

APPENDIKS D

UTILITAS

Unit utilitas merupakan salah satu bagian yang penting dalam menunjang berjalannya proses produksi dalam suatu industri kimia. Unit utilitas yang diperlukan pada Pra-Rencana Pabrik Karbon Tetraklorida ini adalah:

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

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

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

D.1. Unit Pengolahan Air (*Water Treatment*)

Untuk memenuhi kebutuhan air pada pabrik, direncanakan menggunakan air kawasan. Pengambilan air kawasan kemudian ditampung dalam bak penampung air kawasan. Untuk air sanitasi tidak diperlukan adanya pengolahan, sedangkan air pendingin dan air umpan boiler akan diolah lebih lanjut sesuai dengan kebutuhan masing-masing.

A. Air Sanitasi

Air sanitasi digunakan untuk memenuhi kebutuhan karyawan, laboratorium, perkantoran, taman, pemadam kebakaran dan kebutuhan yang lain dengan persyaratan kualitas air sebagai berikut:

- a. Syarat fisik
 - Suhu : Berada dibawah suhu kamar
 - Warna : Tidak berwarna/ jernih
 - Rasa : Tidak berasa
 - Bau : Tidak berbau
 - Kekeruhan : $< 1 \text{ mg SiO}_2/\text{liter}$
 - pH : Netral
 - Tidak berbusa

b. Syarat kimia

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

c. Syarat mikrobiologis

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

Kebutuhan air sanitasi pada Pra Rencana Pabrik Karbon Tetraklorida adalah sebagai berikut:

1. Untuk kebutuhan karyawan

Menurut standart WHO kebutuhan air untuk tiap orang = 120 L/hari

Jumlah karyawan pada pabrik = 178 orang

Jam kerja untuk setiap karyawan = 8 jam/hari

Jadi, kebutuhan air karyawan per jam kerja adalah:

$$120 \text{ L/hari} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \times 8 \text{ jam} = 40 \text{ L}$$

Kebutuhan per jam = 5 L/jam

Kebutuhan air untuk = 178 karyawan

$$5 \text{ L/jam} \times 178 = 890 \text{ L/jam}$$

Jika densitas air = 995,68 kg/m³

$$= 0,99568 \text{ kg/L}$$

Maka kebutuhan air sanitasi karyawan :

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

$$m = V \times \rho$$

$$= 890 \text{ L/jam} \times 0,99568 \text{ kg/L}$$

$$= 886,155 \text{ kg/jam}$$

2. Untuk laboratorium dan taman

Direncanakan kebutuhan air untuk laboratorium dan taman adalah sebesar 50% dari kebutuhan karyawan,

sehingga kebutuhan air untuk laboratorium dan taman:

$$50\% \times 886,155 = 443,078 \text{ kg/jam}$$

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

$$886,155 + 443,078 = 1329,23 \text{ kg/jam}$$

3. Untuk pemadam kebakaran dan cadangan air

Air sanitasi untuk pemadam kebakaran dan air cadangan direncanakan

sebesar 40% dari kebutuhan air untuk karyawan, laboratorium, dan

taman, sehingga kebutuhan air untuk pemadam kebakaran dan cadangan air :

$$40\% \times 1329,23 = 531,693 \text{ kg/jam}$$

Jadi, total kebutuhan air untuk sanitasi sebesar:

$$1329,23 + 531,693 = 1860,9259$$

B. Air Pendingin

Air Pendingin harus diolah sebelum digunakan karena kandungan bahan didalam air dapat mempengaruhi sistem pada air pendingin. Bahan-bahan yang terkandung didalamnya akan menimbulkan kerak yang dapat menghambat terjadinya perpindahan panas. Untuk menghemat pemakaian air, maka air pendingin yang digunakan didinginkan kembali dan disediakan penambahan 20% dari kebutuhan air pendingin.

