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 Penyediaan *Steam*
   Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan *steam* pada proses
3. Unit Pembangkit Tenaga Listrik
   Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan listrik bagi alat bangunan, jalan raya dan lain sebagainya.
4. Unit Bahan Bakar
   Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan bahan bakar bagi alat-alat, generator, boiler dan sebagainya.

VII.1 Unit Penyediaan Steam

Unit Penyediaan Steam berfungsi untuk menyediakan kebutuhan steam yang digunakan sebagai media pemanasan pada proses Pabrik Butil Oleat ini. Direncanakan boiler menghasilkan moderate pressure steam dengan tekanan 4.51 bar dan suhu 148 °C. (Ulrich, Appendix B)

Boiler 1

Kebutuhan boiler pada :

Boiler dengan T = 148 ^{o}C **(Ulrich Appendix B, Hal 426)**
= 421,15 K
P = 4,5 bar

Tabel VII.1 Jumlah Steam yang dibutuhkan

No	Nama Alat	Kode Alat	Kebutuhan steam	
			kg/jam	lb/jam
1	Heater-1	E-122	5,9131	13,0361
2	Heater-2	E-132	520,7063	1147,9595
3	Heater-3	E-142	435,0498	959,1194
4	Heater-5	E-232	1171,9215	2583,6416
Total kebutuhan steam			2133,5906	4703,7566

Untuk faktor keamanan digunakan 20% belebih

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

Total steam = 120% x kebutuhan steam total
= 120% x 4703,756601 lb/jam
= 5644,507921 lb/jam
= 135468,1901 lb/hari

a. Menghitung Kebutuhan Bahan Bakar

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

dimana :

m_f = massa bahan bakar yang dipakai (lb/jam)

m_s = massa steam yang dihasilkan (lb/jam)

h_v = enthalpy uap yang dihasilkan (BTU/lb)

= entalpi uap pada tekanan dan suhu yang diamati = 4,5 atm dan 148 ºC

h_f = enthalpy liquida masuk (BTU/lb)

= entalpi air umpan pada tempratur yang diamati saat air mencapai titik d

e_b = efisiensi boiler 85-92% **(Severn, W.H, hal 142)**

F = nilai kalor bahan bakar (Btu/lb)

ditetapkan efisiensi boiler = 92 %

hv = 2743 kJ/kg
= 655,593458 kkal/kg
= 1180,068224 Btu/lb **(Smith 7ed Tabel F.3 hal 757)**

hl = 623,5 kJ/kg
= 149,020241 kkal/kg
= 268,2364338 Btu/lb **(Smith 7ed Tabel F.3 hal 756)**

Digunakan Petroleum Fuels Oil 33º API (0,22% Sulfur)

Dari Perry 9Ed.Tabel 24-5, diperoleh

$$\text{Relative density} = \frac{141{,}5}{^{o}API + 131{,}5}$$

$$= \frac{141{,}5}{33 + 131{,}5}$$

= 0,8602

ρ reff (H2O) = 1 gr/ml

$$\text{relative density} = \frac{\rho \text{ bahan bakar}}{\rho \text{ reff}}$$

ρ bahan bakar = relative density x ρ reff

= 0,8602 x 1 gr/ml
= 0,8602 gr/ml
= 53,699 lb/ft^3
= 7,1774 lb/gal
Heating value = 138390 Btu/gal **(Perry 7ed ; Fig. 27-3, Hal. 27 - 10)**

$$\text{Kalor bahan bakar (F)} = \frac{\text{Heating value}}{\rho \text{ bahan bakar}}$$
$$= \frac{138390 \text{ Btu/gal}}{7{,}1774 \text{ lb/gal}}$$
$$= 19281{,}36 \text{ Btu/lb}$$

Sehingga, didapatkan kebutuhan bahan bakar :

$$m_f = \frac{m_s\,(h_v - h_f)}{e_b \cdot F} \times 100 \qquad \textit{(Severn,W.H, hal 42)}$$

$$m_f = \frac{5.644{,}51 \times (1180{,}068 - 268{,}2364)}{92 \times 19281{,}35537 \text{ Btu/lb}} \times 100$$
$$= 290{,}15 \text{ lb/jam}$$
$$= 131{,}6075536 \text{ kg/jam}$$

b. Menghitung Kapasitas Boiler

$$Q = \frac{m_s\,(h_v - h_f)}{1000} \qquad \textbf{(Severn, W.H, pers. 171)}$$
$$= \frac{5.644{,}51 \times (1180{,}068 - 268{,}2364)}{1000}$$
$$= 5146{,}842 \text{ kBtu/jam}$$

c. Menentukan Horse Power Boiler

Untuk penentuan Boiler Horse power, digunakan persamaan :

$$hp = \frac{m_s\,(h_v - h_f)}{970{,}3 \times 34{,}5} \qquad \textbf{(Severn, pers 172 hal 140)}$$

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

sehingga,

$$hp = \frac{m_s\,(h_v - h_f)}{970{,}3 \times 34{,}5}$$

$$hp = \frac{5644{,}507921 \times (1180{,}068224 - 268{,}2364338)}{970{,}3 \times 34{,}5}$$

= 153,750 hp
= 154,000 hp

d. Menentukan Heating Surface Boiler

Untuk 1 Hp boiler dibutuhkan 10 ft^2 heating surface

(Severn, W.H ; Page 140)

Total Heating Surface = 10 ft^2 x 154,000
= 1540 ft^2

e. Kebutuhan Air untuk Pembuatan Steam

Air yang dibutuhkan diambil 20% lebih dari jumlah steam yang dibutuhka
untuk faktor keamanan

Kebutuhan steam = 5644,508 lb/jam
Kebutuhan air = 120% x Kebutuhan steam
= 120% x 5644,508 lb/jam
= 6773,409505 lb/jam
= 162561,8281 lb/hari

ρ air = 62,43 lb/ft^3

Volume air = $\frac{\text{Massa air}}{\text{Densitas air}}$

= $\frac{162561{,}8 \text{ lb/hari}}{62{,}43 \text{ lb/ft}^3}$

= 2603,906 ft^3/hari
= 73,73427 m^3/hari
= 3,072261 m^3/jam

Air kondensat dari hasil pemanasan direcycle kembali ke boiler. Dianggap kehilangan air kondensat sebesar 20%. Maka air yang ditambahkan sebagai make up water adalah,

make up water = 20% x Volume air
= 20% x 3,072261 m^3/jam
= 0,614452 m^3/jam
= 14,74685 m^3/hari

Air yang menguap 5% dari kebutuhan air di boiler

Air yang menguap = 5% x 14,747 m^3/hari
= 0,737343 m^3/hari

Blowdown pada boiler adalah 15% dari kebutuhan air di boiler

Blowdown = 15% x 14,747 m^3/hari
= 2,21 m^3/hari

Kebutuhan total = kebutuhan air di boiler + make up water + air yang mengua + blowdown
= 73,73427 + 14,74685 + 0,737343 + 2,21
= 91,43 m^3/hari

Spesifikasi :

Nama alat	=	Boiler
Kode	=	B-350
Fungsi	=	Mengubah air menjadi steam untuk memenuhi kebutuhan proses
Tekanan Steam	=	4,5 bar
Suhu Steam	=	148 ^oC
Type	=	Fire tube boiler (tekanan steam <10 atm)
Heating surface	=	1540 ft^2
Kapasitas boiler	=	5146,842 kiloBTU/jam
Rate steam	=	6773,41 lb/jam
Efisiensi	=	92 %
Power	=	154 Hp
Bahan bakar	=	Petroleum Fuels Oil 33^{o}API
Rate bahan bakar	=	290,1452 L/jam
Kebutuhan air	=	91,4305 m^3/hari
Make up water (20%)	=	14,74685 m^3/hari
Jumlah	=	1 buah

Boiler 2

Unit Penyediaan Steam berfungsi untuk menyediakan kebutuhan steam yang digunakan sebagai media pemanasan pada proses Pabrik Butil Oleat ini. Direncanakan boiler menghasilkan moderate pressure steam dengan tekanan 45 bar dan suhu 400 ºC. (Ulrich, Appendix B)

Kebutuhan boiler pada :

Boiler dengan T = 400 ^oC
= 673,15 K
P = 45 bar

Tabel VII.2 Jumlah Steam yang dibutuhkan

No	Nama Alat	Kode Alat	Kebutuhan steam	
			kg/jam	lb/jam
1	Reboiler-1	E-315	774,8285187	1708,202449
2	Reboiler-2	E-325	335,11838	738,8086829
Total kebutuhan steam			1109,946899	2447,011132

Untuk faktor keamanan digunakan 20% belebih

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

Total steam = 120% x kebutuhan steam total
= 120% x 2447,011132 lb/jam
= 2936,413358 lb/jam
= 70473,92059 lb/hari

a. Menghitung Kebutuhan Bahan Bakar

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

dimana :

m_f = massa bahan bakar yang dipakai (lb/jam)

m_s = massa steam yang dihasilkan (lb/jam)

h_v = enthalpy uap yang dihasilkan (BTU/lb)

= entalpi uap pada tekanan dan suhu yang diamati = 45 bar dan 400 ^oC

h_f = enthalpy liquida masuk (BTU/lb)

= entalpi air umpan pada tempratur yang diamati saat air mencapai titik d

e_b = efisiensi boiler 85-92% **(Severn, W.H, hal 142)**

F = nilai kalor bahan bakar (Btu/lb)

ditetapkan efisiensi boiler = 92 %

Steam Table

hv = 3241,14 kJ/kg
= 774,6519068 kkal/kg
= 1394,373432 Btu/lb **(Smith 7ed Tabel F.3 hal 757)**

hl = 2256,9178 kJ/kg
= 539,4168957 kkal/kg
= 970,9504123 Btu/lb **(Smith 7ed Tabel F.3 hal 756)**

Digunakan petroleum fuels oil 33°API (0,22% sulfur) (perry 7ed, T.27-6) dari perry 7ed, Fig,27-3, didapat :

$$\text{Relative density} = \frac{141{,}5}{{}^{o}\text{API} + 131{,}5}$$

$$= \frac{141{,}5}{33 + 131{,}5}$$

$$= 0{,}8602$$

ρ reff (H2O) = 1 gr/ml

$$\text{relative density} = \frac{\rho \text{ bahan bakar}}{\rho \text{ reff}}$$

ρ bahan bakar = relative density x ρ reff
= 0,8602 x 1 gr/ml
= 0,8602 gr/ml
= 53,699 lb/ft^3
= 7,1774 lb/gal

Heating value = 138390 Btu/gal **(Perry 7ed ; Fig. 27-3, Hal. 27 - 10)**

$$\text{Kalor bahan bakar (F)} = \frac{\text{Heating value}}{\rho \text{ bahan bakar}}$$

$$= \frac{138390 \text{ Btu/gal}}{7{,}1774 \text{ lb/gal}}$$

$$= 19281{,}36 \text{ Btu/lb}$$

Sehingga, didapatkan kebutuhan bahan bakar :

$$m_f = \frac{m_s\ (h_v - h_f)}{e_b\ .\ F} \times 100$$ ***(Severn,W.H, hal 42)***

$$m_f = \frac{2.936{,}41 \times (1394{,}373 - 970{,}9504)}{92 \times 19281{,}35537 \text{ Btu/lb}} \times 100$$

= 70,09 lb/jam
= 31,79301072 kg/jam

b. Menghitung Kapasitas Boiler

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

$$= \frac{2.936{,}41 \times \times (1394{,}373 - 970{,}9504)}{1000}$$

= 1243,345 kBtu/jam

c. Menentukan Horse Power Boiler

Untuk penentuan Boiler Horse power, digunakan persamaan :

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

Dimana :

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

sehingga,

$$hp = \frac{m_s\,(h_v - h_f)}{970,3 \times 34,5}$$

$$hp = \frac{2936,413358 \times (1394,373432 - 970,9504123)}{970,3 \times 34,5}$$

$$= 37,142 \text{ hp}$$

$$= 38,000 \text{ hp}$$

d. Menentukan Heating Surface Boiler

Untuk 1 Hp boiler dibutuhkan 10 ft^2 heating surface

(Severn, W.H ; Page 140)

Total Heating Surface = 10 ft^2 x 38,000

= 380 ft^2

e. Kebutuhan Air untuk Pembuatan Steam

Air yang dibutuhkan diambil 20% lebih dari jumlah steam yang dibutuhka untuk faktor keamanan

Kebutuhan steam = 2936,413 lb/jam

Kebutuhan air = 120% x Kebutuhan steam

= 120% x 2936,413 lb/jam

= 3523,69603 lb/jam

= 84568,70471 lb/hari

ρ air = 62,43 lb/ft^3

$$\text{Volume air} = \frac{\text{Massa air}}{\text{Densitas air}}$$

$$= \frac{84568,7 \text{ lb/hari}}{62,43 \text{ lb/ft}^3}$$

= 1354,616 ft^3/hari

= 38,3584 m^3/hari

= 1,598267 m^3/jam

Air kondensat dari hasil pemanasan direcycle kembali ke boiler. Dianggap kehilangan air kondensat sebesar 20%. Maka air yang ditambahkan sebagai make up water adalah,

make up water = 20% x Volume air
= 20% x 1,598267 m^3/jam
= 0,319653 m^3/jam
= 7,671681 m^3/hari

Air yang menguap 5% dari kebutuhan air di boiler

Air yang menguap = 5% x 7,672 m^3/hari
= 0,383584 m^3/hari

Blowdown pada boiler adalah 15% dari kebutuhan air di boiler

Blowdown = 15% x 7,672 m^3/hari
= 1,15 m^3/hari

Kebutuhan total = kebutuhan air di boiler + make up water + air yang mengua + blowdown
= 38,3584 + 7,671681 + 0,383584 + 1,15
= 47,56 m^3/hari

Spesifikasi :

Nama alat	=	Boiler 2
Kode	=	B-351
Fungsi	=	Mengubah air menjadi steam untuk memenuhi kebutuhan proses
Suhu Steam	=	400 ^oC
Heating surface	=	380 ft^2
Kapasitas boiler	=	1243,345 kiloBTU/jam
Rate steam	=	3523,696 lb/jam
Efisiensi	=	92 %
Power	=	37 Hp
Bahan bakar	=	Petroleum Fuels Oil 33^{o}API
Rate bahan bakar	=	70,09165 L/jam
Kebutuhan air	=	47,56442 m^3/hari
Make up water (20%)	=	7,671681 m^3/hari
Jumlah	=	1 buah

VII.2. Unit Penyediaan Air

Air di dalam pabrik memegang peran penting dan harus memenuhi persyaratan tertentu yang disesuaikan dengan masing - masing keperluan didalam pabrik. Penyediaan air untuk pabrik Dibutyl Phtalate ini direncanakan dari air sungai.

Air sungai sebelum masuk ke dalam bak penampung dilakukan penyaringan lebih dahulu dengan memasang sekat-sekat kayu agar kotoran-kotoran tersebut terhalang dan tidak ikut masuk dalam tangki penampung (reservoir). Dari tangki penampung kemudian dilakukan pengolahan (dalam unit *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 lain sebagainya Pada umumnya air sanitasi harus memenuhi syarat kualitas Standar baku mutu a sanitasi diatur dalam Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 3 tahun 2017 Standar baku mutu air sanitasi dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel VII.1 Standar Baku Mutu Air Sanitasi

No.	**Parameter**	**Unit**	**Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum)**
1	Kekeruhan	NTU	25
2	Warna	TCU	50
3	Zat padat terlarut	mg/l	1000
4	Suhu	℃	suhu udara ± 3
5	Rasa		tidak berasa
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

Berikut adalah kebutuhan air sanitasi dalam pabrik ini:

1. Karyawan
   Asumsi kebutuhan air untuk karyawan = 30 liter/hari per orang
   Jumlah karyawan pabrik = 168 orang
   maka, kebutuhan air = 30 liter/hari x 168 orang
   = 5044,3 L/hari
   = 5,0443 m^3/hari
2. Keperluan laboratorium = 20 m^3/hari
3. Untuk menyiram kebun dan kebersihan pabrik = 10 m^3/hari
4. Cadangan diperkirakan 20% dari kebutuhan air
   = 20% x 35,044 = 7,008866 m^3/hari

Total kebutuhan air sanitasi = 5,04 + 20 + 10 + 7
= 42,05 m^3/hari
= 1,75 m^3/jam

VII.2.2 Air Umpan Boiler

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

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

Kebutuhan air umpan boiler dapat diketahui pada perhitungan boiler.

Kebutuhan air untuk boiler = 5,7915 m^3/jam
= 138,99 m^3/hari

VII.2.3 Air Pendingin

Untuk kelancaran dan efisiensi kerja dari air pendingin, maka perlu diperhatikan persyaratan untuk air pendingin dan air umpan boiler : **(Lamb :**

Tabel VII.2 Syarat Air Pendingin

Karakteristik	Kadar Maximum (ppm)	
	Air Boiler	Air Pendingin
Silica	0,7	50
Aluminum	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 didinginkan kembali dalam cooling tower, sehingga perlu sirkulasi air pendingin, maka disediakan pengganti kebutuhan air pendingin :

Tabel VII.5 Kebutuhan Air Pendingin

No	Nama Alat	Kode Alat	Kebutuhan steam	
			kg/jam	lb/jam
1	Reaktor	R-210	858,0046	1891,5741
2	Netralizer	N-220	630,2478	1389,4569
3	Cooler-1	E-212	30601,8369	67465,4216
4	Cooler-2	E-314	2755,3424	6074,4830
5	Kondensor-1	E-311	31620,9549	69712,1895
Total kebutuhan air pendingin			66466,3865	146533,1251

Untuk faktor keamanan dari kebocoran-kebocoran yang terjadi, maka direncanakan air pendingin yang dihasilkan yakni 20% lebih banyak dari kebutuhan total air pendingin

Kebutuhan air pendingin = 120% x kebutuhan total air pendingin
= 120% x 66466,38652 kg/jam
= 79759,664 kg/jam
= 175839,750 lb/jam

Cooling Tower

Fungsi = Mendinginkan air pendingin yang sudah terpakai.

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

Kebutuhan Cooling Water = 79759,6638 kg/jam
= 175839,7501 lb/jam

Densitas air = 1000 kg/m^3

$$\text{Volume air} = \frac{\text{Massa air}}{\text{Densitas}}$$

$$= \frac{79759{,}66 \ \text{kg/jam}}{1000 \ \text{kg/m}^3}$$

= 79,75966383 m^3/jam
= 1914,231932 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 Volume air
= 90% x 79,75966 m^3/jam
= 71,7837 m^3/jam
= 1722,809 m^3/hari

Air yang harus ditambahkan sebagai make up water adalah
make up water = 10% x Volume air
= 10% x 79,75966 m^3/jam
= 7,9760 m^3/jam
= 191,4232 m^3/hari

Jadi, total kebutuhan air (disirkulasi) sebesar :

Kebutuhan total air = Air yang disirkulasi + Make up water
= 71,78369744 m^3/jam + 7,9760 m^3/jam
= 79,7597 m^3/jam
= 1914,231932 m^3/hari
= 351,2615595 gpm

Jadi, total kebutuhan air disirkulasi sebesar = 351,2615595 gpm

Perancangan Cooling Tower

Fungsi : Mendinginkan air pendingin yang sudah terpakai

Rate Volumetrik = 79,7597 m^3/jam
= 351,2615595 gpm

Digunakan udara sebagai pendingin dengan relative humidity 70%

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

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

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

T *dry bulb* = T_{db} = 30 ^oC = 86 ^oF

T *wet bulb* = T_{wb} = 26 ^oC = 78,8 ^oF

Temperature approach = $T_2 - T_{wb}$
= 86 ^oF - 78,8 ^oF
= 7,2 ^oF

Temperature range = $T_1 - T_2$
= 113 ^oF - 86 ^oF
= 27 ^oF

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

(Perry 8^{ed}, Fig 12-8c)

Luas area pendingin = $\dfrac{351{,}26 \text{ gpm}}{2 \text{ gpm/ft}^2}$
= 175,631 ft^2

1. **Perhitungan Make Up Water (Wm)**
   a. Aliran air sirkulasi masuk cooling tower (Wc)

      Wc = 1914,231932 m^3/hari
      = 79,75966383 m^3/jam

   b. Evaporation Loss (We)

      We = 0,00085 x Wc (T_1-T_2) **(Perry 7ed hal 12-17)**
      = 0,00085 x 79,75966 m^3/jam x (113 - 86) ^oF
      = 1,8305 m^3/jam

c. Water drift loss (Wd)

Air yang keluar karena fan berputar, untuk ini standarnya 0,1-0,2% jumlah air yang bersirkulasi. **(Perry 7ed. Hal 12-17)**

Wd = 0,2% x Wc

= 0,2% x 79,7597 m^3/jam

= 0,1595 m^3/jam

d. Water blow down (Wb) :

Air yang dibuang untuk menurunkan konsentrasi padatan dalam air sirkula

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

Dipilih S = 5 **(Perry 7ed. Hal 12-17)**

maka,

$$Wb = \frac{We - (S - 1) \times Wd}{S - 1}$$ **(Perry 7ed. Hal 12-17)**

$$= \frac{1{,}830 \ m^3/jam - (5 - 1) \times 0{,}1595 \ m^3/jam}{5 - 1}$$

= 0,2981 m^3/jam

e. Total Make Up Water (Wm)

Wm = We + Wd + Wb

= (1,8305 + 0,1595 0,2981) m^3/jam

= 2,2881 m^3/jam

2. Perhitungan Dimensi Cooling Tower

a. Luas Permukaan (A)

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

$$A = \frac{Q\ masuk}{c}$$

$$= \frac{351{,}2616 \ gpm}{2{,}2 \ gpm/ft^2}$$

= 159,6643 ft^2

= 48,66569 m^2

b. Diameter Cooling Tower (D)

$$A = \frac{1 \times \pi \times D^2}{4}$$

159,6643 ft^2 = 0,785 x D^2

D^2 = 203,3941 ft^2

D = 14,26163 ft
D = 4,346945 m

c. Tinggi Cooling Tower

Jika temperatur approach mendekati 8 °F dengan temperatur range pendinginan dari 25-35 °F, dibutuhkan tinggi menara 35-40 ft. Dilakukan interpolasi untuk mendapatkan tinggi menara dengan range 27 °F.

Temperature Approach = 7,2 °F
Temperature Range = 27 °F

Maka, diperoleh tinggi menara sebesar :

$$\frac{27\ ^{o}F - 25\ ^{o}F}{35\ ^{o}F - 25\ ^{o}F} = \frac{y\ ft - 35\ ft}{40\ ft - 35\ ft}$$

$$\frac{2\ ^{o}F}{10\ ^{o}F} = \frac{y\ ft - 35\ ft}{5\ ft}$$

$$y = 36\ ft$$

Jadi, tinggi cooling tower (H) adalah = 36 ft
= 10,9728 m

Berdasarkan Perry 9th ed, 2019 hh. 12-16, diperoleh :

a. Jumlah deck = 12 buah
b Kecepatan angin = 3 mil/jam

Menghitung Power Motor Penggerak Fan Cooling Tower

Dengan performance cooling tower sebesar 90% maka diperoleh :

Power fan = 0,031 hp/ft^2
= A x Power fan
= 159,6643 ft^2 x 0,031 hp/ft^2
= 4,949595 hp

Efisiensi Fan = 80%

$$\text{Fan Power} = \frac{\text{Tenaga yang dibutuhkan}}{\text{Efisiensi Fan}} = \frac{4,949595}{80\%} = 6,186993\ hp \approx 6\ hp$$

Spesifikasi

Nama Alat	:	Cooling Tower
Kode	:	L-360
Fungsi	:	Mendinginkan air yang akan digunakan untuk pendingin (cooling water) dalam proses
Power	:	6 hp
Kapasitas	:	79,75966383 m^3/jam

Dimensi Cooling Tower

Diameter	:	4,346945 m
Tinggi	:	10,9728 m
Luas	:	48,66569 m^2
Jumlah deck	:	12 buah
Jumlah	:	1 buah

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 dipompa ke bak penampung yang terlebih dahulu dilakukan penyaringan dengan cara memasang serat kayu agar kotoran bersifat makro akan terhalang dan tidak ikut masuk ke bak koagulasi dan flokulasi. Selanjutnya air sungai dipompa ke clarifier. Pada bak pengendapan ini kotoran-kotoran akan mengendap dan membentuk flok-flok yang sebelum-nya pada bak koagulasi dan flokulasi diberikan alum dan PAC. Air lalu ditampung pada bak 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 didistribusikan sesuai kebutuhan.

Adapun kebutuhan air dalam Pabrik Butil Oleat yaitu

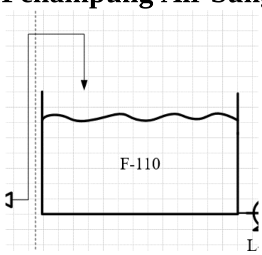
1. Air Sanitasi	=	42,0532	m^3/jam
2. Air Umpan Boiler	=	5,7915	m^3/jam
3. Air Pendingin (Cooling Water)	=	79,7597	m^3/jam
		127,6043	m^3/jam
		3062,504	m^3/hari

Untuk faktor keamanan akibat kehilangan air sepanjang jalur pipa yang dilalu air dalam perjalanan, maka kebutuhan air sungai dilebihkan 20% dari total kebutuhan

Total kebutuhan air sungai = 120% x Kebutuhan awal air
= 120% x 127,6043152 m^3/jam
= 153,1251783 m^3/jam
= 3675,004279 m^3/hari

VII.3.1 Spesifikasi Alat Pengolahan Air (Water Treatment)

1. Bak Penampung Air Sungai (F-110)



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

Waktu tinggal = 12 jam
Direncanakan jumlah bak sebanyak 5 buah, maka rate volumetrik masing-masing bak penampung sebesar

$$\text{Rate Volumetrik} = \frac{153,1251783}{5}\ m^3/\text{jam}$$

= 30,62503566 m^3/jam
= 735,0008558 m^3/hari

Asumsi :
Padatan yang mengendap dalam bak yaitu 10% dari air yang masuk (Q).

