{,}1413 \ \frac{lbf}{ft^2}$$

$$= 20{,}0079 \ Psi$$

Asumsi P design 10% lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 1,1 x 20,0079
= 22,0087 Psi

<u>Menentukan tebal minimun shell</u>

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 = 0,1250 in)
E = faktor pengelasan, digunakan double welded

e = 0,800
f = stress allowable, bahan konstruksi carbon steel SA-283
grade C, maka f = 12.650 **[Brownell, Table.13-1]**

ri = 0,5 x 657,1349
= 328,5674 in

$$t_{min} = \frac{P \times ri}{fe - 0.6P} + C$$

$$= \frac{22{,}0087 \times 328{,}567}{10.120 - 13{,}2052} + \frac{1}{8}$$

$$= 0{,}7155 + 0{,}1250$$

= 0,8405 in maka , digunakan ts = 1,0 in

<u>Menentukan dimensi tutup atas dan bawah (Torispherical dished)</u>

Tutup atas berbentuk standart dished head

OD = ID + 2ts
= 657,13 + 2 x 1

= 659,13 in = 54,928 ft
rc = 329,57 in = 27,4640 ft

Tinggi tutup (h) = $rc - \left[rc^2 - \frac{D^2}{4}\right]^{0,5}$ **(Hesse : 4-14)**

= $53.4168 - \left[53.4168^2 - \frac{106.6670}{4}\right]^{0,5}$

= 25,3261 ft

Volume dishead = 1,1 x h^2 x (3rc - h)
= 1,1 x 641,412 x (3 x 27,46 - 25,33)
= 58106,4982 cuft

Bentuk : Flanged and standart dished head

Tebal standart torispherical dished (atas) :
(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)

$$t = \frac{0,885 \times 22,0087 \times 329,5674}{(12.650 \times 0,80) - (0,1 \times 22,0087)} + \frac{1}{8}$$

= 0,7594 + 0,1250
= 0,8844 in

Maka , digunakan tebal head = 1,0 in

Spesifikasi Tangki Penyimpanan Bahan Bakar Solar :

Nama alat	:	Menyimpan bahan bakar diesel oil untuk kebutuhan generator dan boiler.
Tipe	:	Tangki Silinder Vertikal dengan plat datar (flat bottom) dan atap torispherical dished
Kapasitas	:	128.918,909 cuft
Diameter	:	54,8 ft
Tinggi	:	54,8 ft
Tebal shell	:	1,0 in
Tebal tutup	:	1,0 in
Bahan konstruksi	:	Carbon Steel SA-283 grade C
Jumlah	:	1 Buah