Air pendingin dibutuhkan pada alat-alat berikut:

Tabel D.1.1. Kebutuhan air pendingin pada peralatan

No.	Nama Peralatan	Kode Alat	Kebutuhan Air Pendingin
			(kg/jam)
1.	Reaktor	R-110	128405,4113
2.	Kondensor	E-123	898,344063
3.	Kondensor	E-125	405,9817948
4.	Cooler	E-127a	253,575807
5.	Cooler	E-127b	555,0047926
TOTAL			130518,3177

Direncanakan banyaknya air pendingin yang disuplai dengan excess 20%
kebutuhan air pendingin = $1,20 \times 130518,32$

$$= 156621,9813 \text{ Kg/jam}$$

Make Up untuk kebutuhan air pendingin direncanakan 20% excess, maka :

$$\text{Make Up pendingin} = 1,20 \times 156621,98$$

$$= 187946,3775 \text{ Kg/jam}$$

C. Air Umpan Boiler

Pada Pra-Rencana Pabrik Karbon Tetraklorida, kebutuhan air umpan boiler berdasarkan pada kebutuhan steam. Dimana kebutuhan steam yang ada digunakan sebagai media pada peralatan sebagai berikut:

Tabel D.1.2. Total kebutuhan steam pada peralatan

No.	Nama Peralatan	Kode Alat	Kebutuhan Steam
			(kg/jam)
1.	Vaporizer	V-114	108,8265235
2.	Heater	E-115	233,7033332
3.	Heater	E-121	135,409886
4.	Reboiler	E-126	142,1754118
TOTAL			620,1151545

Direncanakan banyaknya steam yang disuplay 20% excess, maka:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan steam} &= 120,0\% \times 620,11515 \text{ kg/jam} \\ &= 744,1381854 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Make Up steam} &= 110,0\% \times 744,13819 \text{ kg/jam} \\ &= 818,552004 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Jadi, jumlah steam yang harus dihasilkan boiler adalah:

$$\begin{aligned} \text{Massa stem (m}_s) &= 818,552004 \text{ kg/jam} \\ &= 1804,579748 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Steam yang digunakan adalah saturated steam dengan kondisi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} - \text{ Suhu (T)} &= 140 \text{ }^\circ\text{C} = 284 \text{ }^\circ\text{F} \\ - \text{ Tekanan (P)} &= 1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psia} \\ - \text{ Air umpan boiler masuk pada suhu} &= 30 \text{ }^\circ\text{C} = 86 \text{ }^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Dasar Perhitungan:

Dari persamaan 8-3, Kusnarjo 2010. hal. 108 didapatkan Kapasitas Boiler, (Q):

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

Dimana:

m_s = massa steam yang dihasilkan oleh boiler (lb/jam)

H_g = entalpi steam pada 284 °F

H_l = entalpi air masuk pada 86 °F

Dari App A.2-9 Geankoplis, hal 859 didapatkan:

$$H_{186^\circ\text{F}} = 54,078 \text{ Btu/lbm}$$

$$H_{g284^\circ\text{F}} = 1175,34 \text{ Btu/lbm}$$

Jadi :

$$Q = \frac{1804,58 \text{ lb/jam} \times [1175,3 - 54,078] \text{ btu/lb}}{1000}$$

$$= 2023,41 \text{ btu/jam}$$

$$\text{Energi Boiler} = \frac{m_s \times (H_g - H_f)}{1175,34 \times 34,5} \quad (\text{Pers. 8-2, Kusnarjo hal.108})$$

$$= \frac{1804,58 \text{ lb/jam} \times [1175,3 - 54,078] \text{ btu/lb}}{40549,23}$$

$$= 49,9000 \text{ HP} \approx 50 \text{ HP}$$

$$\text{Panas yang dipidahkan oleh permukaan a} = 6.10^5 \text{ W/m}^2 \quad (\text{Perry's. tabel 9.49})$$

$$= 190198,4400 \text{ btu/jam.ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Luas permukaan panas (A)} &= \frac{2023,4067 \text{ btu/jam}}{190198,44 \text{ btu/jam.ft}^2} \\ &= 0,010638398 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Faktor evaporasi} &= \frac{H_g - H_f}{970,3} \quad (\text{Kusnarjo hal.108}) \\ &= \frac{[1175,34 - 54,078]}{970,3} \\ &= 1,15558 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah air yang dibutuhkan} &= \text{faktor evaporasi} \times \text{rate steam} \\ &= 1,15558 \times 1804,5797 \text{ lb/jam} \\ &= 2085,3413 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} H_v &= 132000 \text{ btu/lb} \quad (\text{Perry's 7}^{\text{th}} \text{ ed. fig. 27-3}) \\ &= 76758 \text{ kcal/kg} \end{aligned}$$