Q = Q1 + Q2

Keterangan
Q = Air Sungai
Q1 = Air Sungai tanpa padatan (bersih)
Q2 = Padatan yang terkandung mengalami pengendapan

Menghitung Padatan yang mengendap
Q2 = 10% x Q masuk
= 10% x 153,1251783 m^3/jam

= 15,31251783 m^3/jam
= 367,5004279 m^3/hari

Menghitung Banyaknya Air Bersih dalam Bak Penampung

Q = Q1 + Q2
Q1 = Q - Q2
= 153,1251783 m^3/jam - 15,31251783 m^3/jam
= 137,8126605 m^3/jam
= 3307,503851 m^3/hari

a. Volume Air Sungai dalam Bak Penampung

Volume air sungai = Rate Volumetrik x Waktu tinggal
= 30,62503566 m^3/jam x 12 jam
= 367,5004279 m^3

Asumsi :
Air sungai yang memenuhi bak penampung = 80%

$$\text{Volume bak penampung} = \frac{\text{Volume air sungai}}{80\%} = \frac{367{,}5004279 \ m^3}{80\%} = 459{,}3755349 \ m^3$$

b. Dimensi Bak Penampung Air Sungai

Asumsi :
Tinggi = T
Panjang = 2T
Lebar = 2T

Volume bak penampung = P x L x T
459,3755349 m^3 = 2T x 2T x T
459,3755349 m^3 = 4 T^3

$$T^3 = \frac{459{,}3755349 \ m^3}{4}$$

T = 4,784489407 m

maka, nilai panjang dan lebar diperoleh :

P = 2 x T
= 2 x 4,784489407 m
= 9,568978813 m

L = 2 x T
= 2 x 4,784489407 m
= 9,568978813 m

c. Menghitung Tinggi Liquid

Volume air sungai = P x L x T cairan
367,5004279 m^3 = 9,568979 m x 9,568979 m x T cairan
367,5004279 m^3 = 91,56536 m^2 x T cairan
T cairan = 4,013531382 m

Spesifikasi

Nama Alat	:	Bak Penampung Air Sungai
Kode	:	F-110
Fungsi	:	Menampung air sungai sebelum diproses menjadi air bersih
Tipe	:	Bak berbentuk persegi panjang
Bahan Konstruks	:	Beton
Waktu tinggal	:	12 Jam
Rate Volumetrik	:	137,8126605 m^3/jam

Dimensi Bak Penampung

Panjang	:	9,568978813 m
Lebar	:	9,568978813 m
Tinggi	:	4,784489407 m
Jumlah	:	5 Buah

2. Tangki Koagulasi

Fungsi : Tempat terjadinya koagulasi dengan penambahan $Al_2(SO_4)$ untuk destabilisasi kotoran dalam air yang tak dikehendaki
Tipe : Tangki berbentuk silinder dengan pengaduk
Waktu tinggal = 5 menit
= 0,0833 jam
Rate Volumetrik = 137,8126605 m^3/jam
= 137812,6605 L/jam

a. Menghitung Kebutuhan Koagulan

Diketahui

Dosis $Al_2(SO_4)_3$	=	20	mg/L	**(AWWA : T . 5-2 : 92)**
Kelarutan $Al_2(SO_4)_3$	=	250	gr/L	
Densitas $Al_2(SO_4)_3$	=	1,1293	kg/L	

maka,

Kebutuhan $Al_2(SO_4)_3$ = Dosis $Al_2(SO_4)_3$ x Rate Volumetrik
= 20 mg/L x 137812,6605 L/jam
= 2756253,209 mg/jam
= 2756,253209 gram/jam
= 2,756253209 kg/jam

Volume $Al_2(SO_4)_3$ $= \dfrac{\text{Kebutuhan } Al_2(SO_4)_3}{\text{Densitas } Al_2(SO_4)_3}$
$= \dfrac{2{,}756253209 \text{ kg/jam}}{1{,}1293 \text{ kg/L}}$
= 2,440674054 L/jam
= 0,002440674 m^3/jam

Kebutuhan air untuk melarutkan $Al_2(SO_4)_3$ $= \dfrac{\text{Kebutuhan } Al_2(SO_4)_3}{\text{Kelarutan } Al_2(SO_4)_3}$
$= \dfrac{2756{,}253209 \text{ gram/jam}}{250 \text{ gram/L}}$
= 11,02501284 L/jam
= 0,011025013 m^3/jam

Larutan koagulan = Volume $Al_2(SO_4)_3$ + Kebutuhan air
= 0,002440674 m^3/jam + 0,011025013 m^3/jam
= 0,013465687 m^3/jam

maka,
Rate volumetrik tangki koagulasi
Q2 = Q1 + Larutan koagulan
= 137,8126605 m^3/jam + 0,013465687 m^3/jam
= 137,8261261 m^3/jam
= 3307,827027 m^3/hari

a. Menentukan Volume Liquid dan Tangki

Volume Liquid = Rate Volumetrik x Waktu tinggal
= 137,8126605 m^3/jam x 0,0833 jam
= 11,48438837 m^3

Volume tangki koagulasi direncanakan 80% terisi liquid, sehingga :
Volume tangki koagulasi $= \dfrac{\text{Volume liquid}}{80\%}$

$$= \frac{11{,}48438837 \text{ m}^3}{80\%}$$

$$= 14{,}35548546 \text{ m}^3$$

b. Menentukan Dimensi Tangki Koagulasi

Asumsi : H = 2 D

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

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

$$14{,}35548546 \text{ m}^3 = 1{,}57 \; D^3$$

$$D^3 = \frac{14{,}35549 \text{ m}^3}{1{,}57}$$

$$D^3 = 9{,}143621 \text{ m}^3$$

$$D = 2{,}075721 \text{ m}$$

maka, tinggi tangki diperoleh sebesar

$$H = 2 \times D$$

$$= 2 \times 2{,}075721 \text{ m}$$

$$= 4{,}151442 \text{ m}$$

Tinggi Liquid dalam Tangki (HL)

$$\text{Volume liquid} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times HL$$

$$\text{Volume liquid} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times HL$$

$$11{,}48438837 \text{ m}^3 = 0{,}785 \times 4{,}3086 \times HL$$

$$HL = 3{,}395472 \text{ m}$$

Jadi, tinggi liquid dalam tangki sebesar 3,395472 m

c. Perencanaan Sistem Pengaduk

Jumlah Impeller (Pengaduk) antara 4 - 16 , tetapi umumnya 6 atau 8 **(McCabbe 5ed pg. 243)**

Dalam tangki koagulasi dilengkapi dengan pengaduk tipe Flat Blade Turbin dengan jumlah blade = 6 Blades

Dt	=	3	Da
H	=	1	Dt
Dt	=	3	E
Da	=	1	W

Fig. 9.7 Mc. Cabe 7ed , 2005 p. 247

Dt	=	3	Da
H	=	1	Dt

Keterangan

Dt = Diameter tangki

$= 2{,}0757\ m$

Da = Diameter impeller

$Da = \frac{1}{3} \times Dt$

$= \frac{1}{3} \times 2{,}0757\ m$

$= 0{,}691907\ m$

E = Jarak impeller ke dasar

$E = \frac{1}{3} \times Dt$

$= \frac{1}{3} \times 2{,}0757\ m$

$= 0{,}691907\ m$

J = Lebar baffle

$J = \frac{1}{12} \times Dt$

$= \frac{1}{12} \times 2{,}0757\ m$

$= 0{,}172977\ m$

W = Lebar blade

$= \frac{1}{5} \times Da$

$= \frac{1}{5} \times 0{,}691907\ m$

$= 0{,}138381\ m$

L = Panjang blade

$L = \frac{1}{4} \times Da$

$= \frac{1}{4} \times 0{,}691907\ m$

$= 0{,}172977\ m$

Perhitungan Putaran Pengaduk

v = π x Da x N **(Mc. Cabe 7ed , 2005)**

Keterangan :

v = Peripheral speed (m/menit)
Da = Diameter impeller (m)
N = Putaran pengaduk (rpm)

Untuk pengaduk jenis turbine :

Peripheral speed = 200-250 m/menit **(Joshi, hal. 415)**

Diambil putaran pengaduk dengan

N = 80 rpm
= 1,33 rps

Maka,

v = π x Da x N
= 3,14 x 0,691907 m x 80 rpm
= 173,8070533 m/menit

Perhitungan Jumlah Pengaduk

ρ campuran = 995,6019 kg/m^3
= 62,1554 lb/ft^3
ρ reff H2O = 62,48 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho\ \text{campuran}}{\rho\ \text{reff}\ H_2O} = \frac{62{,}1554\ lb/ft^3}{62{,}48\ lb/ft^3} = 0{,}994804738$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{\text{Tinggi liquid} \times \text{sg bahan}}{\text{Diameter tangki}} = \frac{3{,}395472\ m \times 0{,}994805}{2{,}0757} = 1{,}1451 \approx 1\ \text{buah}$$

Perhitungan Bilangan Reynolds

sg reff = 1 **(Tabel 6, hh.808)**
μ reff = 0,8 cp **(Fig. 14, hh. 823)**

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

$$= \frac{0{,}994805 \times 0{,}8}{1} \text{ cP}$$

$$= 0{,}795844 \text{ cP}$$

$$= 0{,}000535 \text{ lb/ft.detik}$$

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

$$= \frac{995{,}6019 \times 0{,}478735 \times 1{,}333333}{0{,}0005}$$

$$= 1188347{,}763 \quad \text{(aliran turbulen)}$$

Karena Nre > 10000, maka digunakan baffle .

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

(Perry, 9ed, 2019)

Perhitungan Power Pengaduk

Untuk Nre > 10000 perhitungan power pengaduk dengan persamaan:

$$P = \frac{KT \times N^3 \times Da^5 \times \rho}{g} \qquad \textbf{(McCabe Eq. 9.24)}$$

Dengan,

P	=	power pengaduk (hp)			
KT	=	Faktor mixer (Turbin)	=	6,30	
g	=	konstanta gravitasi	=	32,2	ft/dt²×lbm/lbf
ρ	=	Densitas campuran (lb/cuft)	=	1000	kg/m3
N	=	Kecepatan putaran impeller (rps)	=	1,3333	rps
Da	=	Diameter impeller (ft)	=	0,6919	m

$$P = \frac{KT \times N^3 \times Da^5 \times \rho}{g}$$

$$= \frac{6{,}30 \times 2{,}37 \times 0{,}1586 \times 1000}{32{,}2}$$

$$= 73{,}6113 \text{ watt}$$

$$= 0{,}054892 \text{ hp}$$

Efisiensi motor = 80%

Sehingga,

$$\text{Power motor} = \frac{\text{Power input}}{\text{Efisiensi motor}}$$

$= \dfrac{0{,}054892 \text{ hp}}{80\%}$

$= 0{,}068615$ hp

Sehingga diperoleh daya motor sebesa 0,5 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Tangki Koagulasi
Kode	:	M-210
Fungsi	:	Tempat terjadinya koagulasi dengan penambahan $Al_2(SO_4)$ untuk destabilisasi kotoran dalam air yang tak dikehendaki
Tipe	:	Tangki silinder dengan pengaduk (turbin)
Waktu tinggal	:	5 menit
Kapasitas	:	14,35549 m^3

Dimensi Tangki Koagulasi

Diameter	=	2,075721	m
Tinggi tangki	=	4,151442	m
Tinggi Liquid	=	3,395472	m

Sistem Pengaduk

Jenis	=	Flat Blade Turbine	
Kecepatan putaran	=	80	rpm
Diameter impeller	=	0,691907	m
Jarak impeller	=	0,691907	m
Panjang blade	=	0,172977	m
Lebar blade	=	0,138381	m
Jumlah baffle	=	4	buah
Lebar baffle	=	0,172977	m
Power motor	=	0,5	hp
Efisiensi motor	=	80%	
Jumlah	=	1	buah

3. Tangki Flokulasi

Fungsi : Tempat terjadinya penggumpalan partikel dan kontaminan sungai menjadi flok dengan penambahan Poly Aluminium Chloride (PA

Tipe : Tangki berbentuk silinder dengan pengaduk jenis turbine

Waktu tinggal	:	20	menit	(20-40 menit)
	:	0,3333	jam	
Rate volumetrik	:	137,8126605	m^3/jam	
	:	137812,6605	L/jam	

a. Menghitung Kebutuhan Flokulan

Diketahui

Dosis PAC	=	3	mg/L	**(AWWA : T . 5-2 : 92)**
Kelarutan PAC	=	466	gr/L	
Densitas PAC	=	1,1293	kg/L	

maka,

Kebutuhan PAC = Dosis PAC x Rate Volumetrik
= 3 mg/L x 137812,6605 L/jam
= 413437,9814 mg/jam
= 413,4379814 gram/jam
= 0,413437981 kg/jam

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

$$= \frac{0{,}413437981 \text{ kg/jam}}{1{,}1293 \text{ kg/L}}$$

= 0,366101108 L/jam
= 0,000366101 m^3/jam

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

$$= \frac{413{,}4379814 \text{ gram/jam}}{466 \text{ gram/L}}$$

= 0,887205969 L/jam
= 0,000887206 m^3/jam

Larutan flokulan = Volume PAC + Kebutuhan air
= 0,000366101 m^3/jam + 0,000887206 m^3/jam
= 0,001253307 m^3/jam

maka,

Rate volumetrik tangki flokulasi

Q3 = Q2 + Larutan flokulan
= 137,8126605 m^3/jam + 0,001253307 m^3/jam
= 137,8139138 m^3/jam
= 3307,53393 m^3/hari

a. Menentukan Volume Liquid dan Tangki

Volume Liquid = Rate Volumetrik x Waktu tinggal

$= 137{,}8139138 \ m^3/jam \times 0{,}3333 \ jam$

$= 45{,}93797125 \ m^3$

Volume tangki flokulasi direncanakan 75% terisi liquid, sehingga :

$$\text{Volume tangki flokulasi} = \frac{\text{Volume liquid}}{80\%}$$

$$= \frac{45{,}93797125 \ m^3}{80\%}$$

$$= 57{,}42246407 \ m^3$$

b. Menentukan Dimensi Tangki Flokulasi

Asumsi : H = 2 D

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

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

$$57{,}42246407 \ m^3 = 1{,}57 \ D^3$$

$$D^3 = \frac{57{,}42246 \ m^3}{1{,}57}$$

$$D^3 = 36{,}57482 \ m^3$$

$$D = 3{,}279821 \ m$$

maka, tinggi tangki diperoleh sebesar

$$H = 2 \times D$$

$$= 2 \times 3{,}279821 \ m$$

$$= 6{,}559642 \ m$$

Tinggi Liquid dalam Tangki (HL)

$$\text{Volume liquid} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times HL$$

$$\text{Volume liquid} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times HL$$

$$45{,}93797125 \ m^3 = 0{,}785 \times 10{,}757 \times HL$$

$$HL = 5{,}440038 \ m$$

Jadi, tinggi liquid dalam tangki sebesar 5,440038 m

c. Perencanaan Sistem Pengaduk

Dalam tangki flokulasi dilengkapi dengan pengaduk tipe Flat Blade Turbin dengan jumlah blade = 6 Blades

Dt	=	3	Da
H	=	1	Dt
Dt	=	3	E
Da	=	1	W
Dt	=	3	Da
H	=	1	Dt

Fig. 9.7 Mc. Cabe 7ed , 2005 p. 247

Keterangan

Dt = Diameter tangki

$= 3{,}2798 \text{ m}$

Da = Diameter impeller

$Da = \frac{1}{3} \times Dt$

$= \frac{1}{3} \times 3{,}2798 \text{ m}$

$= 1{,}093274 \text{ m}$

E = Jarak impeller ke dasar

$E = \frac{1}{3} \times Dt$

$= \frac{1}{3} \times 3{,}2798 \text{ m}$

$= 1{,}093274 \text{ m}$

J = Lebar baffle

$J = \frac{1}{12} \times Dt$

$= \frac{1}{12} \times 3{,}2798 \text{ m}$

$= 0{,}273318 \text{ m}$

W = Lebar blade

$= \frac{1}{5} \times Da$

$= \frac{1}{5} \times 1{,}093274 \text{ m}$

$= 0{,}218655 \text{ m}$

L = Panjang blade

$$L = \frac{1}{4} \times Da$$

$$= \frac{1}{4} \times 1{,}093274 \text{ m}$$

$$= 0{,}273318 \text{ m}$$

Perhitungan Putaran Pengaduk

$v = \pi \times Da \times N$ **(Mc. Cabe 7ed , 2005)**

Keterangan :

v = Peripheral speed (m/menit)
Da = Diameter impeller (m)
N = Putaran pengaduk (rpm)

Untuk pengaduk jenis turbine :

Peripheral speed = 200-250 m/menit **(Joshi, 1976)**

Diambil putaran pengaduk dengan

N = 60 rpm
= 1 rps

Maka,

$v = \pi \times Da \times N$
$= 3{,}14 \times 1{,}093274 \text{ m} \times 60 \text{ rpm}$
$= 205{,}9727468 \text{ m/menit}$
(memenuhi range 200 - 250 m/menit)

Perhitungan Jumlah Pengaduk

ρ campuran = 995,6019 kg/m^3
= 62,1554 lb/ft^3
ρ reff H2O = 62,48 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ campuran}}{\rho \text{ reff } H_2O}$$

$$= \frac{62{,}1554 \ lb/ft^3}{62{,}48 \ lb/ft^3}$$

$$= 0{,}994804738$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{\text{Tinggi liquid} \times \text{sg bahan}}{\text{Diameter tangki}}$$ **(Joshi, hal.415)**

$$= \frac{5{,}440038 \text{ m} \times 0{,}994805}{3{,}2798}$$

$= 1{,}3269 \approx 1$ buah

Perhitungan Bilangan Reynolds

sg reff = 1 **(Tabel 6, hh.808)**

μ reff = 0,8 cp **(Fig. 14, hh. 823)**

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

$$= \frac{0{,}994805 \times 0{,}8}{1} \text{ cP}$$

$= 0{,}795844$ cP

$= 0{,}000535$ lb/ft.detik

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

$$= \frac{995{,}6019 \times 1{,}195247 \times 1}{0{,}0005}$$

$= 2225189{,}579$ (aliran turbulen)

Karena Nre > 10000, maka digunakan baffle .

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

(Perry, 9ed, 2019)

Penentuan Power Pengaduk

Untuk Nre > 10000 perhitungan power pengaduk dengan persamaan:

$$P = \frac{KT \times N^3 \times Da^5 \times \rho}{g}$$ (McCabe Eq. 9.24)

Dengan,

P	=	power pengaduk (hp)			
KT	=	Faktor mixer (Turbin)	=	6,30	
g	=	konstanta gravitasi	=	32,2	ft/dt²×lbm/lbf
ρ	=	Densitas campuran (lb/cuft)	=	1000	kg/m3
N	=	Kecepatan putaran impeller (rps)	=	1	rps
Da	=	Diameter impeller (ft)	=	1,0933	m

Daya yang diperlukan untuk motor pengaduk :

$$P = \frac{KT \times N^3 \times Da^5 \times \rho}{g}$$

$$= \frac{6{,}30 \times 1 \times 1{,}5619 \times 1000}{32{,}2}$$

= 305,8678 lb.ft/dt
= 0,562797 hp

Efisiensi motor = 80%

Sehingga,

$$\text{Power motor} = \frac{\text{Power input}}{\text{Efisiensi motor}}$$

$$= \frac{0{,}562797 \text{ hp}}{80\%}$$

$$= 0{,}703496 \text{ hp}$$

Sehingga diperoleh daya motor sebesa 2 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Tangki Flokulasi
Kode	:	M-220
Fungsi	:	Tempat terjadinya penggumpalan partikel dan kontaminan sungai menjadi flok dengan penambahan Poly Aluminium Chloride (PAC).
Tipe	:	Tangki silinder dengan pengaduk (turbin)
Waktu tinggal	:	20 menit
Kapasitas	:	57,42246 m^3

Dimensi Tangki Flokulasi

Diameter	=	3,279821	m
Tinggi tangki	=	6,559642	m
Tinggi Liquid	=	5,440038	m

Sistem Pengaduk

Jenis	=	Flat Blade Turbine	
Jumlah Blade	=	6	buah
Kecepatan putaran	=	60	rpm
Diameter impeller	=	1,093274	m
Jarak impeller	=	1,093274	m
Panjang blade	=	0,273318	m
Lebar blade	=	0,218655	m
Jumlah baffle	=	4	buah
Lebar baffle	=	0,273318	m
Power motor	=	2	hp
Efisiensi motor	=	80%	
Jumlah	=	1	buah

4. Clarifier

Fungsi : Tempat pemisahan antara air bersih dengan flok atau padatan melalui proses sedimentasi atau pengendapan

Waktu Tinggal : 1-2,5 jam

dipilih : 2 jam

Rate volumetrik : 137,8139 m^3/jam

: 137813,9 L/jam

Acuan design pada tipe clarifier untuk partikel flokulan, maka diperoleh :

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

= 40 m^3/m^2.hari

= 1,6667 m^3/m^2.jam

(Perry, 9ed , 2019, T.18-12, pp. 18-75)

a. Menentukan Luas Penampang dan Volume Liquid

$$A = \frac{Q3}{v}$$

$$= \frac{137{,}8139\ m^3/jam}{1{,}666667\ m^3/m^2.jam}$$

$$= 82{,}68835\ m^2$$

Volume liquid = Rate volumetrik (Q3) x Waktu tinggal

= 137,8139138 m^3/jam x 2 jam

= 275,6278275 m^3

b. Menentukan Dimensi Clarifier

$$D = \sqrt{Ax\frac{4}{\pi}}$$

$$D = \left(82{,}68835 \times \frac{4}{3{,}14}\right)^{0,5}$$

$$= 10{,}26331\ m$$

$$r = \frac{1}{2} x\ D$$

$$= \frac{1}{2} x\ 10{,}26331\ m$$

= 5,131654 m

Diameter pipa masuk (d')

d' = 0,15 x D

= 0,15 x 10,26331 m

= 1,539496 m

Kedalaman clarifier (H)

$\frac{D}{H}$ = 6 - 10

$\frac{D}{H}$ = 6

H = $\frac{D}{6}$

= $\frac{10,26331}{6}$ m

= 1,710551 m

Dimana,

$\frac{s}{s'}$ = 3 - 4

sehingga dipilih:

$\frac{s}{s'}$ = 4

asumsi : s = 2 m

maka,

s' = $\frac{2}{4}$ = 1 m

Pengecekan Waktu tinggal

Waktu tinggal = $\frac{\text{Volume liquid}}{\text{Rate volumetrik (Q3)}}$

= $\frac{275,6278275 \ m^3}{137,8139138 \ m^3/jam}$

= 2 jam

(memenuhi standar yaitu 2-2,5 jam)

Dimensi Tangki

Direncanakan volume liquid = volume clarifier agar terjadi overflow

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

Volume clarifier = Volume silinder + Volume cone

Volume clarifier = π x r^2 x Hs + 1/3 x π x r^2 x Hc

275,6278275 m^3 =(3,14 x 26,3 x Hs)+ 1/3 x 3,14 x 13,2 x Hs

275,6278275 m^3 = 82,68835 Hs + 13,78139 Hs

275,6278275 m^3 = 96,46974 Hs

Hs = $\frac{275{,}6278 \ m^3}{96{,}46974 \ m^2}$

= 2,857143 m

Hc = $\frac{1}{2}$ x Hs

= $\frac{1}{2}$ x 2,857143 m

= 1,428571 m

Check volume clarifier

Volume clarifier = volume silinder + volume cone

= π x r^2 x Hs + 1/3 x π x r^2 x Hc

= 236,2524 m^3 + 39,3754 m^3

= 275,6278 m^3

maka diperoleh

Volume clarifier = volume liquid

275,6278275 m^3 = 275,6278275 m^3 (memenuhi)

Karena Volume Tangki = Volume Cairan, sehingga dapat terjadi overflow

Diasumsikan padatan yang mengendap dalam bak yaitu 10% dari air yang masuk (Q3)

Q3 = 137,8139 m^3/jam

Q4 = 10% x Q3

= 10% x 137,8139 m^3/jam

= 13,78139138 m^3/jam

= 330,753393 m^3/hari

Jadi, flok yang mengendap dalam clarifier sebany. 13,78139 m^3/jam

Q5 = Q3 - Q4

= 137,8139138 m^3/jam - 13,78139138 m^3/jam

= 124,0325224 m^3/jam
= 2976,780537 m^3/hari

Spesifikasi

Nama Alat : Clarifier
Kode : H-310
Fungsi : Tempat pemisahan antara air bersih dengan flok atau padatan melalui proses sedimentasi atau pengendapan
Tipe : Berbentuk silinder tegak dengan bagian bawah berbentuk cone
Waktu Tinggal : 2 jam
Kapasitas : 275,6278 m^3

Dimensi clarifier

Diameter silinder : 10,26331 m
Tinggi silinder : 2,857143 m
Tinggi conis : 1,428571 m
Diameter pipa : 1,539496 m

Jumlah : 1 buah

5. Bak Penampung Flok

Fungsi : Tempat menampung flok dari clarifier.
Tipe : Berbentuk balok yang terbuat dari beton.
Waktu tinggal = 12 jam
Rate Volumetrik (Q4) = 13,78139 m^3/jam

a. Menghitung volume bak penampung flok

Volume flok = Q4 x Waktu tinggal
= 13,78139 m^3/jam x 12 jam
= 165,3767 m^3

Diasumsikan padatan yang memenuhi bak penampung yaitu 80%, maka :

$$\text{Volume bak penampung} = \frac{\text{volume flok}}{80\%}$$

$$= \frac{165{,}3767\ \text{m}^3}{80\%}$$

$$= 206{,}7209\ \text{m}^3$$

b. Menghitung Dimensi Bak Penampung Flok

Asumsi ukuran bak : P = 2 T
L = 1 T

Volume bak penampung = P x L x T

$206{,}7208706\ m^3 = 2\,T \times 1\,T \times T$

$206{,}7208706\ m^3 = 2\,T^3$

$T^3 = \dfrac{206{,}7208706\ m^3}{2}$

$T^3 = 103{,}3604353\ m^3$

$T = 4{,}621010218\ m$

$L = 1 \times T$

$L = 4{,}621010218\ m$

$P = 2 \times T$

$P = 2 \times 4{,}621010218\ m$

$= 9{,}242020436\ m$

Volume Padatan (flok) = P x L x T cairan

$165{,}3766965\ m^3 = 9{,}242\ m \times 4{,}621\ m \times T\ padatan$

$T\ padatan = \dfrac{165{,}3766965\ m^3}{9{,}242\ m \times 4{,}621\ m}$

$T\ padatan = 3{,}8723\ m$

Spesifikasi

Nama Alat	:	Bak Penampung Flok
Kode	:	F-311
Fungsi	:	Tempat menampung flok dari clarifier.
Tipe	:	Berbentuk balok yang terbuat dari beton.
Waktu tinggal	:	12 jam
Rate Volumetrik	:	13,78139 m^3/jam
Kapasitas	:	206,7209 m^3

Dimensi Bak Penampung Flok

Panjang	:	9,24202 m
Lebar	:	4,62101 m
Tinggi	:	4,62101 m
Jumlah	:	1 buah

6. Bak Penampung Air Setengah Bersih

Fungsi : Tempat menampung air setengah bersih dari clarifier

Tipe : Berbentuk balok yang terbuat dari beton.

Waktu tinggal = 1 jam

Rate Volumetrik (Q5) = 124,0325 m^3/jam

a. Menghitung volume bak penampung air setengah bersih

Volume air = Q5 x Waktu tinggal
= 124,0325 m^3/jam x 1 jam
= 124,0325 m^3

Diasumsikan cairan yang memenuhi bak penampung yaitu 80%, maka :

$$\text{Volume bak penampung} = \frac{\text{Volume air}}{80\%} = \frac{124{,}0325\ m^3}{80\%} = 155{,}0407\ m^3$$

b. Menghitung Dimensi Bak Penampung Air Setengah Bersih

Asumsi ukuran bak : P = 2 T
L = 1 T

Volume bak penampung = P x L x T
155,040653 m^3 = 2 T x 1 T x T
155,040653 m^3 = 2 T^3

$$T^3 = \frac{155{,}040653\ m^3}{2}$$

T^3 = 77,52032649 m^3
T = 4,202494423 m

L = 1 x T
L = 4,202494423 m

P = 2 x T
P = 2 x 4,202494423 m
= 8,404988845 m

Volume air dalam bak = P x L x T cairan
124,0325224 m^3 = 8,405 m x 4,2025 m x T cairan

$$T\ \text{cairan} = \frac{124{,}0325224\ m^3}{8{,}405\ m \times 4{,}2025\ m}$$

T cairan = 3,5115 m

Spesifikasi

Nama Alat : Bak Penampung Air Setengah Bersih

Kode : F-312
Fungsi : Tempat menampung air setengah bersih dari clarifier.
Tipe : Berbentuk balok yang terbuat dari beton.
Waktu tinggal : 1 jam
Rate Volumetrik : 124,0325 m^3/jam
Kapasitas : 155,0407 m^3

Dimensi Bak Penampung Flok

Panjang : 8,404989 m
Lebar : 4,202494 m
Tinggi : 4,202494 m

Jumlah : 1 buah

7. Sand Filter

Fungsi : Menyaring kotoran atau padatan yang tersuspensi dalam air dengan menggunakan penyaring
Tipe : Berbentuk silinder dengan tutup atas dan bawah dishead
Waktu Tinggal : 15 menit
: 0,25 Jam
Rate Volumetrik(Q6) : 124,0325224 m^3/jam

asumsi padatan flok = 1% dari debit yang masuk
Jumlah flok = 1% x Q6
= 1% x 124,0325 m^3/jam
= 1,240325 m^3/jam
= 29,76781 m^3/hari

Q7 = Q6 - Jumlah flok
= 124,0325 m^3/jam - 1,240325 m^3/jam
= 122,7922 m^3/jam
= 2947,013 m^3/hari

Jadi, jumlah air bersih yang tersaring pada sand filter 122,7922 m^3/hari

a. Volume Air Bersih dalam Sand Filter

Volume air bersih = Q7 x waktu tinggal
= 122,7922 m^3/jam x 0,25 jam
= 30,69805 m^3

Digunakan Rapid Sand Filters, sehingga :

Rate filtrasi (Va) = 180-360 m^3/m^2.hari

Va = 300 m^3/m^2.hari (Hal. 19-85)
Va = 12,5 m^3/m^2.jam (Perry 9Ed ., 2019)

b. Dimensi Sand Fillter

Luas penampang sand filter (A)

$$A = \frac{\text{Rate volumetri (Q6)}}{\text{Rate filtrasi (Va)}}$$

$$= \frac{124{,}0325}{12{,}5}$$

$$= 9{,}922602 \text{ m}^2$$

Diameter sand filter (D)

$$D = \left(A \times \frac{4}{\pi} \right)^{1/2}$$

$$= \left(9{,}922602 \text{ m}^2 \times \frac{4}{3{,}14} \right)^{1/2}$$

$$= 3{,}555314 \text{ m}$$

Tinggi sand filter (H)

Lapisan Antrasit	=	0,5	m
lapisan Pasir	=	0,7	m
lapisan gravel	=	0,3	m
lapisan air	=	2	m +
Tinggi lapisan	=	3,5	m

Kenaikan akibat backwash = 25% dari tinggi pasir dan antrasit
= 25% x 1,2 m
= 0,3 m

Tinggi ruang kosong

ruang kosong atas	=	1	m
ruang kosong bawah	=	1	m +
		2	m

Tinggi total sand filter = T lapisan + T backwash + T ruang koson
= 3,5 m + 0,3 m + 2 m
= 5,8 m

Waktu Jenuh Sand Filter

Volume sand filter = Luas penampang x Tinggi sand filter

$= 9{,}922602 \ m^2 \times 5{,}8 \ m$

$= 57{,}55109 \ m^3$

Fraksi ruang kosong (εmf) = 30% x Volume sand filter

$= 30\% \times 57{,}55109039 \ m^3$

$= 17{,}26532712 \ m^3$

Waktu jenuh sand filter $= \dfrac{\text{Fraksi ruang kosong (εmf)}}{\text{Debit jumlah flok}}$

$= \dfrac{17{,}26532712 \ m^3}{1{,}240325224 \ m^3/\text{jam}}$

$= 13{,}92$ Jam

Spesifikasi

Nama Alat	:	Sand Filter
Kode	:	H-320
Fungsi	:	Menyaring kotoran atau padatan yang tersuspensi dalam air dengan menggunakan penyaring
Tipe	:	Berbentuk silinder dengan tutup atas dan bawah dishead
Waktu Tinggal	:	15 menit
Rate Volumetrik	:	124,0325 m^3/jam
Kapasitas	:	57,55109 m^3

Dimensi Sand Filter

Luas bed	:	9,9226 m^2
Diameter	:	3,5553 m
Tinggi lapisan	:	3,5 m
Tinggi silinder	:	5,8 m
Tinggi Backwash	:	0,3 m
Jumlah	:	2 Buah

8. Bak Penampung Air Bersih

Fungsi : Tempat menampung air bersih dari sand filter

Tipe : Berbentuk balok yang terbuat dari beton.

Waktu tinggal = 1 jam

Rate Volumetrik (Q7) = 122,7922 m^3/jam

a. Menghitung volume bak penampung air bersih

Volume air = Q7 x Waktu tinggal

$= 122{,}7922\ m^3/jam \times 1\ jam$

$= 122{,}7922\ m^3$

Diasumsikan cairan yang memenuhi bak penampung yaitu 80%, maka :

$$\text{Volume bak penampung} = \frac{\text{Volume air}}{80\%}$$

$$= \frac{122{,}7922\ m^3}{80\%}$$

$$= 153{,}4902\ m^3$$

b. Menghitung Dimensi Bak Penampung Air Setengah Bersih

Asumsi ukuran bak : $P = 2\ T$

$L = 1\ T$

$$\text{Volume bak penampung} = P \times L \times T$$

$$153{,}4902465\ m^3 = 2\ T \times 1\ T \times T$$

$$153{,}4902465\ m^3 = 2\ T^3$$

$$T^3 = \frac{153{,}4902465\ m^3}{2}$$

$$T^3 = 76{,}74512323\ m^3$$

$$T = 4{,}188579472\ m$$

$$L = 1 \times T$$

$$L = 4{,}188579472\ m$$

$$P = 2 \times T$$

$$P = 2 \times 4{,}188579472\ m$$

$$= 8{,}377158944\ m$$

$$\text{Volume air dalam bak} = P \times L \times T\ \text{cairan}$$

$$122{,}7921972\ m^3 = 8{,}3772\ m \times 4{,}1886\ m \times T\ \text{cairan}$$

$$T\ \text{cairan} = \frac{122{,}7921972\ m^3}{8{,}3772\ m \times 4{,}1886\ m}$$

$$T\ \text{cairan} = 3{,}4995\ m$$

Spesifikasi

Nama Alat : Bak Penampung Air Bersih

Kode ": F-321

Fungsi : Tempat menampung air bersih dari sand filter

Tipe : Berbentuk balok yang terbuat dari beton.
Waktu tinggal : 1 jam
Rate Volumetrik : 122,7922 m^3/jam
Kapasitas : 153,4902 m^3

Dimensi Bak Penampung Air Bersih

Panjang : 8,377159 m
Lebar : 4,188579 m
Tinggi : 4,188579 m

Jumlah : 1 buah

9. Bak Penampung Air Bersih untuk Sanitasi

Fungsi : Tempat menampung air bersih dari bak penampung air bersih unt
keperluan sanitasi dan tempat menambahkan disinfektan (chlorin

Tipe : Berbentuk balok yang terbuat dari beton.
Waktu tinggal = 24 jam
Rate Volumetrik (Q8) = 42,0532 m^3/jam

a. Menghitung volume bak penampung air sanitasi

Volume air = Q7 x Waktu tinggal
= 42,0532 m^3/jam x 24 jam
= 1009,277 m^3

Diasumsikan cairan yang memenuhi bak penampung yaitu 80%, maka :

$$\text{Volume bak penampung} = \frac{\text{Volume air}}{80\%} = \frac{1009{,}277\ m^3}{80\%} = 1261{,}596\ m^3$$

b. Menghitung Dimensi Bak Penampung Air Sanitasi

Asumsi ukuran bak : P = 2 T
L = 1 T

Volume bak penampung = P x L x T

$$1261{,}595892\ m^3 = 2\ T \times 1\ T \times T$$
$$1261{,}595892\ m^3 = 2\ T^3$$
$$T^3 = \frac{1261{,}595892\ m^3}{2}$$
$$T^3 = 630{,}7979459\ m^3$$

T = 8,393899967 m

L = 1 x T
L = 8,393899967 m

P = 2 x T
P = 2 x 8,393899967 m
= 16,78779993 m

Volume air dalam bak = P x L x T cairan
1009,276713 m^3 = 16,788 m x 8,3939 m x T cairan

$$T\ cairan = \frac{1009{,}276713\ m^3}{16{,}788\ m \times 8{,}3939\ m}$$

T cairan = 7,1623 m

C. Menghitung Kebutuhan Chlorine

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

Maka, dalam 1 tahun diperlukan penambahan chlorine sebanyak :
Kebutuhan chlorine = 200 mg/L x Q8 x waktu operasional
= 200 mg/L x 42053,2 L/hari x 330 hari
= 2,78E+09 mg/tahun
= 2775,511 kg/tahun

Spesifikasi

Nama Alat	:	Bak Penampung Air Bersih untuk Sanitasi
Kode	:	F-323
Fungsi	:	Tempat menampung air bersih dari bak penampung air bers untuk keperluan sanitasi dan tempat menambahkan disinfek (chlorine)
Tipe	:	Berbentuk balok yang terbuat dari beton.
Waktu tinggal	:	24 jam
Rate Volumetrik	:	42,0532 m^3/jam
Kapasitas	:	1261,596 m^3

Dimensi Bak Penampung Air Bersih

Panjang	:	16,7878 m
Lebar	:	8,3939 m
Tinggi	:	8,3939 m
Jumlah	:	1 buah

10. Tangki Kation Exchanger

Fungsi : Mengurangi kandungan kalsium sebagai penyebab kesadahan pac air dengan cara menukar ion Ca^{2+} dengan resin positif H^{+} . untuk memenuhi persyaratan air umpan boiler dan air proses.

Tipe : Berbentuk silinder tegak.

a. Jumlah $CaCO_3$ dalam Air

Kandungan $CaCO_3$ = 5 grain/gallon (Kirk Othmer, Vol.11)
= 0,324 gram/gallon (1 grain = 0,0648 gr)

Rate volumetrik (Q_9) = Air Umpan Boiler
= 5,7915 m^3/jam
= 138,9949 m^3/hari
= 36718,57 gal/hari

Jumlah $CaCO_3$ di air = Kandungan $CaCO_3$ x Rate volumetrik (Q_9)
= 0,324 gram/gallon x 36718,56612 gal/hari
= 11896,81542 gram/hari

b. Kebutuhan Resin

Dipilih bahan pelunak :
Dowex dengan exchanger capacity = 1,8 ek/L resin (Tabel 16-6)
(Dowex - Marathon C resin specification) **(Perry 7ed; Hal 16-14)**
H-Dowex diharapkan mampu menukar semua ion Ca^{2+} .

Untuk $CaCO_3$, 1 mol Ca melepas 2 elektron : Ca^{2+} , sehingga :
Jumlah elektron = 2 ek/mol
BM Ca^{2+} = 40,08 g/mol

Berat ekuivalen (BE = $\dfrac{\text{BM } CaCO_3}{\text{Jumlah elektron}}$ **(Underwood : 55)**

= $\dfrac{40{,}08 \text{ gr/mol}}{2 \text{ ek/mol}}$

= 20,04 gram/ek

Ekuivalen (ek) = $\dfrac{\text{ek } Ca^{2+} \times \text{Jumlah CaCO3 di air}}{\text{BM } Ca^{2+}}$

= $\dfrac{2 \times 11896{,}81542 \text{ gram/hari}}{}$

$$\overline{40{,}08 \quad g/mol}$$

$$= 593{,}6535 \text{ ek}$$

$$\text{Volume resin} = \frac{\text{Ekuivalen (ek)}}{1{,}8 \text{ ek/L resin}}$$

$$= \frac{593{,}6535 \text{ ek}}{1{,}8 \text{ ek/L resin}}$$

$$= 329{,}8075 \text{ L resin/hari}$$

Karena regenerasi dilakukan setiap 3 bulan sekali, maka :

3 bulan = 90 hari

Kebutuhan resin tiap 3 bulan = 329,8075 L resin/hari x 90 hari

= 29682,67 L resin

= 29,68267 m^3 resin

Jika effisiensi tangki kation exchanger 80%, maka jumlah resin yang diperlukan

$$\text{Kebutuhan total resin} = \frac{29{,}68267 \text{ m}^3 \text{ resin}}{80\%}$$

$$= 37{,}10334 \text{ m}^3 \text{ resin}$$

$$= 37103{,}34 \text{ L resin/ 3 bulan}$$

c. Dimensi Tangki isi Resin

Cara Kerja

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

Asumsi :

H = 2 D

maka,

$$\text{Volume resin} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$$

$$29{,}68267 \text{ m}^3 = \frac{1}{4} \times 3{,}14 \times D^2 \times 2\text{ D}$$

$$29{,}68267 \text{ m}^3 = 1{,}57 \ D^3$$

$$D^3 = \frac{29{,}68267 \text{ m}^3}{1{,}57}$$

$$D^3 = 18{,}90616 \text{ m}^3$$

$$D = 2{,}638026 \text{ m}$$

$$H = 2 \times D$$

$$= 2 \times 2{,}638026 \text{ m}$$

= 5,276052 m

d. Menentukan Volume Tangki

Tinggi ruang kosong

Ruang kosong atas	=	1	m
Ruang kosong bawah	=	1	m +
		2	m

Tinggi kation exchange = Tinggi resin + Tinggi ruang kosong
= 5,276052 m + 2 m
= 7,276052 m

Volume Tangki $= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$
$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 6,959182 \text{ m}^2 \times 7,276052 \text{ m}$
$= 39,74877 \text{ m}^3$

e. Menentukan Pressure (P) Design

P design = P gauge + P hidrostatis
P design = (Pi - Po) + P hidrostatis
P design = (14,7 Psi - 14,7 Psi) + P hidrostatis
P design = P hidrostatis

Diketahui

ρ bahan = 62,43 lbm/ft^3
H tangki = 6,959182 m
= 22,83196 ft

P hidrostatis $= \dfrac{\rho \times \dfrac{g}{gc} \times h}{144}$

Dimana :

ρ = Densitas (lbm/ft^3)
H = D = Diameter (ft)
g = 32,17 ft/s^2
gc = 32,17 $\text{ft.lbm/s}^2\text{.lbf}$

P hidrostatis $= \rho \times \dfrac{g}{gc} \times h$

$$\overline{\quad 144 \quad}$$

$$= \frac{62{,}43 \ \text{lbm/ft}^3 \ \times (\ 32{,}17 / 32{,}17\ )\ \text{lbf/lbm} \ \times \ 22{,}832 \ \text{ft}}{144 \ \text{lbf/ft}^2 / \text{lbf/in}^2}$$

= 9,898608 Psi

P operasi = 14,7 Psi

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

P design = 1,1 x P perencanaan

= 1,1 x (14,7 Psi + 9,8986 Psi)

= 27,05847 Psi > 14,7 Psi

maka desain tangki merupakan tangki bertekanan dalam karena

P design > P lingkungan

Tekanan terukur di tangki = (27,05847 Psi - 14,7 Psi)

= 12,35847 Psig

Spesifikasi

Nama Alat	:	Tangki Kation Exchanger
Kode	:	H-330
Fungsi	:	Mengurangi kandungan kalsium sebagai penyebab kesadahan air dengan cara menukar ion Ca^{2+} dengan resin positif H^+ .
Tipe	:	Berbentuk silinder tegak.
Rate volumetrik	:	42,0532 m^3/jam
Kapasitas resin	:	37,10334 m^3/3 bulan
Waktu regenerasi	:	3 bulan
Bahan Pelunak	:	Dowex Marathon-C
Dimensi Tangki Kation Exchanger		
Diameter	:	2,638026 m
Tinggi	:	7,276052 m
Dimensi Tangki Resin		
Diameter	:	2,638026
Tinggi	:	5,276052 m
Jumlah	:	1 tangki

11. Tangki HCl

Fungsi : Menampung HCl yang berfungsi untuk regenerasi resin kation dowex

Tipe : Tangki berbentuk silinder terbuat dari stainless steel

a. Regenerasi Resin Dowex

Regenerasi Dowex dilakukan dengan larutan HCl 33% (*Condensate Polishin*

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 :

$$R - H^+ + CaCO_3 \rightarrow R - Ca^{2+} + H_2CO_3$$

Reaksi Regenerasi Kation :

$$R - Ca^{2+} + 2HCl \rightarrow R - H^+ + CaCl_2$$

Regenerasi dilakukan sebanyak = 4 kali dalam setahun

Kebutuhan HCL 33%

Volume resin yang diregenerasi = 37103,3 L resin (3 bulan)

Densitas resin = 1 kg/L

Massa resin = Volume resin x Densitas
= 37103,34151 x 1,2
= 44524,00981 kg

Ekivalen Total Ca^{2+} = Volume resin x Kapasitas resin
= 37103,3 L resin x 1,8 ek/L resin
= 66786,01472 ek

$$\text{Mol Total } Ca^{2+} = \frac{\text{Ekivalen Total } Ca^{2+}}{\text{Ekivalen } Ca^{2+}} = \frac{66786{,}0147 \text{ ek}}{1{,}8 \text{ ek/mol}} = 37103{,}34151 \text{ mol}$$

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

Kebutuhan HCl = 2 x mol total ca^{2+} x BM HCl
= 2 x 37103,34 mol x 36,5 gram/mol
= 2708543,93 gram
= 2708,54393 kg

Sehingga,

Kebutuhan HCl 33% $= \dfrac{\text{Massa HCl}}{\text{Massa HCl} + \text{Massa H2O}}$

33% $= \dfrac{2708{,}54393 \text{ kg}}{\text{Massa Total}}$

Massa Total = 8207,708879 kg

Diketahui :

ρ HCl = 1,164 kg/L (Perry 7[ed] ; T.2-57)

Jadi ρ campuran = (% HCl x ρ HCl) + (% H_2O x ρ H_2O)

= (0,33 x 1,164 kg/L) + (0,67 x 1 kg/L)

= 1,054186 kg/L

= 1,054186 gr/ml

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

$= \dfrac{8207{,}71 \text{ kg}}{1{,}054186 \text{ kg/L}}$

= 7785,826106 L

Asumsi volume tangki 80% terisi HCl, sehingga

Volume Tangki $= \dfrac{\text{Volume HC}}{80\%}$

$= \dfrac{7785{,}826106 \text{ L}}{80\%}$

= 9732,282632 L

= 9,732282632 m^3

b. Menghitung Dimensi Tangki Larutan HCL

Asumsi :

H = 2 D

Maka,

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

Volume tangki $= \dfrac{1}{4} \times 3{,}14 \times D^2 \times 2D$

9,732283 m^3 = 1,57 D^3

$D^3 = \dfrac{9{,}732283 \text{ m}^3}{1{,}57}$

D^3 = 6,198906 m^3

D = 1,835866 m

H = 2 x D
H = 2 x 1,835866 m
H = 3,671731 m

Spesifikasi
Nama Alat : Tangki HCl
Fungsi : Menampung larutan HCl untuk keperluan regenerasi resin
Tipe : Silinder tegak
Kapasitas : 9,7323 m^3
Dimensi Tangki HCl
Diamete : 1,8359 m
Tinggi : 3,6717 m
Jumlah : 1 buah

12. Tangki Anion Exchanger
Fungsi : Mengurangi kesadahan air yang dikarenakan garam CO32- . Kandungan CaCO3 dari pengolahan air masih sekitar 5 grain/gallon (Kirk Othmer Vol.11:887). Kandungan ini sedianya dihilangkan dengan resin Dowex butiran, agar sesuai dengan

a. Jumlah $CaCO_3$ dalam Air
Kandungan $CaCO_3$ = 5 grain/gallon
= 0,0003 kg/gallon
= 0,324 gram/gallon (1 grain = 0,0648 gr)

Rate volumetrik (Q_{10}) = Air umpan boiler + Air proses
Rate volumetrik (Q_{10}) = Rate volumetrik (Q_9)
= 5,7915 m^3/jam
= 138,9949 m^3/hari
= 36718,57 gal/hari

Jumlah $CaCO_3$ di air = Kandungan $CaCO_3$ x Rate volumetrik (Q_{10})
= 0,324 gram/gallon x 36718,56612 gal/hari
= 11896,81542 gram/hari

b. Kebutuhan Resin
Dipilih bahan pelunak :
Dowex dengan exchanger capacity = 1,8 ek/L resin **(Tabel 16-6)**

(Dowex - Marathon A resin specification) **(Perry, 9Ed ., 2019)**
OH-Dowex diharapkan mampu menukar semua ion CO_3^{2-} .

Untuk CaCO3 , 1 mol CO_3 melepas 2 elektron CO_3^{2-} , sehingga :
Jumlah elektron = 2 ek/mol
BM CO_3^{2-} = 60 g/mol

Berat ekuivalen (BE = $\dfrac{\text{BM } CO_3^{2-}}{\text{Jumlah elektron}}$ **(Underwood, 6Ed ., 2002)**

$= \dfrac{60 \text{ gr/mol}}{2 \text{ ek/mol}}$

$= 30$ gram/ek

Ekuivalen (ek) = $\dfrac{\text{ek } CO_3^{2-} \times \text{Jumlah } CaCO_3 \text{ di air}}{\text{BM } CO_3^{2-}}$

$= \dfrac{2 \times 11896{,}81542 \text{ gram/hari}}{60 \text{ g/mol}}$

$= 396{,}5605$ ek

Volume resin = $\dfrac{\text{Ekuivalen (ek)}}{1{,}8 \text{ ek/L resin}}$

$= \dfrac{396{,}5605 \text{ ek}}{1{,}8 \text{ ek/L resin}}$

$= 220{,}3114$ L resin/hari

Karena regenerasi dilakukan setiap 3 bulan sekali, maka :
3 bulan = 90 hari
Kebutuhan resin tiap 3 bulan = 220,3114 L resin/hari x 90 hari
= 19828,03 L resin
= 19,82803 m^3 resin

Jika effisiensi tangki anion exchanger 80%, maka jumlah resin yang diperlukan
Kebutuhan total resin = $\dfrac{19{,}82803 \text{ } m^3 \text{ resin}}{80\%}$

= 24,78503 m^3 resin
= 24785,03 L resin/ 3 bulan

c. Dimensi Tangki isi Resin

Cara Kerja

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

Asumsi :

H = 2 D

maka,

$$\text{Volume resin} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$$

$$19{,}82803\ m^3 = \frac{1}{4} \times 3{,}14 \times D^2 \times 2\ D$$

$$19{,}82803\ m^3 = 1{,}57\ D^3$$

$$D^3 = \frac{19{,}82803\ m^3}{1{,}57}$$

$$D^3 = 12{,}62932\ m^3$$

$$D = 2{,}309167\ m$$

$$H = 2 \times D$$
$$= 2 \times 2{,}309167\ m$$
$$= 4{,}618334\ m$$

d. Menentukan Volume Tangki

Tinggi ruang kosong

Ruang kosong atas	=	0,5 m
Ruang kosong bawah	=	0,5 m +
		1 m

Tinggi anion exchanger = Tinggi resin + Tinggi ruang kosong
= 4,618334 m + 1 m
= 5,618334 m

$$\text{Volume Tangki} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H$$
$$= \frac{1}{4} \times 3{,}14 \times 5{,}332252\ m^2 \times 5{,}618334\ m$$
$$= 23{,}51732\ m^3$$

e. Menentukan Pressure (P) Design

P design = P gauge + P hidrostatis

P design = (Pi - Po) + P hidrostatis

P design = (14,7 Psi - 14,7 Psi) + P hidrostatis
P design = P hidrostatis

Diketahui
ρ bahan = 62,43 lbm/ft^3
H tangki = 5,332252 m
= 17,49427 ft

$$P\ hidrostatis = \frac{\frac{\rho \times g \times h}{gc}}{144}$$

Dimana :
ρ = Densitas (lbm/ft^3)
H = D = Diameter (ft)
g = 32,17 ft/s^2
gc = 32,17 $ft.lbm/s^2.lbf$

$$P\ hidrostatis = \frac{\frac{\rho \times g \times h}{gc}}{144}$$

$$= \frac{62{,}43\ lbm/ft^3 \times (32{,}17/32{,}17)\ lbf/lbm \times 17{,}494\ ft}{144\ lbf/ft^2 / lbf/in^2}$$

= 7,584493 Psi
P operasi = 14,7 Psi

P design diambil 10% lebih besar dari P operasi demi faktor keamanan
P design = 1,1 x P perencanaan
= 1,1 x (14,7 Psi + 7,5845 Psi)
= 24,51294 Psi > 14,7 Psi
maka desain tangki merupakan tangki bertekanan dalam karena
P design > P lingkungan
Tekanan terukur di tangki = (24,51294 Psi - 14,7 Psi)
= 9,812943 Psi

Spesifikasi

Nama Alat	:	Tangki Anion Exchanger
Kode	:	H-340
Fungsi	:	Mengurangi kesadahan air yang dikarenakan garam CO32-. Kandungan CaCO3 dari pengolahan air masih sekitar 5 grain/gallon (Kirk Othmer Vol.11:887). Kandungan ini

sedianya dihilangkan dengan resin Dowex butiran, agar sesuai dengan syarat air boiler.

Tipe	:	Berbentuk silinder tegak.	
Rate volumetrik	:	5,7915	m^3/jam
Kapasitas resin	:	24,78503	m^3/3 bulan
Waktu regenerasi	:	3	bulan
Dimensi Tangki Anion Exchanger			
Diameter	:	2,309167	m
Tinggi	:	5,618334	m
Dimensi Tangki Resin			
Diameter	:	2,309167	m
Tinggi	:	4,618334	m
Jumlah	:	1	tangki

13. Tangki NaOH

Fungsi : Menampung NaOH 40% yang berfungsi untuk regenerasi resin kation Dowex

Tipe : Tangki berbentuk silinder terbuat dari stainless steel

a. Regenerasi Resin Dowex

Regenerasi Dowex dilakukan dengan larutan NaOH 40% (*SPO Paiton Polishing* Plant PJB II - Paiton, *Standart Procedure Operation*)

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

Dimana :

R = Resin Dowex

R - OH = Resin Dowex mengikat anion

R-X = Resin dalam kondisi mengikat kation.