Diperkirakan efisiensi Boiler 80%, maka :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar} &= \frac{m_s \times (H_g - H_f)}{\text{efisiensi} \times H_v} \\ &= \frac{1804,6 \text{ lb/jam} \times [1175,3 - 54] \text{ btu/lb}}{0,8 \times 132000 \text{ btu/lb}} \\ &= 19,161 \text{ lb/jam} = 8,691 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Apabila ditetapkan :

- Heating value surface = 50,0 ft²/Hp boiler
- panjang pipa (L) = 10 ft
- Ukuran pipa = 1 in
- Luas permukaan (at) = 0,344 ft²/ft (Kern, tabel 10, hal. 844)

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

$$\begin{aligned} \text{Heating surface Boiler} &= H_v \text{ surface} \times \text{Hp Boiler} \\ &= 50,0 \text{ ft}^2/\text{Hp} \times 49,9 \text{ Hp} \\ &= 2495 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tube yang dibutuhkan :

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{A}{\text{at} \times L} \\ &= \frac{2495 \text{ ft}^2}{0,344 \text{ ft}^2/\text{ft} \times 10 \text{ ft}} \\ &= 725,2907 \approx 725 \text{ tube} \end{aligned}$$

Spesifikasi Boiler

- Tipe : Fire Tube Boiler
- Kapasitas Boiler : 2023,4067 btu/jam
- Rate steam : 1804,5797 lb/jam
- Bahan bakar : Fuel oil 33 °API
- Effisiensi : 80%
- Heating surface : 2495 ft²
- Jumlah tube : 725 tube
- Ukuran tube : 1 in
- Panjang tube : 10 in
- Jumlah Boiler : 1 buah

Dari perhitungan di atas, diketahui bahwa jumlah air umpan yang dibutuhkan sebesar 2085,3 lb/jam. Air umpan Boiler disediakan excess 20% sebagai pengganti steam yang hilang, kebocoran akibat dari transmisi diperkirakan sebesar 5% dan faktor keamanan 10%.

Sehingga kebutuhan air umpan Boiler sebesar :

Excess 20%,

$$1,2 \times 2085,341 \text{ lb/jam} = 2502,4096 \text{ lb/jam}$$

Faktor kebocoran 5%,

$$5\% \times 2085,341 \text{ lb/jam} = 104,2671 \text{ lb/jam}$$

Faktor keamanan 10%,

$$10\% \times 2085,341 \text{ lb/jam} = 208,5341 \text{ lb/jam}$$

Jadi total kebutuhan air umpan Boiler adalah :

$$= 2502,410 + 104,2671 + 208,5341 \text{ lb/jam}$$

$$= 2815,2108 \text{ lb/jam} = 1276,9712 \text{ kg/jam}$$

Total kebutuhan air yang perlu disuplay pada Pra-Rencana Pabrik Karbon Tetraklorida adalah sebagai berikut:

Tabel D.1.3. Total kebutuhan air pada peralatan

No.	Keterangan	Jumlah (kg/jam)
1.	Air Sanitasi	1860,9259
2.	Air Umpan Boiler	1276,9712
3.	Air Pendingin	156621,9813
Jumlah		159759,8785

Air didapatkan dari air kawasan, sehingga pengolahan awal tidak diperlukan. Namun sebelum digunakan, air kawasan tersebut masih perlu ditreatment untuk memenuhi kebutuhan air umpan, air pendingin, dan air sanitasi.