Reaksi anion exchange :

$$R\text{-}OH^- + CaCO_3 \rightarrow R\text{-}CO_3^{2-} + Ca(OH)_2$$

Reaksi Regenerasi anion :

$$R\text{-}CO_3^{2-} + 2\ NaOH \rightarrow R\text{-}OH^- + Na_2CO_3$$

Regenerasi dilakukan sebanyak = 4 kali dalam setahun

Kebutuhan NaOH 40%

Volume resin yang diregenerasi = 24,8 L resin (3 bulan)

Densitas resin = 1,06 kg/L

Massa resin = Volume resin x Densitas

= 24,78503213 x 1,06

= 26,27213406 kg

Ekivalen Total CO_3^{2-} = Volume resin x Kapasitas resin
= 24,8 L resin x 397 ek/L resin
= 9828,765081 ek

Mol Total CO_3^{2-} = $\frac{\text{Ekivalen Total } CO_3^{2-}}{\text{Ekivalen } CO_3^{2-}}$

= $\frac{9828,7651 \text{ ek}}{2 \text{ ek/mol}}$

= 4914,382541 mol

1 mol CO_3^{2-} ditukar/exchange dengan 2 mol NaOH, maka

Kebutuhan NaOH = 2 x mol total CO_3^{2-} x BM NaOH
= 2 x 4914,383 mol x 40 gram/mol
= 393150,6033 gram
= 393,1506033 kg

Sehingga,

Kebutuhan NaOH 40% = $\frac{\text{Massa NaOH}}{\text{Massa NaOH} + \text{Massa H2O}}$

40% = $\frac{393,1506033 \text{ kg}}{\text{Massa Total}}$

Massa Total = 982,8765081 kg

Diketahui :

ρ NaOH = 1,430 kg/L (Tabel 2-54, hh. 2-103)
(Perry 7^{ed} ; T.2-57)

Jadi ρ campuran = (% NaOH x ρ NaOH) (% H_2O x ρ H_2O)
= (0,4 x 1,430 kg/L) + (0,6 x 1 kg/L)
= 1,172 kg/L
= 1,172 gr/ml

Volume NaOH = $\frac{\text{Massa total}}{\text{Densitas Campuran}}$

= $\frac{982,88 \text{ kg}}{1,172 \text{ kg/L}}$

= 838,6318329 L

Asumsi volume tangki 80% terisi HCl, sehingga

$$\text{Volume Tangki} = \frac{\text{Volume HC}}{80\%}$$

$$= \frac{838{,}6318329 \text{ L}}{80\%}$$

$$= 1048{,}289791 \text{ L}$$

$$= 1{,}048289791 \text{ m}^3$$

b. Menghitung Dimensi Tangki Larutan HCL

Asumsi :

H = 2 D

Maka,

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

$$\text{Volume tangki} = \frac{1}{4} \times 3{,}14 \times D^2 \times 2\text{ D}$$

$$1{,}04829 \text{ m}^3 = 1{,}57 \text{ D}^3$$

$$D^3 = \frac{1{,}04829 \text{ m}^3}{1{,}57}$$

$$D^3 = 0{,}667701 \text{ m}^3$$

$$D = 0{,}874149 \text{ m}$$

$$H = 2 \times D$$

$$H = 2 \times 0{,}874149 \text{ m}$$

$$H = 1{,}748299 \text{ m}$$

Spesifikasi

Nama Alat : Tangki NaOH
Fungsi : Menampung larutan NaOH untuk keperluan regenerasi Dowex
Tipe : Silinder tegak
Kapasitas : 1,0483 m^3
Dimensi Tangki NaOH
Diamete : 0,8741 m
Tinggi : 1,7483 m
Jumlah : 1 buah

14. Bak Penampung Air Demineralisasi

Fungsi : Menampung air lunak dari kation-anion exchanger akan digunaka
sebagai air umpan boiler dan air proses
Tipe : Bak berbentuk balok yang terbuat dari beton

Waktu tinggal = 12 jam

Rate Volumetrik (Q_{11}) = 5,7915 m^3/jam

= 138,9949 m^3/hari

a. Volume Bak Penampung Air Demineralisasi

Volume air sungai = Q_{11} x Waktu tinggal

= 5,7915 m^3/jam x 12 jam

= 69,49746021 m^3

Asumsi :

Air sungai yang memenuhi bak penampung = 80%

$$\text{Volume bak penampung} = \frac{\text{Volume air sungai}}{80\%}$$

$$= \frac{69{,}49746021 \ m^3}{80\%}$$

$$= 86{,}87182526 \ m^3$$

b. Dimensi Bak Penampung Air Demineralisasi

Asumsi :

Tinggi = T

Panjang = 2T

Lebar = 2T

Volume bak penampung = P x L x T

86,87182526 m^3 = 2T x 2T x T

86,87182526 m^3 = 4 T^3

$$T^3 = \frac{86{,}87182526 \ m^3}{4}$$

T = 2,761533114 m

maka, nilai panjang dan lebar diperoleh :

P = 2 x T

= 2 x 2,761533114 m

= 5,523066227 m

L = 2 x T

= 2 x 2,761533114 m

= 5,523066227 m

c. Menghitung Tinggi Liquid

Volume air sungai = P x L x T cairan

69,49746021 m^3 = 5,523066227 m x 5,523066227 m x T
69,49746021 m^3 = 30,50426055 m^2 x T cairan
T cairan = 2,278286998 m

Spesifikasi

Nama Alat	:	Bak Penampung Air Demineralisasi
Fungsi	:	Menampung air lunak dari kation-anion exchanger yang akan digunakan sebagai air umpan boiler dan air proses
Tipe	:	Bak berbentuk persegi panjang
Bahan Konstruks	:	Beton
Waktu tinggal	:	12 Jam
Kapasitas	:	86,87182526 m^3
Dimensi Bak Penampung		
Panjang	:	5,523066227 m
Lebar	:	5,523066227 m
Tinggi	:	2,761533114 m
Jumlah	:	1 buah

15. Bak Penampung Air Pendingin

Fungsi : Menampung air pendingin dari cooling tower
Tipe : Bak berbentuk balok yang terbuat dari beton

Waktu tinggal = 12 jam
Rate Volumetrik (Q_{12}) = 79,7597 m^3/jam
= 1914,232 m^3/hari

a. Volume Bak Penampung Air Pendingin

Volume air sungai = Q_{12} x Waktu tinggal
= 79,7597 m^3/jam x 12 jam
= 957,1159659 m^3

Asumsi :
Air sungai yang memenuhi bak penampung = 80%

$$\text{Volume bak penampung} = \frac{\text{Volume air sungai}}{80\%} = \frac{957{,}1159659\ m^3}{80\%} = 1196{,}394957\ m^3$$

b. Dimensi Bak Penampung Air Pendingin

Asumsi :

Tinggi = T
Panjang = 2T
Lebar = 2T

Volume bak penampung = P x L x T

1196,394957 m^3 = 2T x 2T x T

1196,394957 m^3 = 4 T^3

$T^3 = \frac{1196,394957\ m^3}{4}$

T = 6,56173689 m

maka, nilai panjang dan lebar diperoleh :

P = 2 x T
= 2 x 6,56173689 m
= 13,12347378 m

L = 2 x T
= 2 x 6,56173689 m
= 13,12347378 m

c. Menghitung Tinggi Liquid

Volume air sungai = P x L x T caira

957,1159659 m^3 = 13,12347 m x 13,12347 m x T cairan

957,1159659 m^3 = 172,2256 m^2 x T cairan

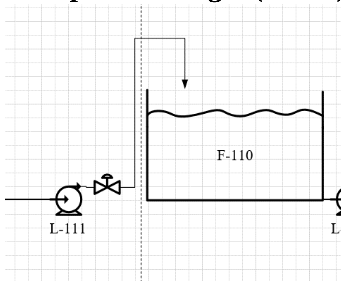
T cairan = 5,55734 m

Spesifikasi

Nama Alat : Bak Penampung Air Pendingin
Fungsi : Menampung air pendingin dari cooling tower
Tipe : Bak berbentuk persegi panjang
Bahan Konstruks : Beton
Waktu tinggal : 12 Jam
Kapasitas : 1196,394957 m^3
Dimensi Bak Penampung
Panjang : 13,12347378 m
Lebar : 13,12347378 m
Tinggi : 6,56173689 m
Jumlah : 1 buah

VII.3.2 Spesifikasi Peralatan Pompa

1. Pompa Air Sungai (L-111)



Fungsi : Mengalirkan air sungai ke bak penampung air sungai
Tipe : *Centrifugal Pump*
Dasar Pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah

Perhitungan :

Kondisi operasi = 30 ^oC
Densitas air = 62,4 lbm/ft3
= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 30,62504 m^3/jam x 995,35 kg/m^3
= 30482,63 kg/jam
= 67214,2 lb/jam

Rate Volumetrik (Q) = 30,62504 m^3/jam
= 1081,514 ft^3/jam
= 18,02523 ft^3/menit
= 0,300421 ft^3/detik
= 134,8287 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x ρ ^{0,13} **(Peters, 2004, eq. 15)**

Keterangan :

D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)
qf = Rate volumetrik (ft^3/s)
ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x ρ ^{0,13}
= 3,9 x 0,300421 x 1,711595

= 2,005374 in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size	=	4	in					
Sch	=	80						
OD	=	4,5	in =	0,3749	ft	=	0,1143	m
ID	=	3,826	in =	0,3187	ft	=	0,0971	m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3{,}14 \times 0{,}1016 \ ft^2$$

$$= 0{,}0797 \ ft^2$$

$$\text{Kecepatan Aliran (V)} = \frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$$

$$= \frac{0{,}3004 \ ft^3/s}{0{,}0797 \ ft^2}$$

$$= 3{,}7677 \ ft/s$$

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reff}}$$

$$= \frac{62{,}43 \ lb/ft^3}{62{,}43 \ lb/ft^3}$$

$$= 1$$

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

$$= \frac{1}{1} \times 0{,}8 \ cP$$

$$= 0{,}8 \ cP$$

$$= 0{,}0006 \ lb/ft.s$$

$$Nre = \frac{ID \times V \times \rho\ bahan}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}3187\ ft \times 3{,}7677\ ft/s \times 62{,}4\ lb/ft^3}{0{,}0006\ lb/ft.s}$$

= 133867,5 > 2100

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 ft **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,000471 ft

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 $lbm.ft/lbf.s^2$

a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,3187 ft

Tinggi bak penampung air sung= 4,7845 m

= 15,697 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak sungai ke bak	=	200	m	=	656,17	ft
Tinggi bak penampung	=	4,7845	m	=	15,697	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m	=	2	ft
Taksiran panjang pipa luru	=	4,7845	m	=	673,87	ft
4 elbow 90^o	=	12,434	m	=	40,794	ft
1 gate valve	=	0,68	m	=	2,2309	ft
Panjang pipa	=	17,899	m	=	43,025	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,3187 ft

= 2 ft

4 elbow 90^o = 4 x 32 x 0,3187 ft

= 40,794 ft

Panjang total pipa = 673,87 ft + 43,025 ft
= 716,89 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$$F_1 = \frac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)**

$$= \frac{0{,}01 \times 14{,}196\ ft^2/s^2 \times 2{,}2309\ ft}{32{,}2\ lbm.ft/lb \times 0{,}3187\ ft}$$

= 0,037067 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana V_1 <<< V_2, maka V_1 dianggap 0

α = 1 untuk aliran turbulen (Geankoplis, 2014)

Menentukan Kc [Peters 4 ed ; Page 484]

A tangki = ∞ A tangki > A pipa

A pipa = 0,08

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

sehingga,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1) **(Peters 4 ed ; Page 484)**

K = 0,4 x (1,25 - 0)

K = 0,5

sehingga,

$$F_2 = \frac{0{,}5 \times 14{,}19581\ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17\ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,1103 ft.lbf/lbm

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

A1 = A pipa A2>A1

A2 = A tangki A2=

$$F_3 = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$$= \frac{14{,}19580631 \quad ft^2/s^2}{2 \quad x \quad 1 \quad x \quad 32{,}17 \quad lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}2206$ ft.lbf/lbm

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = n \; x \; \frac{K_f \; x \; V^2}{2 \; x \; gc}$$

diketahui :

K_f = 0,75 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{4 \; x \; 0{,}75 \; x \; 14{,}19581 \; ft^2/s^2}{2 \; x \; 32{,}17 \; lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}6619$ ft.lbf/lbm

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \; x \; \frac{K_f \; x \; V^2}{2 \; x \; gc}$$

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1**

$$F_5 = \frac{1 \; x \; 0{,}17 \; x \; 14{,}19581 \; ft^2/s^2}{2 \; x \; 32{,}17 \; lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}0375$ ft.lbf/lbm

6. Friksi Total

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

$= 1{,}0674$ ft.lbf/lbm

e. Perhitungan Energi Tekanan

Asumsi Tinggi liquid pada sungai = 3 m = 9,8424 ft

ρ bahan dalam tangki = 62,43 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$= 1 \text{ atm} + \left(\rho \; x \; \frac{g}{gc} \; x \; H \, liq \right)$

$= 2116{,}8 \text{ atm} + (62{,}4 \; lbm/ft^3 \; x \; 1 \; lbf/lbm \; x \; 9{,}84 \; ft)$

$= 2731{,}261 \ \text{lbf/ft}^2$

$\Delta P = P_1 - P_2$

$= 2731{,}261 - 2116{,}8$

$= 614{,}461 \ \text{lbf/ft}^2$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{2731{,}261 - 2116{,}8}{62{,}43}$$

$= 9{,}8424 \ \text{ft.lbf/lbm}$

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{14{,}19580631}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$= 0{,}220637 \ \text{ft.lbf/llbm}$

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

$Z_1 = 9{,}84 \ \text{ft}$

$Z_2 = 15{,}7 \ \text{ft}$

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

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$= (15{,}697 - 9{,}84252) \ \text{ft} \times 1 \ \text{lbf/lbm}$

$= 5{,}854624 \ \text{ft.lbf/lbm}$

h. Persamaan Bernouli

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

(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-20)

$= 9{,}8424 + 5{,}854624 + 0{,}220637 + 1{,}067443$

$= 16{,}98511 \ \text{ft.lbf/lbm}$

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{16{,}985 \times 134{,}8287 \times 1}{3960}$$

$= 0{,}58$ hp

Efisiensi pompa = 75% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520**

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

$$= \frac{0{,}578303}{75\%} \text{ hp}$$

$= 0{,}771071$ hp

Efisiensi motor = 82% **(Peters 4ed ; Fig. 14-38 p. 521)**

$$\text{Power motor} = \frac{\text{Bhp}}{\text{ef.Motor}}$$

$$= \frac{0{,}771071}{82\%} \text{ hp}$$

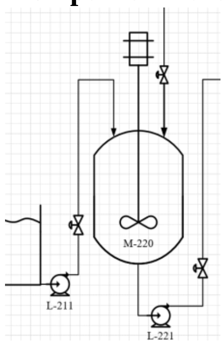
$= 0{,}94033$ hp

Maka digunakan powe = 1 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa Air Sungai
Kode	:	L-111
Fungsi	:	Mengalirkan air dari sungai ke bak penampung
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*
kapasitas	:	30482,63 kg/jam
Rate volumetrik	:	1081,514 ft^3/jam
Total *Dynamic Hea*	:	16,98511 ft.lbf/lbm
Efisiensi pompa	:	75%
Efisiensi motor	:	82%
BHp	:	0,77 hp
Power	:	1 hp
Jumlah	:	1 buah

2. Pompa Bak Penampung Air Sungai



Fungsi : Mengalirkan air dari bak penampung air sungai ke tangk koagulan

Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar Pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah<10 cP

Perhitungan :

Kondisi operasi = 30 ^oC

Densitas air = 62,4 lbm/ft3

= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 30,62504 m^3/jam x 995,35 kg/m^3

= 30482,63 kg/jam

= 67214,2 lb/jam

Rate Volumetrik (Q) = 30,62504 m^3/jam

= 1081,514 ft^3/jam

= 18,02523 ft^3/menit

= 0,300421 ft^3/detik

= 134,8287 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x $qf^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$ **(Peters, 2004, eq. 15)**

Keterangan :

D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)

qf = Rate volumetrik (ft^3/s)

ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x $qf^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$

$= 3{,}9 \times 0{,}582074 \times 1{,}711595$

$= 3{,}885475$ in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size	=	6	in					
Sch	=	80						
OD	=	6,625	in =	0,5519	ft	=	0,1682	m
ID	=	5,76	in =	0,4798	ft	=	0,1462	m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3{,}14 \times 0{,}2302 \text{ ft}^2$$

$$= 0{,}1807 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan Aliran (V)} = \frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$$

$$= \frac{0{,}3004 \text{ ft}^3/\text{s}}{0{,}1807 \text{ ft}^2}$$

$$= 1{,}6624 \text{ ft/s}$$

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reff}}$$

$$= \frac{62{,}43 \text{ lb/ft}^3}{62{,}43 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 1$$

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

$$= \frac{1}{1} \times 0{,}8 \text{ cP}$$

$$= 0{,}8 \text{ cP}$$

$$= 0{,}0006 \text{ lb/ft.s}$$

$$Nre = \frac{ID \times V \times \rho \text{ bahan}}{\mu}$$

$$= \frac{0,4798 \text{ ft} \times 1,6624 \text{ ft/s} \times 62,4 \text{ lb/ft}^3}{0,0006 \text{ lb/ft.s}}$$

$= 88919,66 > 2100$

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,000313

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 $lbm.ft/lbf.s^2$

a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,4798 ft

Tinggi tangki koagulasi = 4,1514 m

= 13,62 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak Bak ke tangki	=	5	m	=	16,404	ft
Tinggi tangki	=	4,1514	m	=	13,62	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m	=	2	ft
Taksiran panjang pipa luru	=	4,1514	m	=	32,024	ft

3 elbow 90^o	=	14,04	m	=	46,062	ft
1 gate valve	=	1,0237	m	=	3,3587	ft
Panjang pipa	=	19,215	m	=	49,42	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,4798 ft

= 3,36 ft

3 elbow 90^o = 3 x 32 x 0,4798 ft

= 46,062 ft

Panjang total pipa = 32,024 ft + 49,42 ft
= 81,445 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$$F_1 = \frac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)**

$$= \frac{0,01 \times 2,7634\ ft^2/s^2 \times 81,445\ ft}{32,2\ lbm.ft/lb \times 0,4798\ ft}$$

= 0,174975 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana V_1 <<< V_2, maka V_1 dianggap 0

α = 1 untuk aliran turbulen **(Geankoplis, 2014)**

Menentukan Kc **(Peters 4 ed ; Page 484)**

A tangki = ∞ A tangki > A pipa

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

sehingga,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1)

K = 0,4 x (1,25 - 0)

K = 0,5

sehingga,

$$F_2 = \frac{0,5 \times 2,76344\ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32,17\ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,0215 ft.lbf/lbm

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta V^2}{2 \times \ \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$$= \frac{2,763439711\ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32,17\ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,043 ft.lbf/lbm

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f = 0,75 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{3 \times 0{,}75 \times 2{,}76344 \ \text{ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32{,}17 \ \text{lbm.ft/lbf.s}^2}$$

= 0,0966 ft.lbf/lbm

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_5 = \frac{1 \times 0{,}17 \times 2{,}76344 \ \text{ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32{,}17 \ \text{lbm.ft/lbf.s}^2}$$

= 0,0073 ft.lbf/lbm

6. Friksi Total

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

= 0,3433 ft.lbf/lbm

e. Perhitungan Energi Tekanan

Tinggi cairan = 4,0135 m = 13,168 ft

ρ bahan = 62,43 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$$= 1 \ \text{atm} + \left(\rho \times \frac{g}{gc} \times H\ liq \right)$$

= 2116,8 atm + (62,4 lbm/ft^3 x 1 lbf/lbm x 13,2 ft)

= 2938,853 lbf/ft^2

$\Delta P = P_1 - P_2$

= 2938,853 - 2116,8

$= 822{,}0529 \ \text{lbf/ft}^2$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{2938{,}853 - 2116{,}8}{62{,}43}$$

$$= 6{,}7604 \ \text{ft.lbf/lbm}$$

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{2{,}763439711}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}042951 \ \text{ft.lbf/llbm}$$

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

$Z_1 = 13{,}6$ ft

$Z_2 = 13{,}2$ ft

$g/gc = 1$ lbf/lbm

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= (13{,}168 - 13{,}62022) \ \text{ft} \times 1 \ \text{lbf/lbm}$$

$$= 0{,}452624 \ \text{ft.lbf/lbm}$$

h. Persamaan Bernouli

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

(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-20)

$$= 6{,}7604 + 0{,}452624 + 0{,}042951 + 0{,}343341$$

$$= 7{,}599334 \ \text{ft.lbf/lbm}$$

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{7{,}5993 \times 134{,}8287 \times 1}{3960}$$

= 0,26 hp

Efisiensi pompa = 70% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{0{,}25874}{70\%}\ hp$$

= 0,369628 hp

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

$$Power\ motor = \frac{Bhp}{ef.Motor}$$

$$= \frac{0{,}369628}{80\%}\ hp$$

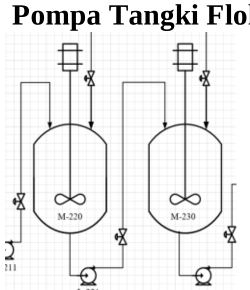
= 0,462035 hp

Maka digunakan powe = 1 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa Bak Penampung Air Sungai
Kode	:	L-211
Fungsi	:	Mengalirkan air sungai dari bak penampung ke tangki koagulan
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*
kapasitas	:	30482,63 kg/jam
Rate volumetrik	:	1081,514 ft^3/jam
Total *Dynamic Hea*	:	7,599334 ft.lbf/lbm
Efisiensi pompa	:	70%
Efisiensi motor	:	80%
BHp	:	0,37 hp
Power	:	1 hp
Jumlah	:	1 buah

3. Pompa Tangki Flokulasi (L-211)



Fungsi : Mengalirkan air dari tangki flokulasi ke clarifier
Tipe : *Centrifugal Pump*
Dasar Pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah<10 cP

Perhitungan :

Kondisi operasi = 30 ^oC
Densitas air = 62,4 lbm/ft3
= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 30,62504 m^3/jam x 995,35 kg/m^3
= 30482,63 kg/jam
= 67214,2 lb/jam

Rate Volumetrik (Q) = 30,62504 m^3/jam
= 1081,514 ft^3/jam
= 18,02523 ft^3/menit
= 0,300421 ft^3/detik
= 134,8287 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$ **(Peters, 2004, eq. 15)**

Keterangan :

D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)
qf = Rate volumetrik (ft^3/s)
ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x $qf^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$
= 3,9 x 0,582074 x 1,711595
= 3,885475 in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size = 6 in
Sch = 80
OD = 6,625 in = 0,5519 ft = 0,1682 m
ID = 5,76 in = 0,4798 ft = 0,1462 m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$

$= \frac{1}{4} \times 3{,}14 \times 0{,}2302 \ ft^2$

$= 0{,}1807 \ ft^2$

Kecepatan Aliran (V = $\frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$

$= \frac{0{,}3004 \ ft^3/s}{0{,}1807 \ ft^2}$

$= 1{,}6624 \ ft/s$

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

sg bahan = $\frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reff}}$

$= \frac{62{,}43 \ lb/ft^3}{62{,}43 \ lb/ft^3}$

$= 1$

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

$= \frac{1}{1} \times 0{,}8 \ cP$

$= 0{,}8 \ cP$

$= 0{,}0006 \ lb/ft.s$

Nre = $\frac{ID \times V \times \rho \text{ bahan}}{\mu}$

$= \frac{0{,}4798 \ ft \times 1{,}6624 \ ft/s \times 62{,}4 \ lb/ft^3}{0{,}0006 \ lb/ft.s}$

$= 88919{,}66 > 2100$

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 ft **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,000313 ft

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 lbm.ft/lbf.s^2
a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,4798 ft
Tinggi tangki = 6,5596 m
= 21,521 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak tangki ke clarifier	=	5	m =	16,404	ft
Tinggi tangki flokulasi	=	6,5596	m =	21,521	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m =	2	ft
Taksiran panjang pipa lurı	=	6,5596	m =	39,925	ft

3 elbow 90^o	=	14,04	m =	46,062	ft
1 gate valve	=	1,0237	m =	3,3587	ft
Panjang pipa	=	21,623	m =	49,42	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,4798 ft
= 3,36 ft

3 elbow 90^o = 3 x 32 x 0,4798 ft
= 46,062 ft

Panjang total pipa = 39,925 ft + 49,42 ft
= 89,346 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$$F_1 = \frac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)**

$$= \frac{0{,}01 \times 2{,}7634\ ft^2/s^2 \times 89{,}346\ ft}{32{,}2\ lbm.ft/lb \times 0{,}4798\ ft}$$

= 0,191949 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana $V_1 <<< V_2$, maka V_1 dianggap 0

$\alpha = 1$ untuk aliran turbulen (Geankoplis, 2014)

Menentukan Kc **(Peters 4 ed ; Page 484)**

A tangki = ∞ A tangki > A pipa

A pipa = 0,18

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

sehingga,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1)

K = 0,4 x (1,25 - 0)

K = 0,5

sehingga,

$$F_2 = \frac{0{,}5 \times 2{,}76344 \ \text{ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 1 \times 32{,}17 \ \text{lbm.ft/lbf.s}^2}$$

= 0,0215 ft.lbf/lbm

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta V^2}{2 \times \ \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$$= \frac{2{,}763439711 \ \text{ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 1 \times 32{,}17 \ \text{lbm.ft/lbf.s}^2}$$

= 0,043 ft.lbf/lbm

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f = 0,75 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{3 \times 0{,}75 \times 2{,}76344 \ \text{ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32{,}17 \ \text{lbm.ft/lbf.s}^2}$$

= 0,0966 ft.lbf/lbm

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_5 = \frac{1 \times 0{,}17 \times 2{,}76344 \ \text{ft}^2/\text{s}^2}{2 \times 32{,}17 \ \text{lbm.ft/lbf.s}^2}$$

$= 0{,}0073$ ft.lbf/lbm

6. Friksi Total

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

$= 0{,}3603$ ft.lbf/lbm

e. Perhitungan Energi Tekanan

Tinggi cairan = 5,44 m = 17,848 ft

ρ bahan = 62,43 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$$= 1 \ \text{atm} + \left(\rho \times \frac{g}{gc} \times H\ liq \right)$$

$= 2116{,}8$ atm + (62,4 lbm/ft^3 x 1 lbf/lbm x 17,8 ft)

$= 3231{,}03$ lbf/ft^2

$\Delta P = P_1 - P_2$

$= 3231{,}03 - 2116{,}8$

$= 1114{,}23$ lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{3231{,}03 - 2116{,}8}{62{,}43}$$

$= 17{,}848$ ft.lbf/lbm

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{2{,}763439711}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

= 0,042951 ft.lbf/llbm

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

Z_1 = 21,5 ft

Z_2 = 5,61 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

= (5,612 - 21,52113) ft x 1 lbf/lbm

= 15,90916 ft.lbf/lbm

h. Persamaan Bernouli

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

(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-20)

= 17,848 + 15,90916 + 0,042951 + 0,360315

= 34,1601 ft.lbf/lbm

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{34{,}16 \times 134{,}8287 \times 1}{3960}$$

= 1,16 hp

Efisiensi pompa = 70% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{1{,}163072\ hp}{70\%}$$

= 1,661531 hp

Efisiensi motor = 80% **(Peters 4ed ; Fig. 14-38 p. 521)**

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{ef.Motor}$$

$$= \frac{1,661531 \text{ hp}}{80\%}$$

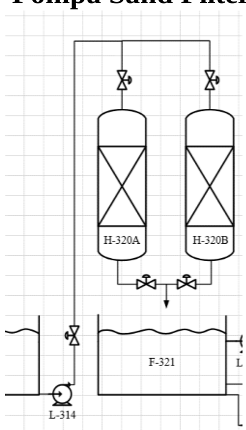
$= 2,076913$ hp

Maka digunakan power = 4 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa Tangki Flokulasi
Kode	:	L-221
Fungsi	:	Mengalirkan air dari tangki flokulasi ke clarifier
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*
kapasitas	:	30482,63 kg/jam
Rate volumetrik	:	1081,514 ft^3/jam
Total *Dynamic Head*	:	34,1601 ft.lbf/lbm
Efisiensi pompa	:	70%
BHp	:	1,6615 hp
Efisiensi motor	:	80%
Power	:	4 hp
Jumlah	:	1 buah

4. Pompa Sand Filter



Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung air setengah bersih ke sand filter
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah<10 cP

Perhitungan :

Kondisi operasi = 30 ^oC

Densitas air = 62,4 lbm/ft3

= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 124,0325 m^3/jam x 995,35 kg/m^3
= 123455,8 kg/jam
= 272220 lb/jam

Rate Volumetrik (Q) = 124,0325 m^3/jam
= 4380,171 ft^3/jam
= 73,00286 ft^3/menit
= 1,216714 ft^3/detik
= 546,0614 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$ **(Peters, 2004, eq. 15)**

Keterangan :