Spesifikasi Alat pada Unit Utilitas

1. Pompa Air Kawasan (L-211)

Fungsi : Untuk memompa air kawasan ke bak penampung air

Tipe : Pompa Sentrifugal

Dasar perencanaan:

$$\text{Rate aliran} = 159759,8785 \text{ kg/jam}$$

$$= 352271 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas air} = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$= 62,15797072 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas} = 0,000538 \text{ lb/ft.detik}$$

$$= 1,9368 \text{ lb/ft.jam}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{A. Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{352270,53}{62,157971} \\ &= 5667,34 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 1,57426 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 706,529 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 2100$)

$$\begin{aligned} \text{di optimum} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\ &= 3,90 \times 1,23 \times 1,71 \\ &= 8,18 \text{ in} \\ &= 10 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 10 in sch 40 (Brownell, page.389)

Sehingga diperoleh:

$$\text{OD} = 10,8 \text{ in} = 0,89583 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 10 \text{ in} = 0,83499 \text{ ft}$$

$$A = 11,9 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{B. Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{1,57426}{11,91} \\ &= 0,13218 \text{ ft/detik} \\ &= 475,847 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

C. Cek jenis aliran fluida

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

$$= \frac{0,83499 \times 0,13218 \times 62,158}{0,000538}$$

$$= 12751,540$$

Karena $N_{Re} > 2100$, maka jenis aliran fluida adalah aliran turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah Commercial Steel

Sehingga diperoleh:

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,00015 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,00015}{0,8350} = 0,00018$$

$$f = 0,004 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

Direncanakan :

- Panjang pipa lurus = 100 ft
- elbow 90° = 3 buah
- Le/D = 35 *(Geankoplis, Tabel 2-10.1 Hal 93)*
- Le = 35 ID
- = 35 x 3 x 0,83499 ft
- = 87,6743 ft
- Gate valve = 2 buah (wide open)
- Le/D = 9 *(Geankoplis, Tabel 2-10.1 Hal 93)*
- Le = 9 ID
- = 9 x 2 x 0,83499 ft
- = 15,0299 ft

- Panjang pipa total (L) = Pipa lurus + elbow 90° + gate valve
- = 100 + 87,6743 + 15,0299
- = 202,7041 ft
- = 2432,4497 in

Menentukan *friction loss*

1. Friksi pada kontraksi

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \times \frac{v_2^2}{2 \alpha g_c}$$

(Geankoplis, Pers.2-10.16 Hal 93)

$$= 0,55 \times (1 - 0) \times \frac{0,1322^2}{2 \times 1 \times 32,174}$$

$$= 0,00015 \text{ lbf.ft/lbm}$$

2. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= 4f \frac{\Delta L \times v^2}{D \times 2g_c} && \text{(Geankoplis, Pers.2-10.6 Hal 89)} \\
 &= 4 \times 0,004 \times \frac{202,704}{0,83499} \times \frac{0,1322^2}{2 \times 32,174} \\
 &= 0,001055 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

3. Friksi pada ekspansi

$$\begin{aligned}
 h_{ex} &= \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \frac{v_2^2}{2 \alpha g_c} && \text{(Geankoplis, Pers.2-10.15 Hal 93)} \\
 &= (1 - 0)^2 \times \frac{0,1322^2}{2 \times 1,6 \times 32,174} \\
 &= 0,00017 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

4. Friksi pada Elbow $90^\circ = 3$ buah

$$\begin{aligned}
 K_f &= 0,75 && \text{(Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)} \\
 h_f &= 3K_f \frac{v^2}{2g_c} && \text{(Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)} \\
 &= 3 \times 0,75 \times \frac{0,1322^2}{2 \times 32,174} \\
 &= 0,00061 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

5. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$\begin{aligned}
 K_f &= 0,17 && \text{(Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)} \\
 h_f &= 2 K_f \frac{v^2}{2g_c} && \text{(Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 93)} \\
 &= 2 \times 0,17 \times \frac{0,1322^2}{2 \times 32,174} \\
 &= 9,23154E-05 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Total friksi } (\Sigma F) &= h_c + F_f + h_{ex} + \Sigma h_f \\
 &= 0,00015 + 0,0010546 + 0,00017 + 0,00070 \\
 &= 0,00208 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\Delta Z = 30 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0 \text{ lb/ft}^2 \text{ (Karena } P_1=P_2\text{)}$$

$$v_1 = 0 \text{ ft/s (karena fluida diam dalam tangki penampungan)}$$

$$v_2 = 0,13 \text{ ft/s}$$

$$\alpha = 1 \text{ (aliran turbulen)}$$

Sehingga Mechanical energy balance :