D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)

qf = Rate volumetrik (ft^3/s)

ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$
= 3,9 x 1,216714 x 1,711595
= 8,121838 in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size	=	12	in						
Sch	=	30							
OD	=	12,75	in	=	1,0621	ft	=	0,3237	m
ID	=	12,09	in	=	1,0071	ft	=	0,307	m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 1,0142 \text{ ft}^2$$

$$= 0,7962 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan Aliran (V)} = \frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$$

$$= \frac{1,2167 \text{ ft}^3/\text{s}}{}$$

$0{,}7962 \ ft^2$

$= 1{,}5282 \ ft/s$

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reff}} = \frac{62{,}43 \ lb/ft^3}{62{,}43 \ lb/ft^3} = 1$$

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reff}} \times \mu \text{ reff} = \frac{1}{1} \times 0{,}8 \ cP = 0{,}8 \ cP = 0{,}0006 \ lb/ft.s$$

$$Nre = \frac{ID \times V \times \rho \text{ bahan}}{\mu}$$

$$= \frac{1{,}0071 \ ft \times 1{,}5282 \ ft/s \times 62{,}4 \ lb/ft^3}{0{,}0006 \ lb/ft.s}$$

$$= 171574{,}6 > 2100$$

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 ft **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,000149 ft

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 $lbm.ft/lbf.s^2$

a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 1,0071 ft
Tinggi tangki sand filter = 5,8 m
= 19,029 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak tangki ke sand filter	=	5	m	=	16,404	ft
Tinggi tangki sand filter	=	5,8	m	=	19,029	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m	=	2	ft
Taksiran panjang pipa lurı	=	5,8	m	=	37,433	ft
3 elbow 90^o	=	29,468	m	=	96,681	ft
1 gate valve	=	2,1487	m	=	7,0497	ft
Panjang pipa	=	37,417	m	=	103,73	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 1,0071 ft
= 7,05 ft

3 elbow 90^o = 3 x 32 x 1,0071 ft
= 96,681 ft

Panjang total pipa = 37,433 ft + 103,73 ft
= 141,16 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$$F_1 = \frac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)**

$$= \frac{0{,}01 \times 2{,}3354\ ft^2/s^2 \times 141{,}16\ ft}{32{,}2\ lbm.ft/lb \times 1{,}0071\ ft}$$

= 0,122106 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana $V_1 <<< V_2$, maka V_1 diangga 0
α = 1 untuk aliran turbulen (Geankoplis, 2014)

Menentukan Kc [Peters 4 ed ; Page 484]

A tangki = ∞ A tangki > A pipa
A pipa = 0,8
Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0
sehingga, **(Peters 4 ed ; Page 484)**

$K = 0,4 \times (1,25 - A2/A1)$

$K = 0,4 \times (1,25 - 0)$

$K = 0,5$

sehingga,

$$F_2 = \frac{0,5 \times 2,335354 \ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32,17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0,0181$ ft.lbf/lbm

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$$= \frac{2,335353723 \ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32,17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0,0363$ ft.lbf/lbm

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

$K_f = 0,75$ **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{3 \times 0,75 \times 2,335354 \ ft^2/s^2}{2 \times 32,17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0,0817$ ft.lbf/lbm

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1**

$$F_5 = \frac{1 \times 0,17 \times 2,335354 \ ft^2/s^2}{2 \times 32,17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0,0062$ ft.lbf/lbm

6. Friksi Total

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

$= 0{,}2644$ ft.lbf/lbm

e. Perhitungan Energi Tekanan

Tinggi cairan di bak = 3,5115 m = 11,52 ft

ρ bahan dalam tangki = 62,43 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$= 1 \text{ atm} + \left(\rho \times \frac{g}{gc} \times H\text{ liq} \right)$

$= 2116{,}8 \text{ atm} + (62{,}4 \text{ lbm/ft}^3 \times 1 \text{ lbf/lbm} \times 11{,}5 \text{ ft})$

$= 2836{,}024 \text{ lbf/ft}^2$

$\Delta P = P_1 - P_2$

$= 2836{,}024 - 2116{,}8$

$= 719{,}2243 \text{ lbf/ft}^2$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{2836{,}024 - 2116{,}8}{62{,}43}$$

$= 11{,}52$ ft.lbf/lbm

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{2{,}335353723}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$= 0{,}036297$ ft.lbf/llbm

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

Z_1 = 13,788 ft

Z_2 = 19,029 ft

$g/gc = 1$ lbf/lbm

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$= (19{,}029 - 13{,}78754)$ ft x 1 lbf/lbm

$= 5{,}241328$ ft.lbf/lbm

h. Persamaan Bernouli

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

(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-20)

$= 11{,}52 + 5{,}241328 + 0{,}036297 + 0{,}26439$

$= 17{,}06251$ ft.lbf/lbm

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{17{,}063 \times 546{,}0614 \times 1}{3960}$$

$= 2{,}35$ hp

Efisiensi pompa = 65% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{2{,}352822 \text{ hp}}{65\%}$$

$= 3{,}619727$ hp

Efisiensi motor = 85%

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{ef.Motor}$$

$$= \frac{3{,}619727 \text{ hp}}{85\%}$$

$= 4{,}258502$ hp

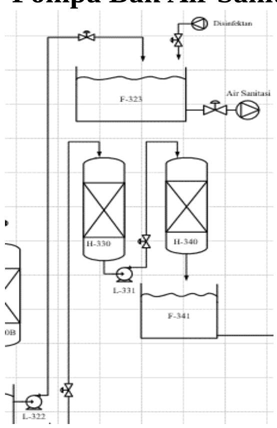
Maka digunakan powe = 5 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa Tangki Sand Filter
Kode	:	L-314
Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung air setengah bersih

		ke sand filter	
Tipe	:	*Centrifugal Pump*	
Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*	
Kapasitas	:	123455,8	kg/jam
Rate volumetrik	:	4380,171	ft^3/jam
Total *Dynamic Head*	:	17,06251	ft.lbf/lbm
Efisiensi Pompa	:	65%	
BHp	:	3,619727	hp
Efisiensi motor	:	85%	
Power	:	5	hp
Jumlah	:	1	buah

5. Pompa Bak Air Sanitasi



Fungsi : Mengalirkan air dari bak penampung air bersih ke bak penampung air sanitasi

Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar Pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah<10 cP

Perhitungan :

Kondisi operasi = 30 ^oC

Densitas air = 62,4 lbm/ft3

= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 1,752217 m^3/jam x 995,35 kg/m^3

= 1744,069 kg/jam

= 3845,672 lb/jam

Rate Volumetrik (Q) = 1,752217 m^3/jam
= 61,879 ft^3/jam
= 1,031317 ft^3/menit
= 0,017189 ft^3/detik
= 7,714249 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$ **(Peters, 2004, eq. 15)**

Keterangan :

D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)
qf = Rate volumetrik (ft^3/s)
ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$
= 3,9 x 0,017189 x 1,711595
= 0,114738 in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size	= 1	in				
Sch	= 40					
OD	= 1,32	in =	0,11	ft =	0,0335	m
ID	= 1,049	in =	0,0874	ft =	0,0266	m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$
$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,0076 \ ft^2$$
$$= 0,006 \ ft^2$$

$$\text{Kecepatan Aliran (V)} = \frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$$
$$= \frac{0,0172 \ ft^3/s}{0,006 \ ft^2}$$
$$= 2,8677 \ ft/s$$

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reff}}$$

$$= \frac{62{,}43 \ lb/ft^3}{62{,}43 \ lb/ft^3}$$

$$= 1$$

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

$$= \frac{1}{1} \times 0{,}8 \ cP$$

$$= 0{,}8 \ cP$$

$$= 0{,}0006 \ lb/ft.s$$

$$Nre = \frac{ID \times V \times \rho \text{ bahan}}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}0874 \ ft \times 2{,}8677 \ ft/s \times 62{,}4 \ lb/ft^3}{0{,}0006 \ lb/ft.s}$$

$$= 27935{,}47 > 2100$$

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 ft **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,001717 ft

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 $lbm.ft/lbf.s^2$

a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,0874 ft

Tinggi bak penampung air sanitasi = 8,3939 m

= 27,539 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak bak air bersih ke bak sanitasi	=	5	m	=	16,404	ft
Tinggi Bak air sanitasi	=	8,3939	m	=	27,539	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m	=	2	ft
Taksiran panjang pipa lurus	=	8,3939	m	=	45,943	ft

3 elbow 90^o	=	2,5569	m	=	8,3886	ft
1 gate valve	=	0,1864	m	=	0,6117	ft
Panjang pipa	=	2,7433	m	=	9,0003	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,0874 ft
= 0,61 ft

3 elbow 90^o = 3 x 32 x 0,0874 ft
= 8,3886 ft

Panjang total pipa = 45,943 ft + 9,0003 ft
= 54,944 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$$F_1 = \frac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)**

$$= \frac{0,01 \times 8,2236 \ ft^2/s^2 \times 54,944 \ ft}{32,2 \ lbm.ft/lb \times 0,0874 \ ft}$$

= 1,928798 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana $V_1 <<< V_2$, maka V_1 dianggap 0

α = 1 untuk aliran turbulen **(Geankoplis, 2014)**

Menentukan Kc [Peters 4 ed ; Page 484]

A tangki = ∞ A tangki > A pipa

A pipa = 0,01

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

sehingga,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1) **(Peters 4 ed ; Page 484)**

$K = 0{,}4 \times (\ 1{,}25 - 0\ )$

$K = 0{,}5$

sehingga,

$$F_2 = \frac{0{,}5 \times 8{,}223568\ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17\ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}0639\ ft.lbf/lbm$

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta V^2}{2 \times \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$$= \frac{8{,}223568389\ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17\ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}1278\ ft.lbf/lbm$

4. Friksi karena elbow 90^o

$$F_4 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

$K_f = 0{,}75$ **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{3 \times 0{,}75 \times 8{,}223568\ ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17\ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}2876\ ft.lbf/lbm$

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_5 = \frac{1 \times 0{,}17 \times 8{,}223568\ ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17\ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}0217\ ft.lbf/lbm$

6. Friksi Total

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

$= 2{,}4298\ ft.lbf/lbm$

e. Perhitungan Energi Tekanan

Tinggi cairan di bak penampung air bersi = 3,4995 m = 11,481 ft

ρ bahan dalam tangki = 62,43 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$= 1 \text{ atm} + \left(\rho \times \frac{g}{gc} \times H \text{ liq} \right)$

= 2116,8 atm + (62,4 lbm/ft^3 x 1 lbf/lbm x 11,5 ft)

= 2833,571 lbf/ft^2

ΔP = P_1 - P_2

= 2833,571 - 2116,8

= 716,7709 lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{2833,571 - 2116,8}{62,43}$$

= 11,481 ft.lbf/lbm

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{8,223568389}{2 \times 1 \times 32,17}$$

= 0,127814 ft.lbf/llbm

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

Z_1 = 13,7 ft

Z_2 = 27,5 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

= (27,539 - 13,74189) ft x 1 lbf/lbm

= 13,79715 ft.lbf/lbm

h. Persamaan Bernouli

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

$$= 11,481 + 13,79715 + 0,127814 + 2,42983$$

$$= 27,83599 \text{ ft.lbf/lbm}$$

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{27,836 \times 7,714249 \times 1}{3960}$$

$$= 0,05 \text{ hp}$$

Efisiensi pompa = 65% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520**

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

$$= \frac{0,054226 \text{ hp}}{65\%}$$

$$= 0,083424 \text{ hp}$$

Efisiensi motor = 80%

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\text{ef.Motor}}$$ **(Peters 4ed ; Fig. 14-38 p. 521)**

$$= \frac{0,083424 \text{ hp}}{80\%}$$

$$= 0,10428 \text{ hp}$$

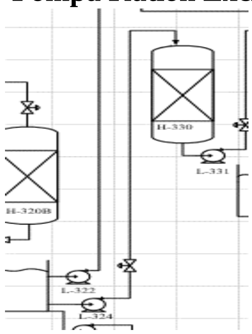
Maka digunakan powe = 0,5 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa Bak Air Sanitasi
Kode	:	L-322
Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung air bersih ke bak penampung air sanitasi
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*
Kapasitas	:	1744,069 kg/jam
Rate volumetrik	:	61,879 ft^3/jam
Total *Dynamic Hea*	:	27,83599 ft.lbf/lbm

Efisiensi Pompa	:	65%	
BHp	:	0,083424	hp
Efisiensi motor	:	80%	
Power	:	0,5	hp
Jumlah	:	1	buah

6. Pompa Kation Exchanger (L-324)



Fungsi : Mengalirkan air dari bak penampung bersih ke kation exchanger
Tipe : *Centrifugal Pump*
Dasar Pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah<10 cP

Perhitungan :

Kondisi operasi = 30 ^{o}C
Densitas air = 62,4 lbm/ft3
= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 5,791455 m^3/jam x 995,35 kg/m^3
= 5764,525 kg/jam
= 12710,78 lb/jam

Rate Volumetrik (Q) = 5,7915 m^3/jam
= 204,5235 ft^3/jam
= 3,408725 ft^3/menit
= 0,056812 ft^3/detik
= 25,49726 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$ **(Peters, 2004, eq. 15)**

Keterangan :

D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)

qf = Rate volumetrik (ft^3/s)

ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$

= 3,9 x 0,056812 x 1,711595

= 0,379233 in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size	=	3/8	in					
Sch	=	80						
OD	=	0,675	in =	0,0562	ft	=	0,0171	m
ID	=	0,423	in =	0,0352	ft	=	0,0107	m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,0012\ ft^2$$

$$= 0,001\ ft^2$$

Kecepatan Aliran (V) = $\dfrac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$

$$= \frac{0,0568\ ft^3/s}{0,001\ ft^2}$$

$$= 58,291\ ft/s$$

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho\ \text{bahan}}{\rho\ \text{reff}}$$

$$= \frac{62,43\ lb/ft^3}{62,43\ lb/ft^3}$$

$$= 1$$

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

$$= \frac{1}{} \times 0,8\ cP$$

$$= \frac{1}{0,8} \text{ cP}$$

= 0,0006 lb/ft.s

$$Nre = \frac{ID \times V \times \rho \text{ bahan}}{\mu}$$

$$= \frac{0,0352 \text{ ft} \times 58,291 \text{ ft/s} \times 62,4 \text{ lb/ft}^3}{0,0006 \text{ lb/ft.s}}$$

= 228976,5 > 2100

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 ft **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,004257 ft

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 $lbm.ft/lbf.s^2$

a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,0352 ft

Tinggi kation exchanger = 7,2761 m

= 23,872 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak bak ke kation exchanger	=	5	m =	16,404	ft
Tinggi kation exchanger	=	7,2761	m =	23,872	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m =	2	ft
Taksiran panjang pipa lurus	=	7,2761	m =	42,276	ft

3 elbow 90^o	=	1,031	m =	3,3826	ft
1 gate valve	=	0,0752	m =	0,2467	ft
Panjang pipa	=	1,1062	m =	3,6293	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,0352 ft

= 0,25 ft

3 elbow 90^o = 3 x 32 x 0,0352 ft
= 3,3826 ft

Panjang total pipa = 42,276 ft + 3,6293 ft
= 45,905 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$F_1 = \dfrac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)**

$= \dfrac{0{,}01 \times 3397{,}8\ ft^2/s^2 \times 45{,}905\ ft}{32{,}2\ lbm.ft/lb \times 0{,}0352\ ft}$

= 1651,224 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$F_2 = \dfrac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana $V_1 <<< V_2$, maka V_1 dianggap 0

α = 1 untuk aliran turbulen **(Geankoplis, 2014)**

Menentukan Kc [Peters 4 ed ; Page 484]

A tangki = ∞ A tangki > A pipa

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

sehingga,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1) **(Peters 4 ed ; Page 484)**

K = 0,4 x (1,25 - 0)

K = 0,5

sehingga,

$F_2 = \dfrac{0{,}5 \times 3397{,}822\ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17\ lbm.ft/lbf.s^2}$

= 26,405 ft.lbf/lbm

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$F_3 = \dfrac{\Delta V^2}{2 \times \times gc}$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

($V_1 <<<< V_2$ dianggap = 0)

$$= \frac{3397{,}822026 \quad ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17 \quad lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 52{,}81$ ft.lbf/lbm

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f = 0,75 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{3 \times 0{,}75 \times 3397{,}822 \quad ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \quad lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 118{,}82$ ft.lbf/lbm

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_5 = \frac{1 \times 0{,}17 \times 3397{,}822 \quad ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \quad lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 8{,}9778$ ft.lbf/lbm

6. Friksi Total

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

$= 1858{,}2$ ft.lbf/lbm

e. Perhitungan Energi Tekanan

Tinggi cairan di bak penampung air bersi = 3,4995 m = 11,481 ft

ρ bahan = 62,43 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$$= 1 \text{ atm} + \left(\rho \times \frac{g}{gc} \times H \text{ liq} \right)$$

$= 2116{,}8$ atm + (62,4 lbm/ft^3 x 1 lbf/lbm x 11,5 ft)

$= 2833{,}571 \ \text{lbf/ft}^2$

$\Delta P = P_1 - P_2$

$= 2833{,}571 - 2116{,}8$

$= 716{,}7709 \ \text{lbf/ft}^2$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{2833{,}571 - 2116{,}8}{62{,}43}$$

$= 11{,}481 \ \text{ft.lbf/lbm}$

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{3397{,}822026}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$= 52{,}81041 \ \text{ft.lbf/llbm}$

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

$Z_1 = 8{,}39 \ \text{ft}$

$Z_2 = 23{,}9 \ \text{ft}$

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

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$= (23{,}872 - 8{,}3939) \ \text{ft} \times 1 \ \text{lbf/lbm}$

$= 15{,}47766 \ \text{ft.lbf/lbm}$

h. Persamaan Bernouli

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

$= 11{,}481 + 15{,}47766 + 52{,}81041 + 1858{,}241$

$= 1938{,}01 \ \text{ft.lbf/lbm}$

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{1938 \times 25{,}49726 \times 1}{3960}$$

$= 1{,}25$ hp

Efisiensi pompa = 65% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{1{,}247827 \text{ hp}}{65\%}$$

$= 1{,}919734$ hp

Efisiensi motor = 80%

$$\text{Power motor} = \frac{\text{Bhp}}{\text{ef.Motor}}$$

$$= \frac{1{,}919734 \text{ hp}}{80\%}$$

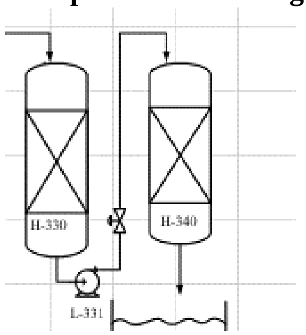
$= 2{,}399668$ hp

Maka digunakan power = 3 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa Kation Exchanger	
Kode	:	L-324	
Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung air bersih ke kation exchanger	
Tipe	:	*Centrifugal Pump*	
Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*	
Kapasitas	:	5764,525	kg/jam
Rate volumetrik	:	204,5235	ft^3/jam
Total *Dynamic Head*	:	1938,01	ft.lbf/lbm
Efisiensi Pompa	:	65%	
BHp	:	1,919734	hp
Efisiensi motor	:	80%	
Power	:	3	hp
Jumlah	:	1	buah

7. Pompa Anion Exchanger (L-331)



Fungsi : Mengalirkan air dari kation exchanger ke anion exchanger
Tipe : *Centrifugal Pump*
Dasar Pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah<10 cP

Perhitungan :
Kondisi operasi = 30 ^oC
Densitas air = 62,4 lbm/ft3
= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 5,791455 m^3/jam x 995,35 kg/m^3
= 5764,525 kg/jam
= 12710,78 lb/jam

Rate Volumetrik (Q = 5,7915 m^3/jam
= 204,5235 ft^3/jam
= 3,408725 ft^3/menit
= 0,056812 ft^3/detik
= 25,49726 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$ **(Peters, 2004, eq. 15)**

Keterangan :

D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)
qf = Rate volumetrik (ft^3/s)
ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$
= 3,9 x 0,275105 x 1,711595

= 1,836386 in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size	=	2	in					
Sch	=	80						
OD	=	2,38	in =	0,1983	ft	=	0,0604	m
ID	=	1,93	in =	0,1608	ft	=	0,049	m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3{,}14 \times 0{,}0258 \ ft^2$$

$$= 0{,}0203 \ ft^2$$

Kecepatan Aliran (V) $= \dfrac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$

$$= \frac{0{,}0568 \ ft^3/s}{0{,}0203 \ ft^2}$$

$$= 2{,}8001 \ ft/s$$

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reff}}$$

$$= \frac{62{,}43 \ lb/ft^3}{62{,}43 \ lb/ft^3}$$

$$= 1$$

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

$$= \frac{1}{1} \times 0{,}8 \ cP$$

$$= 0{,}8 \ cP$$

$$= 0{,}0006 \ lb/ft.s$$

$$Nre = \frac{ID \times V \times \rho \text{ bahan}}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}1608 \text{ ft} \times 2{,}8001 \text{ ft/s} \times 62{,}4 \text{ lb/ft}^3}{0{,}0006 \text{ lb/ft.s}}$$

$= 50185{,}01 > 2100$

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 ft **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,000933 ft

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 $lbm.ft/lbf.s^2$

a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,1608 ft

Tinggi anion exchanger = 5,6183 m
= 18,433 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak kation exchanger ke anion exhange	=	5	m	=	16,404	ft
Tinggi anion exchanger	=	5,6183	m	=	18,433	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m	=	2	ft
Taksiran panjang pipa lurus	=	5,6183	m	=	36,837	ft

4 elbow 90^o	=	6,2723	m	=	20,578	ft
1 gate valve	=	0,343	m	=	1,1254	ft
Panjang pipa	=	6,6153	m	=	21,704	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,1608 ft
= 1,13 ft

4 elbow 90^o = 4 x 32 x 0,1608 ft
= 20,578 ft

Panjang total pipa = 36,837 ft + 21,704 ft
= 58,541 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$F_1 = \dfrac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)**

$= \dfrac{0{,}01 \times 7{,}8403 \ ft^2/s^2 \times 58{,}541 \ ft}{32{,}2 \ lbm.ft/lb \times 0{,}1608 \ ft}$

= 1,064927 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$F_2 = \dfrac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana V_1 <<< V_2, maka V_1 dianggap 0

α = 1 untuk aliran turbulen **(Geankoplis, 2014)**

Menentukan Kc [Peters 4 ed ; Page 484]

A tangki = ∞ A tangki > A pipa

A pipa = 0,02

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

sehingga,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1) **(Peters 4 ed ; Page 484)**

K = 0,4 x (1,25 - 0)

K = 0,5

sehingga,

$F_2 = \dfrac{0{,}5 \times 7{,}840303 \ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$

= 0,0609 ft.lbf/lbm

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$F_3 = \dfrac{\Delta V^2}{2 \times \ \times gc}$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$= \dfrac{7{,}84030325 \ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$

= 0,1219 ft.lbf/lbm

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f = 0,75 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{4 \times 0{,}75 \times 7{,}840303 \ ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}3656$ ft.lbf/lbm

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_5 = \frac{1 \times 0{,}17 \times 7{,}840303 \ ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}0207$ ft.lbf/lbm

6. Friksi Total

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

$= 1{,}634$ ft.lbf/lbm

e. Perhitungan Persamaan Bernouli

Tinggi cairan di kation exchange = 5,2761 m = 17,31 ft

ρ bahan = 62,43 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$= 1 \ atm + \left(\rho \times \frac{g}{gc} \times H\ liq\right)$

$= 2116{,}8 \ atm + (62{,}4 \ lbm/ft^3 \times 1 \ lbf/lbm \times 17{,}3 \ ft)$

$= 3197{,}443$ lbf/ft^2

$\Delta P = P_1 - P_2$

$= 3197{,}443 - 2116{,}8$

$= 1080{,}643 \ \text{lbf/ft}^2$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{3197{,}443 - 2116{,}8}{62{,}43}$$

$$= 17{,}31 \ \text{ft.lbf/lbm}$$

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{7{,}84030325}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}121857 \ \text{ft.lbf/llbm}$$

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

$Z_1 = 23{,}9$ ft

$Z_2 = 18{,}4$ ft

$g/gc = 1$ lbf/lbm

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= (18{,}433 - 23{,}87127) \ \text{ft} \times 1 \ \text{lbf/lbm}$$

$$= 5{,}438418 \ \text{ft.lbf/lbm}$$

h. Persamaan Bernouli

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

$$= 17{,}31 + 5{,}438418 + 0{,}121857 + 1{,}634001$$

$$= 24{,}50395 \ \text{ft.lbf/lbm}$$

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{24{,}504 \times 25{,}49726 \times 1}{3960}$$

$$= 0{,}16 \ \text{hp}$$

Efisiensi pompa = 50% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{0{,}157774 \text{ hp}}{50\%}$$

$$= 0{,}315547 \text{ hp}$$

Efisiensi motor = 80% **(Peters 4ed ; Fig. 14-38 p. 521)**

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{ef.Motor}$$

$$= \frac{0{,}315547 \text{ hp}}{80\%}$$

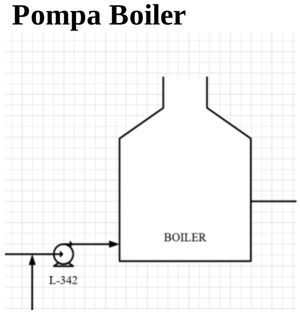
$$= 0{,}394434 \text{ hp}$$

Maka digunakan powe = 0,5 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa Anion Exchanger
Kode	:	L-331
Fungsi	:	Mengalirkan air dari kation exchanger ke anion exchang
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*
Kapasitas	:	5764,525 kg/jam
Rate volumetrik	:	204,5235 ft^3/jam
Total *Dynamic Hea*	:	24,50395 ft.lbf/lbm
Efisiensi pompa	:	50%
BHp	:	0,315547 hp
Efisiensi motor	:	80%
Power	:	0,5 hp
Jumlah	:	1 buah

8. Pompa Boiler



Fungsi : Mengalirkan air dari bak penampung demineralisasi ke boiler

Tipe : *Centrifugal Pump*
Dasar Pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah<10 cP

Perhitungan :
Kondisi operasi = 30 ^oC
Densitas air = 62,4 lbm/ft3
= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 5,791455 m^3/jam x 995,35 kg/m^3
= 5764,525 kg/jam
= 12710,78 lb/jam

Rate Volumetrik (Q = 5,7915 m^3/jam
= 204,5235 ft^3/jam
= 3,408725 ft^3/menit
= 0,056812 ft^3/detik
= 25,49726 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\,opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$ **(Peters, 2004, eq. 15)**

Keterangan :
D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)
qf = Rate volumetrik (ft^3/s)
ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,
$D_{i\,opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$
= 3,9 x 0,275105 x 1,711595
= 1,836386 in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :
Pipe size = 2 in
Sch = 80
OD = 2,38 in = 0,1983 ft = 0,0604 m
ID = 1,93 in = 0,1608 ft = 0,049 m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$
$$= \frac{1}{} \times 3,14 \times 0,0258 \ ft^2$$

4

= 0,0203 ft^2

Kecepatan Aliran (V = $\frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$

= $\frac{0{,}0568 \ ft^3/s}{0{,}0203 \ ft^2}$

= 2,8001 ft/s

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

sg bahan = $\frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reff}}$

= $\frac{62{,}43 \ lb/ft^3}{62{,}43 \ lb/ft^3}$

= 1

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

= $\frac{1}{1} \times 0{,}8$ cP

= 0,8 cP

= 0,0006 lb/ft.s

Nre = $\frac{ID \times V \times \rho \text{ bahan}}{\mu}$

= $\frac{0{,}1608 \ ft \times 2{,}8001 \ ft/s \times 62{,}4 \ lb/ft^3}{0{,}0006 \ lb/ft.s}$