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot a \cdot gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F + W_s = 0$$

(Geankoplis, Pers.2-7.28 Hal 68)

$$\frac{0,02^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,2} + 30 \frac{32,17}{32,17} + 0 + 0,002 = -W_s$$

$$-W_s = 30$$

$$W_s = -30 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Dari figure 14.37, Halaman 520 Petters & Timmerhouse didapatkan:

Efisiensi pompa (η) = 0,90

$$W_s = -\eta W_p$$

$$-30,00 = -0,90 W_p$$

$$W_p = 33,34 \text{ lbf.ft/lbm}$$

$$\text{Pump horsepower} = \frac{W_p \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{33,34 \times 1,574 \times 62,158}{550}$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{Pump HP}}{h \text{ motor}}$$

$$= \frac{5,93}{0,90}$$

$$= 6,59 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 86\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521})$$

$$= 0,86$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}}$$

$$= \frac{6,590}{0,86}$$

$$= 7,66272 \text{ Hp} \approx 8 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : 8 Hp
- Bahan : *Commercial Steel*
- Jumlah : 1 buah

2. Bak Air Bersih (F-212)

Fungsi : Menampung air bersih untuk didistribusikan ke proses berikutnya

Dasar Perencanaan :

- Rate aliran = 159759,88 kg/jam
- = 352206,63 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{Rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{352206,63 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 5666,3148 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 160,453 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{Waktu tinggal} &= 3 \text{ jam} \\ \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 160,453 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\ &= 481,359 \text{ m}^3 \\ \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak} \\ \text{Volume bak} &= \frac{481,36 \text{ m}^3}{80\%} \\ &= 601,69888 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengn ratio :

$$\begin{aligned} \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 5 \text{ x } 3 \text{ x } 2 \\ \text{Volume Bak} &= 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 30 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 30 \text{ x}^3 \\ 601,69888 \text{ m}^3 &= 30 \text{ x}^3 \\ \text{x} &= 2,717 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimensi bak air bersih :

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 5 \text{ x } 30 \text{ m} = 150 \approx 150 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 3 \text{ x } 30 \text{ m} = 90 \approx 90 \text{ m} \\ \text{Tinggi} &= 2 \text{ x } 30 \text{ m} = 60 \approx 60 \text{ m} \end{aligned}$$

Spesifikasi Bak Air Bersih

- Bentuk : Persegi Panjang

- Panjang : 150 m
- Lebar : 90 m
- Tinggi : 60 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 Buah

3. Pompa Air Bersih (L-213)

Fungsi : Untuk memompakan air dari bak air bersih menuju bak klorinasi air sanitasi

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar Perencanaan :

- rate aliran = 159759,88 kg/jam
= 352206,63 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,93680 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{352206,63 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 5666,3148 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 1,574 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 706,50 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 4000$), maka :

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhaus, hal. 496}) \\ &= 3,9 \times 1,574^{0,45} \times 62,158^{0,13} \\ &= 8,18217 \text{ in} \\ &= 10 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 10 in sch 40 (Brownell, page.389)

Sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 10,8 \text{ in} = 0,89583 \text{ ft} \\ \text{ID} &= 10 \text{ in} = 0,83499 \text{ ft} \\ \text{A} &= 11,9 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\text{Laju aliran fluida (V)} = \frac{Q}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{1,574}{11,91} \\
 &= 0,13216 \text{ ft/detik} \\
 &= 475,761 \text{ ft/jam}
 \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,83499 \times 0,13216 \times 62,158}{0,000538} \\
 &= 12749,227
 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 2100$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen flow