= 50185,01 > 2100

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 ft **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,000933 ft

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 lbm.ft/lbf.s^2

a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,1608 ft

Tinggi bak penampung demineralisasi = 2,7615 m
= 9,0601 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak bak demineralisasi ke boiler	=	5	m =	16,404	ft
Tinggi anion exchanger	=	2,7615	m =	9,0601	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m =	2	ft
Taksiran panjang pipa lurus	=	2,7615	m =	27,464	ft

2 elbow 90^o	=	3,1362	m =	10,289	ft
1 gate valve	=	0,343	m =	1,1254	ft
Panjang pipa	=	3,4792	m =	11,415	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,1608 ft
= 1,13 ft

2 elbow 90^o = 2 x 32 x 0,1608 ft
= 10,289 ft

Panjang total pipa = 27,464 ft + 11,415 ft
= 38,879 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$$F_1 = \frac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)**

$$= \frac{0{,}01 \times 7{,}8403 \ ft^2/s^2 \times 38{,}879 \ ft}{32{,}2 \ lbm.ft/lb \times 0{,}1608 \ ft}$$

= 0,707254 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana $V_1 <<< V_2$, maka V_1 dianggap 0

α = 1 untuk aliran turbulen **(Geankoplis, 2014)**

Menentukan Kc [Peters 4 ed ; Page 484]

A tangki = ∞ A tangki > A pipa

A pipa = 0,02

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

sehingga,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1) **(Peters 4 ed ; Page 484)**

K = 0,4 x (1,25 - 0)

K = 0,5

sehingga,

$$F_2 = \frac{0{,}5 \times 7{,}840303 \ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,0609 ft.lbf/lbm

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta V^2}{2 \times \ \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$$= \frac{7{,}84030325 \ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,1219 ft.lbf/lbm

4. Friksi karena elbow 90^o

$$F_4 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f = 0,75 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{2 \times 0{,}75 \times 7{,}840303 \ ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,1828 ft.lbf/lbm

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \times \frac{K_f \times V^2}{}$$

2 x gc

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1**

$$F_5 = \frac{1 \times 0{,}17 \times 7{,}840303 \ ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}0207$ ft.lbf/lbm

6. Friksi Total

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

$= 1{,}0935$ ft.lbf/lbm

e. Perhitungan Energi Tekanan

Tinggi cairan di bak penampung demineralis = 2,2783 m = 7,4746 ft

ρ bahan = 62,43 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$$= 1 \ atm + \left(\rho \times \frac{g}{gc} \times H\ liq \right)$$

$= 2116{,}8$ atm + (62,4 lbm/ft^3 x 1 lbf/lbm x 7,47 ft)

$= 2583{,}44$ lbf/ft^2

$\Delta P = P_1 - P_2$

$= 2583{,}44 - 2116{,}8$

$= 466{,}6395$ lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{2583{,}44 - 2116{,}8}{62{,}43}$$

$= 7{,}4746$ ft.lbf/lbm

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{7{,}84030325}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

= 0,121857 ft.lbf/llbm

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

Z_1 = 9,06 ft

Z_2 = 65,6 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

= (65,604 - 9,060038) ft x 1 lbf/lbm

= 56,54396 ft.lbf/lbm

h. Persamaan Bernouli

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

= 7,4746 + 56,54396 + 0,121857 + 1,093542

= 65,23397 ft.lbf/lbm

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{65,234 \times 25,49726 \times 1}{3960}$$

= 0,42 hp

Efisiensi pompa = 65% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520**

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

$$= \frac{0,420022\ hp}{65\%}$$

= 0,646188 hp

Efisiensi motor = 80% **(Peters 4ed ; Fig. 14-38 p. 521)**

$$Power\ motor = \frac{Bhp}{ef.Motor}$$

$$= \frac{0,646188\ hp}{80\%}$$

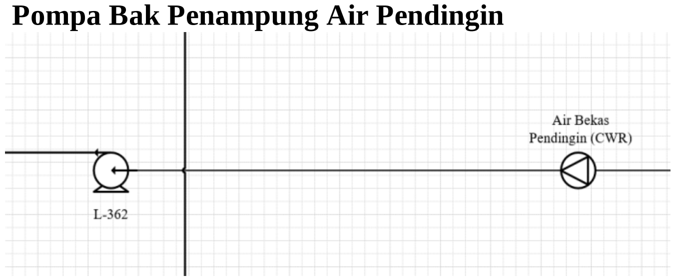
= 0,807735 hp

Maka digunakan powe = 1 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa Boiler
Kode	:	L-342
Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung demineralisasi ke boiler
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*
Kapasitas	:	5764,525 kg/jam
Rate volumetrik	:	204,5235 ft^3/jam
Total *Dynamic Hea*	:	65,23397 ft.lbf/lbm
Efisiensi Pompa	:	65%
BHp	:	0,646188
Efisiensi motor	:	80%
Power	:	1 hp
Jumlah	:	1 buah

9. Pompa Bak Penampung Air Pendingin



Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung air bersih menuju bak penampung air pendingin
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah<10 cP

Perhitungan :

Kondisi operasi = 30 ^oC

Densitas air = 62,4 lbm/ft3

= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 79,75966 m^3/jam x 995,35 kg/m^3

= 79388,78 kg/jam

= 175052,3 lb/jam

Rate Volumetrik (Q = 79,7597 m^3/jam

= 2816,689 ft^3/jam

= 46,94481 ft^3/menit
= 0,782414 ft^3/detik
= 351,1472 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$ **(Peters, 2004, eq. 15)**

Keterangan :

D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)
qf = Rate volumetrik (ft^3/s)
ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x $qf^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$
= 3,9 x 0,89546 x 1,711595
= 5,977397 in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size	= 8	in				
Sch	= 40					
OD	= 8,625	in =	0,7185	ft =	0,219	m
ID	= 7,981	in =	0,6648	ft =	0,2026	m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,442\ ft^2$$

$$= 0,347\ ft^2$$

Kecepatan Aliran (V) = $\frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$

$$= \frac{0,7824\ ft^3/s}{0,347\ ft^2}$$

= 2,2551 ft/s

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**
μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**
ρ reff = 62,4 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reff}} = \frac{62{,}43 \ \text{lb/ft}^3}{62{,}43 \ \text{lb/ft}^3} = 1$$

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reff}} \times \mu \text{ reff} = \frac{1}{1} \times 0{,}8 \ \text{cP} = 0{,}8 \ \text{cP} = 0{,}0006 \ \text{lb/ft.s}$$

$$\text{Nre} = \frac{\text{ID} \times V \times \rho \text{ bahan}}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}6648 \ \text{ft} \times 2{,}2551 \ \text{ft/s} \times 62{,}4 \ \text{lb/ft}^3}{0{,}0006 \ \text{lb/ft.s}}$$

$$= 167135{,}9 > 2100$$

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 ft **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,000226 ft

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 lbm.ft/lbf.s^2

a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,6648 ft

Tinggi bak penampung air pendingin = 6,5617 m
= 21,528 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak bak air bersih ke bak air pendingin = 5 m = 16,404 ft

Tinggi bak penampung air dingin	=	6,5617	m =	21,528	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m =	2	ft
Taksiran panjang pipa lurus	=	6,5617	m =	39,932	ft

3 elbow 90^o	=	19,453	m =	63,822	ft
1 gate valve	=	1,4185	m =	4,6537	ft
Panjang pipa	=	20,872	m =	68,476	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,6648 ft
= 4,65 ft

3 elbow 90^o = 3 x 32 x 0,6648 ft
= 63,822 ft

Panjang total pipa = 39,932 ft + 68,476 ft
= 108,41 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$$F_1 = \frac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)**

$$= \frac{0{,}01 \times 5{,}0854\ ft^2/s^2 \times 108{,}41\ ft}{32{,}2\ lbm.ft/lb \times 0{,}6648\ ft}$$

= 0,309325 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana V_1 <<< V_2, maka V_1 dianggap 0

α = 1 untuk aliran turbulen **(Geankoplis, 2014)**

Menentukan Kc [Peters 4 ed ; Page 484]

A tangki = ∞ A tangki > A pipa

A pipa = 0,35

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

sehingga,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1) **(Peters 4 ed ; Page 484)**

K = 0,4 x (1,25 - 0)

K = 0,5

sehingga,

$$F_2 = \frac{0{,}5 \times 5{,}085388 \ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$$= 0{,}0395 \ ft.lbf/lbm$$

3. **Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki**

$$F_3 = \frac{\Delta V^2}{2 \times \ \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$$= \frac{5{,}085388168 \ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$$= 0{,}079 \ ft.lbf/lbm$$

4. **Friksi karena elbow 90°**

$$F_4 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f = 0,75 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{3 \times 0{,}75 \times 5{,}085388 \ ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$$= 0{,}1778 \ ft.lbf/lbm$$

5. **Friksi karena gate valve**

$$F_5 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_5 = \frac{1 \times 0{,}17 \times 5{,}085388 \ ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$$= 0{,}0134 \ ft.lbf/lbm$$

6. **Friksi Total**

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

$$= 0{,}6192 \ ft.lbf/lbm$$

e. **Perhitungan Energi Tekanan**

Tinggi cairan di bak penampung air bersih = 4,1886 m = 13,742 ft

ρ bahan = 62,43 lbm/ft^3

$g/gc = 1 \ lbf/lbm$

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

Energi Tekanan

$P_1 = P \ atm + P \ hidrostatis$

$= 1 \ atm + \left(\rho \ x \ \frac{g}{gc} \ x \ H \ liq \right)$

$= 2116{,}8 \ atm + (62{,}4 \ lbm/ft^3 \ x \ 1 \ lbf/lbm \ x \ 13{,}7 \ ft)$

$= 2974{,}706 \ lbf/ft^2$

$\Delta P = P_1 - P_2$

$= 2974{,}706 - 2116{,}8$

$= 857{,}9063 \ lbf/ft^2$

$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$

$= \frac{2974{,}706 - 2116{,}8}{62{,}43}$

$= 13{,}742 \ ft.lbf/lbm$

f. Perhitungan Energi Kinetik

$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \ x \ \alpha \ x \ gc}$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$= \frac{5{,}085388168}{2 \ x \ 1 \ x \ 32{,}17}$

$= 0{,}079039 \ ft.lbf/llbm$

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

$Z_1 = 13{,}7 \ ft$

$Z_2 = 19{,}7 \ ft$

$g/gc = 1 \ lbf/lbm$

Sehingga,

$Ep = \Delta Z \ x \ \frac{g}{gc}$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$= (19{,}685 - 13{,}73938) \ ft \ x \ 1 \ lbf/lbm$

$= 5{,}945832 \ ft.lbf/lbm$

h. Persamaan Bernouli

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

$$= 13{,}742 + 5{,}945832 + 0{,}079039 + 0{,}619159$$

$$= 20{,}38592 \text{ ft.lbf/lbm}$$

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{20{,}386 \times 351{,}1472 \times 1}{3960}$$

$$= 1{,}81 \text{ hp}$$

Efisiensi pompa = 83% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{1{,}807692 \text{ hp}}{83\%}$$

$$= 2{,}177942 \text{ hp}$$

Efisiensi motor = 86%

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\text{ef.Motor}}$$

$$= \frac{2{,}177942 \text{ hp}}{86\%}$$

$$= 2{,}447126 \text{ hp}$$

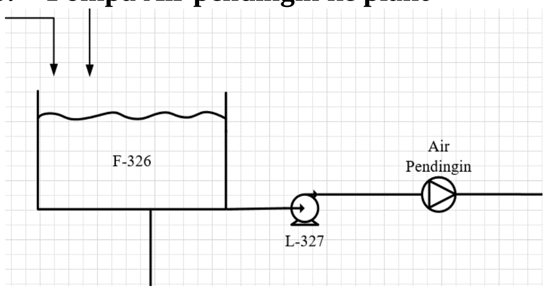
Maka digunakan powe = 2 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa Bak Penampung Air Pendingin
Kode	:	L-362
Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung air bersih ke bak air pendingin
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*
Kapasitas	:	79388,78 kg/jam
Rate volumetrik	:	2816,689 ft^3/jam
Total *Dynamic Heac*	:	20,38592 ft.lbf/lbm
Efisiensi Pompa	:	83%
BHp	:	2,177942 hp

Efisiensi motor	:	86%	
Power	:	2	hp
Jumlah	:	1	buah

10. Pompa Air pendingin ke plant



Fungsi : Mengalirkan air dari bak penampung air pendingin ke ruang proses pabrik

Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar Pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah<10 cP

Perhitungan :

Kondisi operasi = 30 ^oC

Densitas air = 62,4 lbm/ft3

= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 79,75966 m^3/jam x 995,35 kg/m^3

= 79388,78 kg/jam

= 175052,3 lb/jam

Rate Volumetrik (Q) = 79,7597 m^3/jam

= 2816,689 ft^3/jam

= 46,94481 ft^3/menit

= 0,782414 ft^3/detik

= 351,1472 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$ (Peters, 2004, eq. 15)

Keterangan :

D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)

qf = Rate volumetrik (ft^3/s)

ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$

= 3,9 x 0,782414 x 1,711595

= 5,222784 in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size	=	10	in				
Sch	=	40					
OD	=	10,75	in =	0,8955	ft =	0,2729	m
ID	=	10,02	in =	0,8347	ft =	0,2544	m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,6967\ ft^2$$

$$= 0,5469\ ft^2$$

$$\text{Kecepatan Aliran (V)} = \frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$$

$$= \frac{0,7824\ ft^3/s}{0,5469\ ft^2}$$

$$= 1,4307\ ft/s$$

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho\ \text{bahan}}{\rho\ \text{reff}}$$

$$= \frac{62,43\ lb/ft^3}{62,43\ lb/ft^3}$$

$$= 1$$

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

$$= \frac{1}{1} \times 0{,}8 \text{ cP}$$

$= 0{,}8$ cP

$= 0{,}0006$ lb/ft.s

$$Nre = \frac{ID \times V \times \rho \text{ bahan}}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}8347 \text{ ft} \times 1{,}4307 \text{ ft/s} \times 62{,}4 \text{ lb/ft}^3}{0{,}0006 \text{ lb/ft.s}}$$

$= 133124{,}9 > 2100$

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 ft **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,00018 ft

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 $lbm.ft/lbf.s^2$

a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,8347 ft

Tinggi bak penampung air pendingin = 6,5617 m

= 21,528 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak bak air bersih ke bak air pendingin	=	5	m	=	16,404	ft
Tinggi bak penampung air dingin	=	6,5617	m	=	21,528	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m	=	2	ft
Taksiran panjang pipa lurus	=	6,5617	m	=	39,932	ft

3 elbow 90^o	=	24,423	m	=	80,128	ft
1 gate valve	=	1,7808	m	=	5,8427	ft
Panjang pipa	=	26,204	m	=	85,971	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,8347 ft
= 5,84 ft
3 elbow 90^o = 3 x 32 x 0,8347 ft
= 80,128 ft

Panjang total pipa = 39,932 ft + 85,971 ft
= 125,9 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$$F_1 = \frac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)**

$$= \frac{0{,}01 \times 2{,}0468\ ft^2/s^2 \times 125{,}9\ ft}{32{,}2\ lbm.ft/lb \times 0{,}8347\ ft}$$

= 0,115169 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana $V_1 <<< V_2$, maka V_1 diangga 0

α = 1 untuk aliran turbulen **(Geankoplis, 2014)**

Menentukan Kc [Peters 4 ed ; Page 484]

A tangki = ∞ A tangki > A pipa

A pipa = 0,55

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

sehingga,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1) **(Peters 4 ed ; Page 484)**

K = 0,4 x (1,25 - 0)

K = 0,5

sehingga,

$$F_2 = \frac{0{,}5 \times 2{,}046833\ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17\ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,0159 ft.lbf/lbm

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta V^2}{2 \times \ \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$$= \frac{2{,}04683326 \quad ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17 \quad lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,0318 ft.lbf/lbm

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f = 0,75 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{3 \times 0{,}75 \times 2{,}046833 \quad ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \quad lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,0716 ft.lbf/lbm

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_5 = \frac{1 \times 0{,}17 \times 2{,}046833 \quad ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \quad lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,0054 ft.lbf/lbm

6. Friksi Total

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

= 0,2399 ft.lbf/lbm

e. Perhitungan Energi Tekanan

Tinggi cairan di bak penampung = 5,5573 m = 18,233 ft

ρ bahan = 62,43 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$$= 1 \text{ atm} + \left(\rho \times \frac{g}{gc} \times H\ liq \right)$$

$= 2116{,}8 \text{ atm} + (62{,}4 \text{ lbm/ft}^3 \times 1 \text{ lbf/lbm} \times 18{,}2 \text{ ft})$

$= 3255{,}056 \text{ lbf/ft}^2$

$\Delta P = P_1 - P_2$

$= 3255{,}056 - 2116{,}8$

$= 1138{,}256 \text{ lbf/ft}^2$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{3255{,}056 - 2116{,}8}{62{,}43}$$

$= 18{,}233 \text{ ft.lbf/lbm}$

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{2{,}04683326}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$= 0{,}031813 \text{ ft.lbf/llbm}$

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

$Z_1 = 18{,}2 \text{ ft}$

$Z_2 = 21{,}5 \text{ ft}$

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

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$= (21{,}528 - 18{,}23252) \text{ ft} \times 1 \text{ lbf/lbm}$

$= 3{,}295489 \text{ ft.lbf/lbm}$

h. Persamaan Bernouli

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

$= 18{,}233 + 3{,}295489 + 0{,}031813 + 0{,}239875$

$= 21{,}7997 \text{ ft.lbf/lbm}$

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{21{,}8 \times 351{,}1472 \times 1}{3960}$$

$= 1{,}93$ hp

Efisiensi pompa = 65% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{1{,}933056}{65\%} \text{ hp}$$

$= 2{,}973932$ hp

Efisiensi motor = 88% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 38 Page 521)**

$$\text{Power motor} = \frac{\text{Bhp}}{\text{ef.Motor}}$$

$$= \frac{2{,}973932}{88\%} \text{ hp}$$

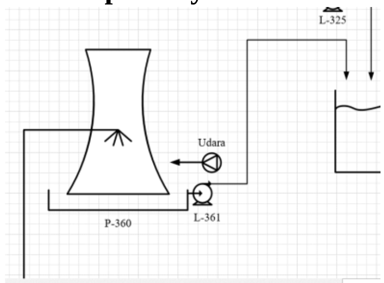
$= 3{,}379469$ hp

Maka digunakan powei = 3 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa Air pendingin ke plant
Kode	:	L-327
Fungsi	:	Mengalirkan air dari bak penampung air pendingin ke ruang proses pabrik
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*
Kapasitas	:	79388,78 kg/jam
Rate volumetrik	:	2816,689 ft^3/jam
Total *Dynamic Heac*	:	21,7997 ft.lbf/lbm
Efisiensi pompa	:	65%
BHp	:	2,973932 hp
Efisiensi motor	:	88%
Power	:	3 hp
Jumlah	:	1 buah

12. Pompa Recycle Air Pendingin (L-361)



Fungsi : Mengalirkan bekas air pendingin dari ruang proses cooling tower

Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar Pemilihan : Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah<10 cP

Perhitungan :

Kondisi operasi = 30 ^oC

Densitas air = 62,4 lbm/ft3

= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 79,75966 m^3/jam x 995,35 kg/m^3

= 79388,78 kg/jam

= 175052,3 lb/jam

Rate Volumetrik (Q) = 79,7597 m^3/jam

= 2816,689 ft^3/jam

= 46,94481 ft^3/menit

= 0,782414 ft^3/detik

= 351,1472 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$ (Peters, 2004, eq. 15)

Keterangan :

D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)

qf = Rate volumetrik (ft^3/s)

ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$

= 3,9 x 0,782414 x 1,711595
= 5,222784 in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size	=	10	in						
Sch	=	40							
OD	=	10,75	in	=	0,8955	ft	=	0,2729	m
ID	=	10,02	in	=	0,8347	ft	=	0,2544	m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3{,}14 \times 0{,}6967 \ ft^2$$

$$= 0{,}5469 \ ft^2$$

$$\text{Kecepatan Aliran (V)} = \frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$$

$$= \frac{0{,}7824 \ ft^3/s}{0{,}5469 \ ft^2}$$

$$= 1{,}4307 \ ft/s$$

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reff}}$$

$$= \frac{62{,}43 \ lb/ft^3}{62{,}43 \ lb/ft^3}$$

$$= 1$$

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

$$= \frac{1}{1} \times 0{,}8 \ cP$$

$$= 0{,}8 \ cP$$

$$= 0{,}0006 \ lb/ft.s$$

$$Nre = \frac{ID \times V \times \rho\ bahan}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}8347\ ft \times 1{,}4307\ ft/s \times 62{,}4\ lb/ft^3}{0{,}0006\ lb/ft.s}$$

$= 133124{,}9 > 2100$

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 ft **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,00018 ft

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 $lbm.ft/lbf.s^2$

a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,8347 ft

Tinggi cooling tower = 10,973 m

= 36 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak cooling water ke plant	=	5	m	=	16,404	ft
Tinggi bak penampung air dingin	=	10,973	m	=	36	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m	=	2	ft
Taksiran panjang pipa lurus	=	10,973	m	=	54,404	ft

3 elbow 90^o	=	24,423	m	=	80,128	ft
1 gate valve	=	1,7808	m	=	5,8427	ft
Panjang pipa	=	26,204	m	=	85,971	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,8347 ft

= 5,84 ft

3 elbow 90^o = 3 x 32 x 0,8347 ft

= 80,128 ft

Panjang total pipa = 54,404 ft + 85,971 ft
= 140,37 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$F_1 = \dfrac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$ (Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)

$= \dfrac{0{,}01 \times 2{,}0468\ ft^2/s^2 \times 140{,}37\ ft}{32{,}2\ lbm.ft/lb \times 0{,}8347\ ft}$

= 0,128407 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$F_2 = \dfrac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana $V_1 <<< V_2$, maka V_1 dianggap 0

α = 1 untuk aliran turbulen (Geankoplis, 2014)

Menentukan Kc [Peters 4 ed ; Page 484]

A tangki = ∞ A tangki > A pipa

A pipa = 0,55

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

sehingga,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1) **(Peters 4 ed ; Page 484)**

K = 0,4 x (1,25 - 0)

K = 0,5

sehingga,

$F_2 = \dfrac{0{,}5 \times 2{,}046833\ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17\ lbm.ft/lbf.s^2}$

= 0,0159 ft.lbf/lbm

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$F_3 = \dfrac{\Delta V^2}{2 \times \ \times gc}$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$= \dfrac{2{,}04683326\ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32{,}17\ lbm.ft/lbf.s^2}$

= 0,0318 ft.lbf/lbm

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f = 0,75 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{3 \times 0{,}75 \times 2{,}046833 \ ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}0716$ ft.lbf/lbm

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_5 = \frac{1 \times 0{,}17 \times 2{,}046833 \ ft^2/s^2}{2 \times 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

$= 0{,}0054$ ft.lbf/lbm

6. Friksi Total

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

$= 0{,}2531$ ft.lbf/lbm

Tinggi cairan di cooling wate = 8,7782 m = 28,8 ft

ρ bahan = 62,43 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$$= 1 \ atm + \left(\rho \times \frac{g}{gc} \times H\ liq \right)$$

$= 2116{,}8$ atm $+ (62{,}4 \ lbm/ft^3 \times 1 \ lbf/lbm \times 28{,}8 \ ft)$

$= 3914{,}762 \ lbf/ft^2$

$\Delta P = P_1 - P_2$

$= 3914{,}762 - 2116{,}8$

$= 1797{,}962 \ lbf/ft^2$

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{3914{,}762 - 2116{,}8}{62{,}43}$$

$$= 28{,}8 \quad ft.lbf/lbm$$

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{2{,}04683326}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

$$= 0{,}031813 \quad ft.lbf/llbm$$

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

Z_1 = 36 ft

Z_2 = 6,56 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= (36 - 6{,}561737) \text{ ft} \times 1 \text{ lbf/lbm}$$

$$= 29{,}43826 \quad ft.lbf/lbm$$

h. Persamaan Bernouli

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

$$= 28{,}8 + 29{,}43826 + 0{,}031813 + 0{,}253113$$

$$= 58{,}52284 \quad ft.lbf/lbm$$

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{58{,}523 \times 351{,}1472 \times 1}{3960}$$

$$= 5{,}19 \quad hp$$

Efisiensi pompa = 80% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520**

$$Bhp = \frac{Bph}{\eta \text{ pompa}} = \frac{5{,}189427 \text{ hp}}{80\%} = 6{,}486784 \text{ hp}$$

Efisiensi motor = 88%

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{ef.Motor} = \frac{6{,}486784 \text{ hp}}{88\%} = 7{,}371345 \text{ hp}$$

Maka digunakan powe = 7 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa air bekas pendingin
Kode	:	L-361
Fungsi	:	Mengalirkan bekas air pendingin ke ruang proses ke cooling water
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*
Kapasitas	:	79388,78 kg/jam
Rate volumetrik	:	2816,689 ft^3/jam
Total *Dynamic Hea*	:	58,52284 ft.lbf/lbm
Efisiensi pompa	:	80%
BHp	:	6,486784 hp
Efisiensi motor	:	88%
Power	:	7 hp
Jumlah	:	1 buah

12. Pompa Cooling Tower ke Bak Penampung Air Pendingin

Fungsi	:	Mengalirkan air dari cooling tower ke bak penampung air pendingin
Tipe	:	*Centrifugal Pump*
Dasar Pemilihan	:	Sesuai untuk bahan liquid, viskositas rendah<10 cP

Perhitungan :

Kondisi operasi = 30 ^oC

Densitas air = 62,4 lbm/ft3

= 995,35 kg/m^3

Bahan masuk = 79,75966 m^3/jam x 995,35 kg/m^3
= 79388,78 kg/jam
= 175052,3 lb/jam

Rate Volumetrik (Q) = 79,7597 m^3/jam
= 2816,689 ft^3/jam
= 46,94481 ft^3/menit
= 0,782414 ft^3/detik
= 351,1472 gpm

a. Menentukan Diameter Optimal Pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$ **(Peters, 2004, eq. 15)**

Keterangan :

D_i = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)
qf = Rate volumetrik (ft^3/s)
ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x qf x $\rho^{0,13}$
= 3,9 x 0,782414 x 1,711595
= 5,222784 in

Dari Kern Table. 11 hh.844, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size = 10 in
Sch = 40
OD = 10,75 in = 0,8955 ft = 0,2729 m
ID = 10,12 in = 0,843 ft = 0,2569 m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$
$$= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 0,7106 \ ft^2$$
$$= 0,5579 \ ft^2$$

$$\text{Kecepatan Aliran (V)} = \frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$$
$$= \frac{0,7824 \ ft^3/s}{0,5579 \ ft^2}$$

$= 1{,}4025 \text{ ft/s}$

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reff}} = \frac{62{,}43 \ lb/ft^3}{62{,}43 \ lb/ft^3} = 1$$

$$\mu \text{ bahan} = \frac{\text{sg bahan}}{\text{sg reff}} \times \mu \text{ reff} = \frac{1}{1} \times 0{,}8 \text{ cP} = 0{,}8 \text{ cP} = 0{,}0006 \ lb/ft.s$$

$$Nre = \frac{ID \times V \times \rho \text{ bahan}}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}843 \ ft \times 1{,}4025 \ ft/s \times 62{,}4 \ lb/ft^3}{0{,}0006 \ lb/ft.s}$$

$= 131809{,}4 > 2100$

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,00015 ft **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

e/D = 0,000178 ft

f = 0,006 **(Peter, Fig. 14-1, hh. 482)**

gc = 32,174 $lbm.ft/lbf.s^2$

a = 1

c. Menghitung Panjang Ekuivalen Pipa (Le)

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,843 ft
Tinggi bak penampung air pending = 6,5617 m
= 21,528 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak cooling tower ke bak air pendingin	=	15	m =	49,213	ft
Tinggi bak penampung air dingin	=	6,5617	m =	21,528	ft
Panjang pipa masuk bak	=	0,6096	m =	2	ft
Taksiran panjang pipa lurus	=	6,5617	m =	72,741	ft

3 elbow 90^o	=	24,667	m =	80,928	ft
1 gate valve	=	1,7986	m =	5,901	ft
Panjang pipa	=	26,465	m =	86,829	ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,843 ft
= 5,9 ft
3 elbow 90^o = 3 x 32 x 0,843 ft
= 80,928 ft

Panjang total pipa = 72,741 ft + 86,829 ft
= 159,57 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$$F_1 = \frac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-6)**

$$= \frac{0,01 \times 1,9671\ ft^2/s^2 \times 159,57\ ft}{32,2\ lbm.ft/lb \times 0,843\ ft}$$

= 0,138894 ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa

$$F_2 = \frac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-16)**

dimana $V_1 <<< V_2$, maka V_1 diangga 0

α = 1 untuk aliran turbulen **(Geankoplis, 2014)**

Menentukan Kc [Peters 4 ed ; Page 484]

A tangki = ∞ A tangki > A pipa

A pipa = 0,56

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

sehingga,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1) **(Peters 4 ed ; Page 484)**

K = 0,4 x (1,25 - 0)

K = 0,5

sehingga,

$$F_2 = \frac{0,5 \times 1,967122 \ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32,17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,0153 ft.lbf/lbm

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta V^2}{2 \times \ \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 eq. 2.10-15)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$$= \frac{1,967122027 \ ft^2/s^2}{2 \times 1 \times 32,17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,0306 ft.lbf/lbm

4. Friksi karena elbow 90°

$$F_4 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f = 0,75 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1)**

$$F_4 = \frac{3 \times 0,75 \times 1,967122 \ ft^2/s^2}{2 \times 32,17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,0688 ft.lbf/lbm

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \times \frac{K_f \times V^2}{2 \times gc}$$

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17 **(Geankoplis, 2014 T. 2.10-1**

$$F_5 = \frac{1 \times 0,17 \times 1,967122 \ ft^2/s^2}{2 \times 32,17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,0052 ft.lbf/lbm

6. Friksi Total

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

$= 0{,}2587$ ft.lbf/lbm

e. Perhitungan Energi Tekanan

Tinggi cairan di cooling tower = 4,3056 ft

ρ bahan = 62,43 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$= 1 \text{ atm} + \left(\rho \times \frac{g}{gc} \times \text{H liq} \right)$

= 2116,8 atm + (62,4 lbm/ft^3 x 1 lbf/lbm x 4,31 ft)

= 2385,599 lbf/ft^2

$\Delta P = P_1 - P_2$

= 2385,599 - 2116,8

= 268,7987 lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{2385{,}599 - 2116{,}8}{62{,}43}$$

= 4,3056 ft.lbf/lbm

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{1{,}967122027}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

= 0,030574 ft.lbf/llbm

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

Z_1 = 4,31 ft

Z_2 = 21,5 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc} \qquad \textbf{(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)}$$

$$= (21{,}528 - 4{,}305602)\ ft \times 1\ lbf/lbm$$

$$= 17{,}22241\ ft.lbf/lbm$$

h. Persamaan Bernouli

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

$$= 4{,}3056 + 17{,}22241 + 0{,}030574 + 0{,}258744$$

$$= 21{,}81733\ ft.lbf/lbm$$

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times flowrate(gpm) \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{21{,}817 \times 351{,}1472 \times 1}{3960}$$

$$= 1{,}93\ hp$$

Efisiensi pompa = 82% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{1{,}934619\ hp}{82\%}$$

$$= 2{,}359292\ hp$$

Efisiensi motor = 88% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 38 Page 520)**

$$Power\ motor = \frac{Bhp}{ef.Motor}$$

$$= \frac{2{,}359292\ hp}{88\%}$$

$$= 2{,}681014\ hp$$

Maka digunakan powei = 4 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa Cooling Tower ke Bak Penampung Air Pendingin
Fungsi	:	Mengalirkan air dari cooling tower ke bak penampung air pendingin
Tipe	:	*Centrifugal Pump*

Bahan Konstruksi	:	*Commercial steel*	
Kapasitas	:	79388,78	kg/jam
Rate volumetrik	:	2816,689	ft^3/jam
Total *Dynamic Head*	:	21,81733	ft.lbf/lbm
Efisiensi Pompa	:	82%	
BHp	;	2,359292	hp
Efisiensi motor	:	88%	
Power	:	4	hp
Jumlah	:	1	buah

VII.3 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 :

1. Untuk keperluan proses
2. Untuk keperluan penerangan

Listrik untuk keperluan proses disediakan dari Generator set, sedangkan listrik untuk penerangan dari PLN. Bila terjadi kerusakan pada generator s kebutuhan listrik bisa diperoleh dari PLN. Demikian juga terjadi gangguan dari PLN, kebutuhan listrik untuk penerangan bisa diperoleh dari generator set. Perincian kebutuhan listrik dapat dilihat pada tabel berikut :

No	Nama Alat	Kode Alat	Power (Hp)
1	Pompa-1	L-111	0,5
2	Pompa-2	L-121	0,5
3	Pompa-3	L-131	0,5
4	Pompa-4	L-141	0,5
5	Reaktor	R-210	43,71
6	Pompa-5	L-211	0,5
7	Netralizer	N-220	13
8	Pompa-6	L-221	0,5
9	Pompa-7	L-231	0,5
10	Pompa-8	L-232	0,5
11	Pompa-9	L-313	0,5
12	Pompa-10	L-316	0,5
13	Pompa-11	L-323	0,5
14	Pompa-12	L-326	0,5
Total			62,91

No	Nama Alat	Power (Hp)
1	Boiler	154
2	Boiler-2	41
3	Coling Tower	6
4	Tangki Koagulasi	0,5
5	Tangki Flokulasi	2
6	Pompa Air Sungai	1
7	Pompa Tangki Koagulasi	1
8	Pompa Tangki Flokulasi	1
9	Pompa Clarifier	2
10	Pompa Sand Filter	4
11	Pompa ke Bak Penampung Air Sanitasi	0,5
12	Pompa ke Kation Exchanger	3,0
13	Pompa ke Anion Exchanger	0,5
14	Pompa Boiler	1
15	Pompa ke Bak Penampung Air Proses	3
16	Pompa ke Bak Penampung Air Pendingin	2
17	Pompa Cooling Tower	7
18	Pompa dari Cooling Tower ke Bak	4
Total		235

Diketahui : 1 hp = 746 watt
0,746 kWh

sehingga,

Total Kebutuhan Listrik = Kebutuhan listrik unit proses + utilitas
= (62,91 + 235) hp
= 298,0720237 hp x 0,746 kWh
= 222,3617297 kWh
= 222 kWh

Kebutuhan listrik untuk penerangan pabrik dihitung berdasarkan kuat penerangan untuk tiap-tiap lokasi. Dengan menggunakan perbandingan beban listrik lumen/m2. Untuk menentukannya digunakan Standar Pencahayaan yang ada di Indonesia yang memiliki beberapa acuan dalam bentuk regulasi dan standar pencahayaan yang terdiri dari Peraturan Menteri Tenaga Kerja (Permenaker) Nomor 5 Tahun 2018, Peraturan Menteri Kesehatan (Permenkes) Nomor 70 Tahun 2016 dan Nomor 48 Tahun 2016. Terakhir SNI 03-6197-2000 tentang Konservasi Energi pada sistem pencahayaan.

Dimana 1 foot candle = 10.076 lumen/m^2
1 lumen = 0,0015 W

Tabel VII. Kebutuhan Listrik untuk Penerangan

No	Lokasi	Luas (m^2)	Foot candle	Lumen / m^2
1	Jalan Raya	1007	100,7	1014653
2	Pos Satpam	32	3,2	32243
3	Taman	600	60	604560
4	Timbangan Truk	200	20	201520
5	Bengkel	100	10	100760
6	Pemadam Kebakaran	100	10	100760
7	Gedung Serbaguna	1200	120	1209120
8	Kantor	900	90	906840
9	Perpustakaan	300	30	302280
10	Laboratorium	400	40	403040
11	Parkir	375	37,5	377850
12	Mushola	400	40	403040
13	Klinik	100	10	100760
14	Kantin	150	15	151140
15	Storage Bahan Baku	5250	525	5289900
16	Storage Produk	5250	525	5289900
17	Area Proses	15000	1500	15114000
18	Ruang Kontrol	200	20	201520
19	Unit Pengolahan Limbah	300	30	302280
20	Unit Penyediaan Air	1200	120	1209120
21	Unit Penyediaan Limbah	300	30	302280
22	Gudang	400	40	403040
23	Daerah Perluasan	20000	2000	20152000
Total		53764	5376,4	54172606

utilitas area kontrol, daerah tempat penyimpanan bahan baku dan produk, tempa
parkir, bengkel, gudang, jalan raya dan taman digunakan lampu merkury 250 wa
diperoleh :

Lumen Output = 166666,6667 lumen **(Conversion Table)**
(Perry 9ed, 2019)

No	Lokasi	Lumen/m^2
1	Area Proses	15114000
2	Daerah Perluasan	20152000
3	Utilitas	302280
4	Storage Bahan Baku	5289900

5	Storage Produk	5289900
6	Parkir	377850
7	Bengkel	100760
8	Gudang	403040
9	Jalan Aspal	1014653
10	Taman	604560
Total		48648943

a. Kebutuhan Lampu

Kebutuhan lampu merkury = $\dfrac{\text{Luas area yang membutuhkan lampu}}{\text{Konversi lumen output}}$

= $\dfrac{48648943{,}2 \text{ lumen}}{166666{,}6667 \text{ lumen}}$

= 291,8936591 buah

= 292 buah

Untuk penerangan lain digunakan lampu

Untuk lampu TL 40 watt, lumen outpu = 40 watt

= $\dfrac{40 \text{ watt}}{0{,}0015 \text{ watt}}$

= 26666,66667

Jumlah lampu TL yang dibutuhkan = $\dfrac{\text{Luas pabrik} - \text{Luas daerah lampu}}{\text{Konversi lumen output}}$

= $\dfrac{(54172606 - 48648943{,}2) \text{ lumen}}{26666{,}66667}$

= 207,13737 buah

= 207 buah

b. Kebutuhan Tenaga Listrik

Kebutuhan Listrik untuk Penerangan

Kebutuhan

= (Kebutuhan lampu merkury x 250 watt) + (Kebutuhan lampu TL x 40 watt)

= (292 buah x 250 watt) + (207 buah x 40 watt)

= 81258,91 watt

= 81,25891 kWh

Kebutuhan Listrik untuk Operasional Pabrik

Kebutuhan listrik untuk AC kantor = 30 kWh

Supply dari generator hanya untuk penerangan dan AC, sehingga :

Supply = 81,259 kWh + 30 kWh + 222 kWh
= 333,6206 kWh

Untuk menjamin kelancaran dalam penyediaan, ditambah 20% dari total kebutuhan, sehingga :

Kebutuhan supply listrik = 120% x Total supply
= 120% x 333,6206 kWh
= 400,3448 kWh

VIII.4 Generator Set

Fungsi : Supply listrik untuk keperluan AC kantor dan penerangan yang diperoleh dari Generator Set

Tipe : Generator Portable Set
(penempatannya mudah)

Effisiensi Generator set = 80%

$$\text{Kapasitas Generator set total} = \frac{\text{Kebutuhan Listrik}}{\text{Effisiensi Generator set}}$$

$$= \frac{400{,}3447671 \text{ kWh}}{80\%}$$

= 500,4309589 kWh

a. Menghitung Jumlah Generator Set

Digunakan generator Cummins dengan kapasit = 1000 kW
sehingga

$$\text{waktu operasi} = \frac{\text{Kapasitas Generator set total}}{\text{Kapasitas Generator set Iwata}}$$

$$= \frac{500{,}4309589 \text{ kW}}{1000 \text{ kWh}}$$

= 0,500430959 buah
= 1 buah

Jadi, generator yang diperlukan adalah sebanya 1 buah

Cadangan Generator = 1 buah
Sehingga,

Total Jumlah Generator = 1 + 1
= 2 buah

Jadi, jumlah generator set yang dibutuhkan yaitu sebany 2 buah

b. Kebutuhan Bahan Bakar Generator Set

Konversi satuan = 1 kWh = 56,87 Btu/menit maka,

Q generator = Kapasitas total generator set x Konversi (Btu/menit)
= 500,4309589 kWh x 56,87 Btu/menit
= 28459,50863 Btu/menit

Heating value bahan bakar = 19122,5357 Btu/lb
(Perry 9ed, 2019)

Kebutuhan bahan bakar untuk generator = $\dfrac{\text{Q Generator}}{\text{Heating value bahan bakar}}$

= $\dfrac{28459{,}50863 \text{ Btu/menit}}{19122{,}5357 \text{ Btu/lb}}$

= 1,48827065 lb/menit
= 89,29623899 lb/jam
= 40,50477401 kg/jam

Jadi, dalam perencanaan ini, harus disediakan generator pembangkit tenaga listri
yang dapat menghasilkan daya listrik yang sesuai. Dengan kebutuhan bahan bak
solar sebesar :

kebutuhan bahan bakar solar = 40,50477401 kg/jam
Berat jenis bahan bakar = 870 kg/m3
0,87 kg/L

Maka

Kebutuhan bahan bakar = $\dfrac{\text{Kebutuhan bahan bakar}}{\text{Berat jenis bahan bakar}}$

= $\dfrac{40{,}50477401 \text{ kg/jam}}{0{,}87 \text{ kg/L}}$

= 46,5572115 L/Jam
= 1117,373076 L/hari

Spesifikasi

Nama Alat	:	Generator Set
Fungsi	:	Pembangkit tenaga listrik
Kapasitas	:	1000 kWh
Power factor	:	80%
Bahan Bakar	:	Diesel Oil
Jumlah bahan bakar	:	46,557 L/jam
Jumlah	:	2 buah (termasuk 1 cadangan)

VII.4.2 Tangki Penyimpanan Bahan Bakar

Fungsi : Menyimpan bahan bakar minyak diesel

Waktu tinggal : 168 jam = 7 hari

Kebutuhan bahan bakar untuk generator per jar	=	46,55721	L/jam
Kebutuhan bahan bakar untuk boiler per jam	=	290,1452	L/jam
Kebutuhan bahan bakar untuk boiler per jam	=	70,09165	L/jam
Total Kebutuhan Diesel Oil	=	406,7941	L/jam
	=	14,3658	cuft/jam
	=	0,00399	cuft/s

Untuk faktor keamanan, kebutuhan Diesel Oil diperbesar 10% dari total kebutuhan bahan bakar, sehingga :

Kebutuhan Diesel Oil = 110% x Total kebutuhan diesel oil
= 110% x 406,794086 L/jam
= 447,4734945 L/jam

Densitas Diesel Oil = 870 kg/m3
= 56,898 lb/ft3

Rate volumetrik $= \dfrac{\text{Kebutuhan Diesel Oil}}{\text{Densitas Diesel Oil}}$

$= \dfrac{447{,}4734945 \text{ lb/jam}}{56{,}898 \text{ lb/ft3}}$

= 7,864485475 ft3/jam

Volume tangki

Direncanakan penyimpanan bahan bakar selam 1 minggu

Volume bahan = 7,864485 ft3/jam x 24 jam/hari x 7 hari
= 1321,234 cuft

Volume bahan bakar dalam tang = 80%

Volume tangki $= \dfrac{1321{,}234}{80\%}$

= 1651,542 cuft
= 12355,19 gallom

1 gallon = 0,0238 barrel

Volume bahan = 12355,19 gallon x 0,0238
= 294,0534 barrel

Dari **Brownell tabel 3-3 halaman 43**, diambil kapasitas ta = 1000 bbl
dengan jenis Vessel berdasarkan API Standard 12-D (100,101)
diperoleh = Diameter = 29 ft (OD)
Tinggi = 8 ft

d. Menentukan Tekanan design

Jika dalam bejana terdapat liquid, maka bejana dirancang berdasarkan tekanan dalam :

P design = P gauge + P hidrostatis
P design = (Pi-Po) + P hidrostatis
P design = (14,7 - 14,7) + P hidrostatis
P design = P hidrostatis

$$P\ design = \rho \times \frac{g}{gc} \times H\ liq$$

$$= 56{,}898\ \frac{lb}{cuft} \times 1\ \frac{lbf}{lbm} \times 6{,}4\ ft$$

$$= 364{,}15\ \frac{lbf}{ft^2}$$

= 2,5288 psi

Asumsi P design 10% lebih besar untuk faktor keamanan
P design = 1,1 x 2,53 Psi
= 2,7817 Psi
Bejana didesain dengan tekanan dalam, P de 2,7817 Psi

e. Menentukan tebal shell minimum

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank:

$$ts = \frac{P \times ri}{f\,e - 6\,Pd} + C$$ **(Brownell Eq. 13.1 hal.254)**

dengan
tmin = tebal shell minimum (in)
P = tekanan tangki (Psi) = 2,78 Psi
ri = jari-jari tangki (in) = 174 in
C = Faktor korosi (in); digunakan = 1/8 in
e = Faktor pengelasan; digunakan double wel = 0,8
(Brownell, Table 13.2)
f = stress allowable bahan konstruksi Carbon Steel SA-283 Grade C
= 12650 Psi **(Brownell, hal.342)**

sehingga,

Asumsi tebal shell = 3/16 in

$$ts = \frac{P \times ri}{f\,e - 0{,}6\,P} + C$$

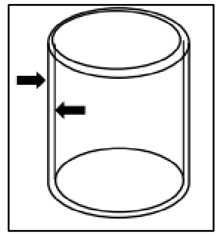
$$3/16 = \frac{2{,}7817 \times 174}{0{,}8\ f - 1{,}669} + 1/8$$

$$1/16 = \frac{2{,}7817 \times 174}{0{,}8\ f - 0{,}075}$$

$$1/16\ f - 0{,}0047 = 484{,}0123$$

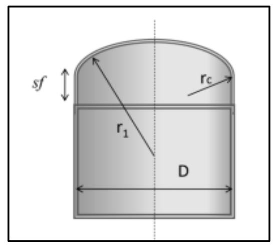
$$0{,}05\ f = 484{,}017$$

$$f = 9680{,}34$$



f hitung lebih kecil dari f allowable, jadi tebal s 3/16 in
dapat digunakan

f. Menentukan Tebal Tutup atas dan bawah



Tutup atas dan bawah dipilih torispherical

OD = ID + 2 ts
= 348 in + 2 x 3/16
= 348,375 in

Berdasarkan Brownell and Young, Tabel 5.7 dari data OD, diperoleh:

icr = 14 4/8 in
r = 180 in

Cek nilai icr dengan nilai 6%rc

icr = 14,438 in
6% r = 10,8 in

karena icr lebih besar dari 6% r maka digunakan persamaan 13.12
Brownell & Young hal. 258

$$t_h = \frac{P \times r_c \times W}{2\,f\,e - 0.2\,P} + C \qquad W = \frac{1}{4}\left(3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}}\right)$$

dengan

t_h = tebal tutup (head) shell minimum (in)
W = faktor stress intensif untuk torispherical
P = Tekanan design (Psi) = 2,7817
r_c = radius of curfative sama dengan diameter = 180
E = Faktor pengelasan = 0,8
f = allowable stress, bahan konstruksi carbon steel SA-283 grade A,
= 12650 Psi **(Brownell Tabel 13.11 hal. 342)**
C = Faktor korosi (in) = 0,125

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} \right)$$

$$= \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{180}{14{,}438}} \right)$$

$$= 1{,}6327$$

Asumsi tebal tutu 3/16 in

$$t_h = \frac{P \times r_c \times W}{2 f e - 0.2 P} + C$$

$$3/16 \text{ in} = \frac{2{,}7817 \times 180 \times 1{,}6327}{(f \times 1{,}6) - (0{,}2 \times 2{,}7817 \text{ psi})} + 1/8 \text{ in}$$

$$1/16 \text{ in} = \frac{817{,}5142}{1{,}6 f - 0{,}5563}$$

$$0{,}1 f - 0{,}0348 = 817{,}5142$$

$$f = 8175{,}4902 \text{ psi}$$

f hitung lebih kecil dari f allowable, jadi tebal s 3/16 in
dapat digunakan

g. Menentukan Tinggi Tutup Tangki

sf = 2 in

t = 3/16 in **(Brownell, tabel 5.6, hal. 88)**

Menghitung tinggi tutup

OA = b + sf + t

* 1 ft = 0,3 m
1 ft = 12 in

BC = rc - icr
BC = 180 - 14,438
= 165,563 in

$$AB = \frac{1}{2} \times OD - icr$$

$$AB = \frac{1}{2} \times 240 - 14{,}4$$

$$= 105{,}563 \text{ in}$$

$$b = rc - (BC^2 - AB^2)^{0,5}$$

$$b = 180 - (27411 - 11143)^{0,5}$$

$$= 52{,}456$$

Tinggi tutup atas

OA = b + sf + t
= 54,643 in
= 1,3879 m
= 4,5536 ft

Total Tinggi Tangki

H total = (2 x H head) + H silinder
= (2 x 54,64) + 96,000
= 205,2868 in
= 17,1072 ft
= 5,2177 m

Spesifikasi :

Nama alat	= Tangki penyimpanan bahan bakar
Tipe	= Standard Vessel API Standard $^{12\text{-}D}$ (100,101)
Kapasitas nomina	= 1000 bbl
Diameter	= 29 ft = 8,85 m **(Brownell tabel 3-3 hal 43)**
Tinggi total	= 17,11 ft = 5,22 m
Tebal Shell	= 3/16 in
Tebal tutup	= 3/16 in
Bahan konstruksi	= Carbon Steel SA-283 grade C
Jumlah	= 1 buah

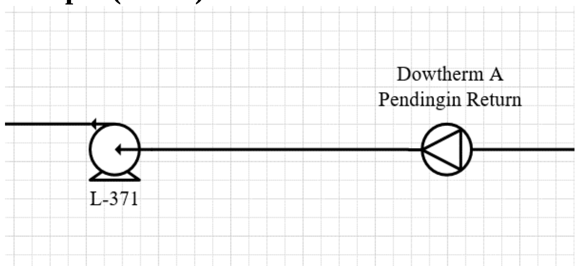
VII.5 Unit Penyediaan Dowtherm

Unit ini berfungsi sebagai penyedia kebutuhan pendingin pada suhu bahan yang relatif tinggi. Dowtherm yang digunakan sebagai media pendingin pada pabrik. Pemilihan dowtherm A sebagai media pendingin, dikarenakan sifatnya yang tahan terhadap suhu tinggi

No	Nama Alat	Kode Alat	Kebutuhan dowtherm	
			kg/jam	lb/jam
1	Kondensor-2	E-321	11742,2950	25887,2983
2	Cooler-3	E-324	19417,5204	42808,2539
3	Cooler-4	E-327	2840,4429	6262,0972
Total kebutuhan			34000,2583	74957,6495

Total kebutuhan = 34000,26 kg/jam

1. Pompa (L-371)



Fungsi = Untuk dowtherm dari plant menuju cooler
Tipe = *Centrifugal pump*
Dasar Pemilihan : Umum digunakan untuk memompa liquid dengan viskosita rendah<10 cP

Komposisi Bahan Masuk

Rate massa bahar	=	34000,26	kg/jam
	=	74957,31	lb/jam
Densitas	=	1015	kg/m3
	=	63,336	lb/cuft

Rate volumetr = $\dfrac{\text{rate massa bahan}}{\rho \text{ bahan}}$

= $\dfrac{74957{,}31 \text{ lb/jam}}{63{,}336 \text{ lb/cuft}}$

= 1183,487 cuft/jam
= 0,328746 cuft/detik
= 147,5516 gpm

a. Menentukan diameter optimal pipa

asumsi aliran turbulen (Nre>2100), maka digunakan persamaan

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x $qf^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$ **(Peters, 4[ed], pers. 15 hal 496)**

Keterangan :

$D_{i\ opt}$ = Diameter pipa bagian dalam optimal (in)
qf = Rate volumetrik (ft^3/s)
ρ = Densitas larutan (lb/ft^3)

Sehingga,

$D_{i\ opt}$ = 3,9 x $qf^{0,45}$ x $\rho^{0,13}$
= 3,9 x 0,61 x 1,71
= 4,05 in

Dari Kern Table. 11, maka dipilih pipa dengan spesifikasi :

Pipe size = 4 in

Sch = 40

OD = 4,5 in = 0,37 ft = 0,11 m

ID = 4,03 in = 0,34 ft = 0,1 m

$$A = \frac{1}{4} \times \pi \times ID^2$$

$$= \frac{1}{4} \times 3{,}14 \times 0{,}1125$$

$$= 0{,}0883 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan Aliran (V)} = \frac{\text{Rate volumetrik}}{\text{Luas Area (A)}}$$

$$= \frac{0{,}3287}{0{,}0883}$$

$$= 3{,}7235 \text{ ft/s}$$

b. Menghitung Nre

sg reff = 1 **(Kern, Table. 6 p. 808)**

μ reff = 0,8 cP **(Kern, Fig. 14 p. 823)**

ρ reff = 62,4 lb/ft^3

$$\text{sg bahan} = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reff}}$$

$$= \frac{63{,}336 \text{ lb/ft}^3}{62{,}43 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 1{,}0145$$

μ = 1,28 cP

= 0,00086 lb/ft s

$$\text{Nre} = \frac{ID \times V \times \rho \text{ bahan}}{\mu}$$

$$= \frac{0{,}34 \times 3{,}72 \times 63{,}3}{0{,}00086}$$

$$= 91948{,}32 > 2100$$

asumsi aliran turbulen benar

Dipilih bahan commercial steel, dengan

e = 0,000046 m **(Geankoplis 3ed, F.2.10-3, P. 88)**

$$e/D = \frac{0{,}000046}{0{,}102219}$$

$= 0{,}00045$

f = 0,006 **(Geankoplis 3ed, F.2.10-3, P. 88)**

gc = 32,174 ft.lbm/detik^2.lbf

α = 1 (aliran turbulen) **(Peters & Timmerhause 4th ed : 485)**

c. Menghitung Panjang ekuivalen suction, Le

Perhitungan friksi berdasarkan Peters & Timmerhaus, 4ed Tabel 1 hh. 484

Sambungan	Lc/D
Elbow standard 90^o	32
Gate valve	7

ID pipa = 0,335366 ft

Taksiran panjang pipa lurus

Jarak plant ke tangki 2	=	65,617	ft
Panjang pipa masuk	=	6	ft
Taksiran panjang pipa lurus		71,617	ft

3 elbow 90^o = 3 x 32 x 0,34 ft
= 32,2 ft

1 gate valve = 1 x 7 x 0,34 ft
= 2,35 ft

Panjang total pipa (Le) = 106,16 ft

d. Perhitungan friksi

1. Friksi karena Gesekan Bahan dalam Pipa

gc = 32,17 lbm.ft/lbf .s²

$$F_1 = \frac{2f \times V^2 \times Le}{gc \times D}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers, 2.10-6, P.89)**

$$= \frac{0{,}01 \times 13{,}9 \times 106}{32{,}2 \times 0{,}34}$$

$= 1{,}6371$ ft.lbf/lbm

2. Friksi karena kontraksi

$$F_2 = \frac{K \times V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers, 2.10-16, P.93)**

dimana

α = 1 untuk aliran turbulen

Menentukan Kc

A tangki > A pipa maka dianggap 0

Untuk A1 (tangki) dan A2 (pipa), maka A2/A1 = 0

maka,

K = 0,4 x (1,25 - A2/A1) **(Peters 4 ed ; Page 484)**

K = 0,4 x (1,25 - 0)

K = 0,5

sehingga,

$$F_2 = \frac{0{,}5 \quad x \quad 13{,}8646 \quad ft^2/s^2}{2 \quad x \quad 1 \quad x \quad 32{,}17 \quad lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,1077 ft.lbf/lbm

3. Friksi karena ekspansi dari pipa ke tangki

$$F_3 = \frac{\Delta V^2}{2 \ x \ x\ gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers, 2.10-15, P.93)**

(V_1 <<<< V_2 dianggap = 0)

$$= \frac{13{,}86459897 \quad ft^2/s^2}{2 \quad x \quad 1 \quad x \quad 32{,}17 \quad lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,2155 ft.lbf/lbm

4. Friksi karena elbow 90^o

$$F_4 = n \ x \ \frac{K_f \ x \ V^2}{2 \ x \ gc}$$ **(Geankoplis 3ed, Pers, 2.10-17, P.94)**

diketahui :

K_f = 0,75 **(Geankoplis 3ed, T.2.10-1, P. 93)**

$$F_4 = \frac{3 \ x \ 0{,}75 \ x \ 13{,}8646 \ ft^2/s^2}{2 \ x \ 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,4849 ft.lbf/lbm

5. Friksi karena gate valve

$$F_5 = n \ x \ \frac{K_f \ x \ V^2}{2 \ x \ gc}$$ **(Geankoplis 3ed Pers. 2.10-1)**

diketahui :

K_f gate valve (wide open) = 0,17

$$F_5 = \frac{1 \ x \ 0{,}17 \ x \ 13{,}8646 \ ft^2/s^2}{2 \ x \ 32{,}17 \ lbm.ft/lbf.s^2}$$

= 0,0366 ft.lbf/lbm

6. Friksi Total

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

$= 2{,}4818$ ft.lbf/lbm

e. Perhitungan Energi Tekanan

H liquida = 1 1/4 ft

ρ bahan = 63,336 lbm/ft^3

g/gc = 1 lbf/lbm

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

Energi Tekanan

P_1 = P atm + P hidrostatis

$= 1 \text{ atm} + \left(\rho \times \frac{g}{gc} \times H\ liq \right)$

= 2117 lbf/ft2 + (63,3 lbm/ft^3 x 1 lbf/lbm x 1,25 ft)

= 2195,97 lbf/ft^2

$$\frac{\Delta P}{\rho} = \frac{(P1 - P2)}{\rho}$$

$$= \frac{2196 - 2116{,}8}{63{,}336}$$

= 1,25 ft.lbf/lbm

f. Perhitungan Energi Kinetik

$$Ek = \frac{\Delta V^2}{2 \times \alpha \times gc}$$ **(Geankoplis, 3ed Eq. 2.7-5 p. 66)**

$$= \frac{13{,}86459897}{2 \times 1 \times 32{,}17}$$

= 0,21549 ft.lbf/llbm

g. Perhitungan Energi potensial

Diketahui

Z_1 = 1,25 ft

Z_2 = 19,374 ft

g/gc = 1 lbf/lbm

Sehingga,

$$Ep = \Delta Z \times \frac{g}{gc}$$ **(Geankoplis, 2014 Eq. 2.7-5 p. 66)**

= (19,4 - 1,25) ft x 1 lbf/lbm

= 18,124 ft.lbf/lbm

h. Persamaan Bernouli

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

$$= 1{,}25 + 18{,}124 + 0{,}2155 + 2{,}4818$$

$$= 22{,}072 \text{ ft.lbf/lbm}$$

i. Perhitungan Power Pompa

$$hp = \frac{-Wf \times \text{flowrate(gpm)} \times sg}{3960}$$

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

$$= \frac{22{,}072 \times 147{,}55 \times 1{,}0145}{3960}$$

$$= 0{,}8343 \text{ hp}$$

Efisiensi pompa = 65% **(Peters 4 ed ; Figure 14 - 37 Page 520)**

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

$$= \frac{0{,}834332}{65\%} \text{ hp}$$

$$= 1{,}283587 \text{ hp}$$

Efisiensi motor = 80%

$$\text{Power motor} = \frac{Bhp}{\text{ef.Motor}}$$

$$= \frac{1{,}283587}{80\%} \text{ hp}$$

$$= 1{,}604484 \text{ hp}$$

Maka digunakan powe = 2 hp

Spesifikasi

Nama Alat	:	Pompa
Kode	:	L-371
Tipe	:	*Centrifugal pump*
Bahan konstruksi	:	*Commercial steel*
Dasar Pemilihan	:	Umum digunakan untuk memompa liquid dengan viskositas rendah
Ukuran Pipa	:	4 in 40 sch
Kapasitas	:	74957 lb/jam
Rate volumetrik	:	1183,5 ft^3/jam
Total Dynamic head	:	22,072 ft.lbf/lbm
Efisiensi pompa	:	65%

Efisiensi motor	:	80%	
Power	:	2	hp
Jumlah	:	1	buah

2. Cooler (E-372)

Fungsi : Mendinginkan dowtherm dari suhu 80°C menjadi 30°C

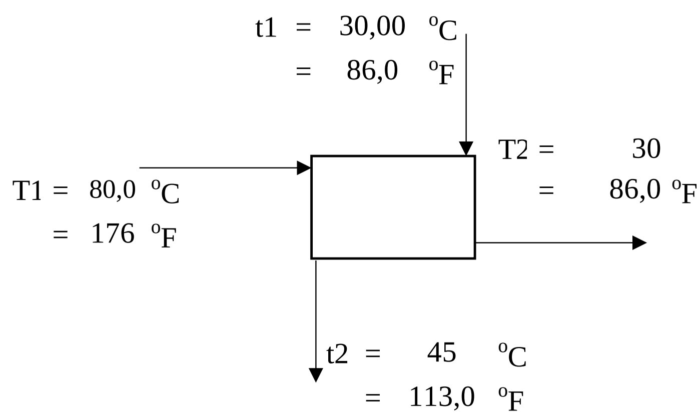
Dasar Pemilihan : Umum digunakan untuk mendinginkan liquida

Perhitungan

1. **Data dari neraca massa dan neraca panas diperoleh:**

Kondisi Operasi :

Tekanan	=	1	atm
Suhu	=	80	°C



Untuk Fluida panas : Dowtherm

T masuk	(T1)	=	80,0	°C
T keluar	(T2)	=	30	°C

Untuk Fluida dingin : Air Pendingin

T masuk	(t1)	=	30	°C
T keluar	(t2)	=	45	°C

massa bahan = 34000,26 kg/jam
= 75174,57 lb/jam

Menghitung Entalpi Masuk

T in	=	80	°C =	353,15	K
T ref	=	25	°C =	298,15	K

Komponen	Massa (kg)	n (kmol)	cpdT (J/mol)	ΔH (kkal/jam)
Dowtherm	34000,26	204,8208	1,743	85,32569603
Total	34000,26	204,8208	1,743	85,32569603

Menghitung Entalpi Keluar

T out = 30 °C = 303,15 K
T ref = 25 °C = 298,15 K

Komponen	Massa (kg)	n (kmol)	cpdT (J/mol)	ΔH (kkal/jam)
Dowtherm	34000,26	204,8208	1,501	73,47898436
Total	34000,26	204,8208	1,501	73,47898436

Neraca Panas

Panas masuk = Panas Keluar
Entalpi masuk = Entalpi keluar + Q serap
85,32569603 = 73,47898436 + Q serap
Q serap = 11,84671167 kkal/jam

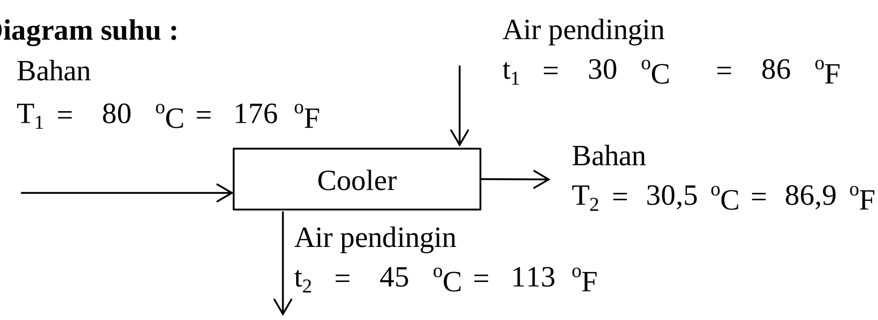
Menghitung kebutuhan dowtherm

Suhu air pendingin = 30 ^oC = 303 K
Suhu air pendingin = 45 ^oC = 318 K
Cp pendingin = 4,18 kj/kgK = 0,238846 kkal/kgK
Q serap = m x Cp x ΔT

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

m = 49,68302 kg
Sehingga didapatkan kebutuhan air pendingin sebesar 49,68302 kg

Diagram suhu :



1. Heat Balance

Dari data neraca massa dan neraca panas diperoleh :

Rate massa = 34000,26 kg/jam

= 74577,17 lb/jam

Q terserap = 11,847 kkal/jam

= 47,227 Btu/jam

2. Log Mean Temperature Difference

Hot fluid		Cold fluid	Diff	
176	Higher temp	113	63	**Dt_1**
86,9	Lower temp	86	0,9	**Dt_2**
89,1	Differences	27		
$(T_1\text{-}T_2)$		$(t_2\text{-}t_1)$		

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(\Delta t_2 - \Delta t_1)}{\ln\left(\frac{Dt_2}{Dt_1}\right)} = \frac{0,9 - 63}{\ln\left(\frac{0,9}{63}\right)} = 14,6169 \ ^oF$$

(Pers. 18.22, Kern, hal. 630)

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{113 - 86}{176 - 86} = 0,300$$

$$R = \frac{(T_1\text{-}T_2)}{(t_2\text{-}t_1)} = \frac{89,1}{27} = 3$$

(Pers. 18.24, Kern, hal. 631)

Dipilih Type Cooler jenis double pipe

Dari Figure 18 Kern didapatkan F_T = 0,98 **(Kern, Hal. 828)**

$$DT = F_T \times \Delta T_{LMTD}$$
$$= 0,98 \times 14,6169 \ ^oF$$
$$= 14,3246 \ ^oF$$

3. Tc dan tc

$$T_c = T_{Average\ Bahan}$$

$$T_c = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{176 \ ^oF + 86,9 \ ^oF}{2} = 131,5 \ ^oF$$

$$t_c = t_{Average\ Water}$$

$$t_c = \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{113 \ ^oF + 86 \ ^oF}{2} = 99,5 \ ^oF$$

Trial Ukuran Cooler

Overall U_D = 5 - 75

Asumsi = 10 Btu/jam ft^2 °F **(Tabel 8, Kern, Hal. 840)**

$$A = \frac{Q}{U_D \times DT} = \frac{47{,}227}{10 \quad x \quad 14{,}3246} = 0{,}3297 \quad ft^2$$

Karena A < 200 ft^2 , maka digunakan tipe Double Pipe dengan spesifikasi sebagai berikut :

Annulus		Inner Pipe	
IPS (in)	6	IPS (in)	4
Sch. No.	40	Sch. No.	40
OD (in),	6,625	OD (in), D_1	4,5
ID (in),D2	6,065	ID (in), D	4,026
a' (ft^2/ft)	1,734	a" (ft^2/ft)	1,178

(Kern, Tabel.11 , hal. 844)

Fluida Panas : (Anulus) Bahan	Fluida Dingin : (Inner Pipe) Air
(4) Flow Area (a_a)	(4) Flow Area (a_p)
D_2 = 0,5054 ft	D = 0,3355 ft
D_1 = 0,375 ft	$a_p = \frac{\pi \times D^2}{4}$
$a_a = \frac{\pi(D_2^2 - D_1^2)}{4}$	= 0,0884 ft^2
= 0,0901 ft^2	
$D_e = \frac{(D_2^2 - D_1^2)}{D_1}$	
= 0,3062 ft	
(5) Kecepatan massa (G_a)	(5) Kecepatan massa (G_p)
$G_a = \frac{W}{a_a}$	$G_p = \frac{W}{a_p}$
$= \frac{74577{,}1683 \text{ lb/jam}}{0{,}090134 \text{ ft}^2}$	$= \frac{74577{,}1683 \text{ lb/jam}}{0{,}0884 \text{ ft}^2}$
= 82739,8789 lb/jam ft^2	= 844016,98 lb/jam ft^2
(6) Pada t_c = 131,5 ^{o}F	(6) Pada T_c = 100 ^{o}F
μ bahan = 1,960 lb/jam ft	μ air = 0,7 lb/jam ft
	(Kern, F14)

$Re_a = \dfrac{D_e \times G_a}{\mu}$	$Re_p = \dfrac{D \times G_p}{\mu}$
$= \dfrac{0{,}3062 \times 82739{,}88}{1{,}960}$	$= \dfrac{0{,}3355 \times 844017}{0{,}69}$
$= 12925{,}54587$	$= 410387{,}9657$
(7) Mencari J_H	(7) Mencari J_H
$J_H = 180$ (Kern, fig 28)	$J_H = 700$ (Kern, fig 24)
(8) Pada Tc = 131,5 °F	(8) Pada Tc = 100 °F
k = 0,0769 Btu/jam ft °F	k = 0,2000 Btu/jam ft °F
Cp = 0,468 Btu/lb °F	Cp = 0,10 Btu/lb °F
(Mohos, 2017)	(Kern, Tabel 4 & Fig 2)
$\dfrac{Cp\ \mu}{k} = \dfrac{0{,}468 \times 2{,}0}{0{,}077}^{1/3}$	$\dfrac{Cp\ \mu}{k} = \dfrac{0 \times 0{,}69}{0{,}200}^{1/3}$
$= 11{,}9282$	$= 0{,}3450$
Sehingga	Sehingga
$\left(\dfrac{Cp\ \mu}{k}\right)^{1/3} = 11{,}9282^{1/3}$	$\left(\dfrac{Cp\ \mu}{k}\right)^{1/3} = 0{,}3450^{1/3}$
$= 2{,}28485$	$= 0{,}70136$
(9) Mencari h_o	(9) Mencari h_i
$h_o = J_H \times (k/D_e) \times (c \times \mu / k)^{1/3} \times \varphi$	$hi = J_H \times (k/D) \times (c \times \mu / k)^{1/3} \times \varphi$
$\dfrac{h_o}{\varphi} = 180 \times \dfrac{0{,}0769}{0{,}3062} \times 2{,}285$	$\dfrac{hi}{\varphi} = 700 \times \dfrac{0{,}2000}{0{,}3355} \times 0{,}701$
= 103,2921 Btu / jam ft² °F	= 2611,9 Btu / jam ft² °F
	(10) Mencari hio
	hio = hi x ID/OD
	$= 103{,}292 \times \dfrac{0{,}336}{0{,}375}$
	= 92,412

(11) Mencari Uc

$$Uc = \frac{hio \times ho}{hio + ho} = \frac{92{,}4 \times 103{,}2921}{92{,}412 + 103{,}2921}$$

$$= 48{,}775 \text{ Btu / jam ft}^2\ {}^{o}\text{F}$$

(12) Dirt Factor (Rd)

$$Rd = \frac{Uc - U_D}{Uc \times U_D} = \frac{48{,}7748 - 10}{48{,}7748 \times 10}$$

$= 0{,}0795$ (Memenuhi)

Rd perhitungan > Rd data
0,0795 > 0,0010

Pressure Drop	
Fluida Panas : (Anulus) Bahan	Fluida Dingin : (Inner Pipe) Air
(1') $De' = D_2 - D_1$ $= 6{,}0650 - 4{,}5$ $= 1{,}5650$ ft $Re_a = \frac{De' \times Ga}{\mu}$ $= \frac{1{,}5650 \times 82739{,}8789}{1{,}9600}$ $= 66065{,}2605$ $f = 0{,}004 + \frac{0{,}264}{Re_a^{\ 0{,}42}}$ $= 0{,}006496$	(1) $Re_p = 410387{,}9657$ $f = 0{,}004 + \frac{0{,}264}{Re_a^{\ 0{,}42}}$ $= 0{,}005159$
(2') $g' = 4{,}18 \times 10^{8}$ ft/jam^2 $\Delta Fa = \frac{4 \ f \ Ga^2 \ La}{2 \ g \ \rho^2 \ De'}$ $= 0{,}000003$ ft	(2') $g' = 4{,}18 \times 10^{8}$ ft/jam^2 $\Delta Fp = \frac{4 \ f \ Gp^2 \ La}{2 \ g \ \rho^2 \ D}$ $= 0{,}016062$ ft
(3') $V = Ga/3600\rho$ $= \frac{82739{,}8789}{3600 \times 64{,}200}$ $= 0{,}358$ $\Delta Ft = \frac{V^2}{g}$ $= \frac{0{,}358^{\ 2}}{32{,}2}$ $= 0{,}003980144$ ft	

(4') $\Delta Pa = \dfrac{(\Delta Fa + \Delta Ft) \times \rho}{144}$ $= \dfrac{0{,}2553}{144}$ $=$ 0,0018 psi	(4') $\Delta Pp = \dfrac{\Delta Fp \times \rho}{144}$ $= \dfrac{1{,}0087}{144}$ $=$ 0,007 psi
$\Delta Pa < 2$ Psi	$\Delta Pp < 10$ Psi
Memenuhi	Memenuhi

Spesifikasi Cooler

Kode : E-372
Fungsi = Mendinginkan dowtherm dari suhu 80^{o}C hingga 30^{o}C
Tipe = Double Pipe Heat Exchanger
Dasar Pemilihan = Umum digunakan untuk menurunkan suhu liquida

Dimensi Pipa

Jenis = Steel Pipe 4 IPS Sch 40
Inside Diameter = 4,0260 in
Outside Diameter = 4,5000 in
External surface = 1,1780 ft^2/ft

Dimensi Anulus

Jenis = Steel Pipe 6 IPS Sch 40
Inside Diameter = 6,0650 in
Outside Diameter = 6,6250 in

3. Tangki Penyimpanan (F-370)

Fungsi : Menyimpan dowtherm
Tipe : Tangki berbentuk silinder tegak, tutup atas berupa *Torispherical dish* tutup bawah datar
Dasar Pemilihan : Sesuai untuk penyimpanan liquida pada tekanan atmosferik

Kondisi operasi :

Tekanan	=	1	atm
suhu	=	30	°C
Waktu tinggal	=	5	hari

Komposisi Bahan Masuk
Rate Massa = 34000,26 kg/jam
= 74957,74 lb/jam

Menghitung Densitas Larutan
ρ Campuran = 1051,6 gr/ml
= 65,64928 lb/cuft

$$Sg = \frac{\rho \text{ bahan}}{\rho \text{ reference } (H_2O)} \times \text{sg reference}$$

$$= \frac{65{,}64928 \text{ lb/cuft}}{62{,}43 \text{ lb/cuft}} \times 1$$

$$= 1{,}051566$$

$$\text{Rate volumetr} = \frac{\text{rate massa}}{\rho \text{ campuran}}$$

$$= \frac{74957{,}74 \text{ lb/jam}}{65{,}64928 \text{ lb/cuft}}$$

= 1141,791 cuft/jam
= 27402,97 cuft/hari

a. Menentukan Volume Tangki

digunakan 3 buah tangki untuk penyimpa 5 hari, maka
Volume liquid = 27403 cuft/hari x 1 hari
= 27403 cuft
Volume liquid tiap tangki adalah

$$\text{Volume liquid} = \frac{27402{,}97}{3}$$

= 9134,325
Asumsi volume liquid mengi 80% volume tangki untuk faktor keamanan, sehingga :

$$\text{Volume tangk} = \frac{\text{Volume cairan}}{80\%}$$

$$= \frac{9134{,}324992}{80\%}$$

= 11417,91 cuft

b. Menentukan Dimensi Tangki

Asumsi Dimention ratio : H/D = 2 - 5 **(Ulrich : T.4-27)**
Asumsi rasio dimensi H/D = 2

Volume tutup Torispherical dish head

Volume tutup ata = 0,000049 D^3 **(Brownell Eq. 5.11)**

Volume tangki = $\frac{1}{4}$ x π x D^2 H + 0,000049 D^3

11417,90624 = 1,57 D^3

D^3 = 7272,3 ft^3

D = 19,374 ft

= 5,9053 m

= 232,49 in

H = 2 x D

= 2 x 19,374 ft

= 38,748 ft

= 11,811 m

= 464,98 in

c. Menentukan tinggi cairan dalam tangki penyimpanan

Volume liquid = $\frac{1}{4}$ x π x D^2 H + 0,000049 D^3

9134,325 = 294,66 H + 0,356344

9133,969 = 294,66 H

H = 30,999 ft

= 9,4484 m

= 371,98 in

d. Menentukan Tekanan design

Jika dalam bejana terdapat liquid, maka bejana dirancang berdasarkan tekana dalam :

P design = P gauge + P hidrostatis

P design = (Pi-Po) + P hidrostatis

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

P design = P hidrostatis

P design = ρ x $\frac{g}{gc}$ x H liq

= 65,649 $\frac{lb}{cuft}$ x 1 $\frac{lbf}{lbm}$ x 30,999 ft

= 2035,031 $\frac{lbf}{ft^2}$

= 14,13216 psi

Asumsi P design 10% lebih besar untuk faktor keamanan

P design = 1,1 x 14,132 Psi

= 15,545 Psi

e. Menentukan tebal shell minimum

Tebal shell berdasarkan ASME code untuk cylindrical tank:

$$ts = \frac{Pd \times ri}{f\,e - 6\,Pd} + C \quad \text{(Brownell Eq. 13.1)}$$

dengan

ts = tebal shell minimum (in)

P = tekanan tangki (Psi) = 15,545 Psi

ri = jari-jari tangki (in) = 116,25 in

C = Faktor korosi (in); digunal = 1/8 in

e = Faktor pengelasan; digunakan double welde = 0,8

(Brownell, Table 13.2)

f = stress allowable bahan konstruksi Carbon Steel SA-283 Grade A

= 10350 Psi **(Brownell, hal.342)**

sehingga,

Asumsi tebal shell = 3/8 in

$$ts = \frac{P \times ri}{f\,e - 0{,}6\,P} + C$$

$$6/16 = \frac{15{,}545 \times 116{,}25}{0{,}8\ f - 9{,}3272} + 1/8$$

$$4/16 = \frac{15{,}545 \times 116{,}25}{0{,}8\ f - 9{,}327225}$$

$$0{,}2\ f - 2{,}3318 = 1807{,}079$$

$$0{,}2\ f = 1809{,}411$$

$$f = 9047{,}054$$

f hitung lebih kecil dari f allowable, jadi tebal s 3/8 in

dapat digunakan

f. Menentukan Tebal Tutup Atas

Tutup atas dipilih Torispherical dish head

OD = ID + 2 ts

= 232,49 + 2 x 3/8

= 232,49 + 0,75

= 232,49 in

Berdasarkan Brownell and Young, Tabel 5.7 dari data OD, diperoleh:

OD = 240

icr = 14 7/16 in
rc = 180 in
Cek nilai icr dengan nilai 6%rc
icr = 14,438 in
6% rc = 10,8 in

Karena nilai icr tabel > nilai 6%rc, maka digunakan persamaan:

$$th = \frac{P \times rc \times W}{2\,fe - 0{,}2P} + C$$ **(Brownell Eq. 7.77)**

$$W = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{rc}{rl}}\right)$$ **(Brownell Eq. 7.76)**

dengan
Pd = Tekanan design (Psi) = 15,5 Psi
rc = Crown radius = jari-jari dalam (in = 180 in
r₁/ = Inside crown radius (in = 116,25
E = Faktor pengelasan = 0,8
t = Tebal dinding minimal (in)
f = Stress allowable bahan Carbon Steel SA-283 grade A
= 10850 Psi **(Brownell hal. 342)**
C = Faktor korosi (in) = 1/8
Sehingga,

$$W = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{1}{rl}}\right)$$

$$= \frac{1}{4} \times \left(3 + \frac{13{,}4}{116}\right)$$

$$= 0{,}7789$$

Asumsi tebal tutup = 1/4 in

$$th = \frac{P \times rc \times W}{2\,fe - 0{,}2P} + C$$

$$4/16 = \frac{15{,}5 \times 180 \times 0{,}78}{1{,}6\ f - 0{,}2 \times 15{,}5} + 1/8$$

$$2/16 = \frac{2179{,}362922}{1{,}6\ f - 3{,}109075}$$

$$0{,}2\ f - 0{,}388634 = 2179{,}362922$$

$$0{,}2\ f = 2179{,}751556$$

$$f = 10898{,}75778$$

f hitung lebih kecil dari f allowable, jadi tebal s 1/4 in
dapat digunakan

g. Menentukan Tinggi Tutup Tangki

sf = 2 in

t = 2/8 in **(Brownell, tabel 5.6, hal. 88)**

Menghitung tinggi tutup

OA = b + sf + t

* 1 ft = 0,3 m
1 ft = 12 in

BC = rc - icr

BC = 180 - 14,438

= 165,563 in

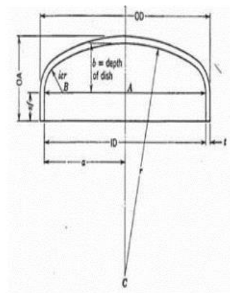


Fig. 5.8. Dimensional relationships for flanged and dished heads.

$$AB = \frac{1}{2} \times OD - icr$$

$$AB = \frac{1}{2} \times 240 - 14,4$$

= 105,563 in

$$b = rc - (BC^2 - AB^2)^{0,5}$$

$$b = 180 - (27411 - 11143)^{0,5}$$

= 52,456

Tinggi tutup atas

OA = b + sf + t

= 54,706 in

= 1,3895 m

= 4,5588 ft

h. Menentukan Tebal Tutup Bawah (Flatted Bottom)

Tebal tutup bawah datar karena menumpang di atas pondasi

Untuk flatted bottom, digunakan tebal tutup ba 4/16 in

(Brownell, Hal. 58)

Spesifikasi

Nama alat	:	Tangki Penyimpanan dowtherm
Bentuk	:	Tangki berupa silinder tegak dengan tutup atas *Torispherical dish head* dan tutup bawah plate
Jumlah	:	3 buah
Kondisi Operasi		
Suhu	:	30 ℃
Tekanan	:	1 atm

waktu	:	1	hari			
Dimensi Tangki						
Diameter tangki	=	19,374	ft	=	5,9053	m
Tinggi tangki	=	38,748	ft	=	11,811	m
Volume Tangki	=	11418	cuft			
Tebal shell	=	3/8	in			
Tebal Tutup Atas	=	1/4	in			
Tinggi Tutup Ata	=	4,5588	ft	=	1,3895	m
Tebal Tutup Bawah		1/4	in			