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial Steel*

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,00015 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0001509}{0,8350} = 0,00018$$

$$f = 0,004 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

Direncanakan :

$$\text{Panjang pipa} = 100 \text{ ft}$$

$$\text{Elbow } 90^\circ = 2 \text{ buah}$$

$$\text{Le/D} = 35 \quad (\text{Geankoplis, Tabel 2-10.1 Hal 93})$$

$$\text{Le} = 35 \text{ ID}$$

$$= 35 \times 2 \times 0,834993 \text{ ft}$$

$$= 58,4495 \text{ m}$$

$$= 191,761 \text{ ft}$$

$$\text{Gate valve} = 1 \text{ buah} \quad (\text{Wide Open})$$

$$\text{Le/D} = 9 \quad (\text{Geankoplis, Tabel 2-10.1 Hal 93})$$

$$\text{Le} = 9 \text{ ID}$$

$$= 9 \times 1 \times 0,834993 \text{ ft}$$

$$= 7,51494 \text{ m}$$

$$= 24,655 \text{ ft}$$

$$\text{Tee} = 1 \text{ buah}$$

$$\text{Le/D} = 50 \quad (\text{Geankoplis, Tabel 2-10.1 Hal 93})$$

$$\text{Le} = 50 \text{ ID}$$

$$= 50 \times 1 \times 0,834993 \text{ ft}$$

$$= 41,7497 \text{ m}$$

$$= 136,972 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang pipa total} &= \text{Pipa lurus} + \text{Elbow } 90^\circ + \text{Gate valve} + \text{Tee} \\
 &= 100 + 191,761162 + 24,655007 + 136,972
 \end{aligned}$$

$$= 453,388 \text{ ft}$$

$$= 5440,71 \text{ in}$$

Menentukan Friction Loss

a. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot gc} \\ &= 0,02 \times \frac{453,388}{0,83499} \times \frac{0,0174652}{64,348} \\ &= 0,002358 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

b. Kontraksi pada tangki

$$\begin{aligned} h_c &= K_c \times \frac{v^2}{2 \cdot gc} \\ &= 0,55 \times \frac{0,02}{64,3} \\ &= 0,00015 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

c. Elbow 90°, 2 buah

$$K_f = 0,75 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$\begin{aligned} h_f &= 2K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot gc} \\ &= 1,5 \times \frac{0,02}{64,3} \\ &= 0,0004 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

d. Gate valve wide open, 1 buah

$$K_f = 0,17 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$\begin{aligned} h_f &= 1K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot gc} \\ &= 0,17 \times \frac{0,02}{64,3} \\ &= 4,6E-05 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

e. Sudden expansion

$$\begin{aligned} h_{ex} &= \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \times \frac{v^2}{2 \cdot a \cdot gc} \\ &= 1 \times \frac{0,02}{64,3} \\ &= 0,0003 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

f. Tee, 1 buah

$$K_f = 1 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$\begin{aligned}
 hf &= 1Kf \times \frac{v^2}{2 \cdot gc} \\
 &= 1 \times \frac{0,02}{64,3} \\
 &= 0,0003 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 \text{Total friksi } (\Sigma F) &= Ff + hc + \Sigma hf + hex \\
 &= 2E-03 + 1E-04 + 7E-04 + 3E-04 \\
 &= 0,00350 \text{ lbf.ft/jam}
 \end{aligned}$$

Menentukan Kestimbangan Mekanik

Direncanakan:

$$\Delta Z = 30 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0 \text{ lb/ft}^2 \text{ (Karena } P_1=P_2)$$

$$v_1 = 0 \text{ ft/s (Fluida diam dalam tangki)}$$

$$v_2 = 0,13 \text{ ft/s}$$

$$\alpha = 1 \text{ (Aliran turbulen)}$$

Sehingga Mechanical Energy Balance:

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

(Geankoplis, Pers.2-7.28 Hal 64)

$$\frac{0,02^2 - 0}{2 \times 1 \times 32,2} + 30 \frac{32,17}{32,17} + 0 + 0,00350 = -W_s$$

$$-W_s = 30,0038$$

$$W_s = -30,0038 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Dari Fig.14.37 Hal.520, Petters &Timmerhause, didapatkan:

$$\text{Efisiensi pompa } (\eta) = 90\%$$

$$-W_s = \eta W_p$$

$$30,004 = 90\% \times W_p$$

$$W_p = 33,3375 \text{ lbf.ft/lbm}$$

$$\text{Pump horsepower} = \frac{W_p \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{33,3375 \times 1,574 \times 62,158}{550}$$

$$= 5,9302 \text{ Hp}$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{Pump HP}}{\eta \text{ pompa}} = \frac{5,9302}{90\%} = 6,59 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 84\% = 0,84$$

(Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521)

$$\begin{aligned}
 \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\
 &= \frac{6,589}{0,84} \\
 &= 7,84411 \text{ Hp} \quad \approx \quad 8 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : 8 Hp
- Bahan : *Commerial Steel*
- Jumlah : 1 buah

4. Kation Exchanger (D-210A)

Fungsi = Untuk menghilangkan ion - ion positif yang menyebabkan kesadahan air. Resin yang digunakan adalah RSO_3H^+

1 m³ Resin = Menghilangkan 6500 - 9000 gr hardness

$$\begin{aligned}
 \text{Direncanakan memakai resin sebesar} &= 8000 \text{ g/m}^3 \\
 &= 0,49938 \text{ lb/ft}^3
 \end{aligned}$$

Bahan = Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316

Asumsi kesadahan TDS

$$\begin{aligned}
 \text{Total Kation} &= 50 \text{ mg/L} \\
 &= 0,00312 \text{ lb/ft}^3
 \end{aligned}$$

Dasar perencanaan:

$$\text{Rate aliran} = 2, \text{E}+05 \text{ kg/jam} = 348167,1903 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas} = 62,158 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{348167,1903 \text{ lb/jam}}{62,1580 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 5601,33 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 1,5559 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 732,000 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

Menentukan kapasitas resin:

$$V_R = \frac{Q.t.TDS.15,45}{TEC.35,34.\eta} \quad (\text{Pure water care, hal.2})$$

$$V_R = \frac{Q.t.TDS. 0,4372}{TEC.\eta}$$

$$V_P = Q.t$$

$$V_R = \frac{V_P.TDS.0,4372}{TEC.\eta}$$

Volume kation

$$V_R = \frac{5601,3281 \times 24 \times 0,0031 \times 0,4372}{0,5 \times 90\%}$$

$$= 408,119 \text{ ft}^3$$

$$= 11556,7 \text{ L}$$

Diambil volume resin $V_R = 11556,7 \text{ L}$ (Untuk lama waktu siklus 24 jam)
 Sehingga untuk lama waktu siklus 1 tahun dibutuhkan resin sebanyak:

$$V_R = 11556,693 \text{ L} \times 330 \text{ hari}$$

$$= 3813709 \text{ L}$$

$$= 3813,709 \text{ m}^3$$

Direncanakan :

- tangki berbentuk silinder
- kecepatan air = 4 gpm/ft²
- tinggi bed = 2 m = 6,5616 ft

$$\text{Luas penampang tangki} = \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{kecepatan air}}$$

$$= \frac{732,000 \text{ gpm}}{4 \text{ gpm/ft}^2}$$

$$= 183,000 \text{ ft}^2$$

$$\text{Volume bed} = \text{luas} \times \text{tinggi}$$

$$= 183,000 \times 6,5616$$

$$= 1200,773181 \text{ ft}^3 = 34,0023 \text{ m}^3$$

Diameter bed,

$$\text{Luas} = \pi/4 \times D^2$$

$$183,000 \text{ ft}^2 = 0,7850 \times D^2$$

$$D = 15,268 \text{ ft}$$

Direncanakan H/D

$$= 1,5$$

$$H = 1,5 \times D$$

$$= 1,5 \times 15,2683 \text{ ft}$$

$$= 22,902 \text{ ft}$$

Volume tangki

$$V = H \times A = 22,9025 \text{ ft} \times 183,000 \text{ ft}^2$$

$$= 4191,2 \text{ ft}^3$$

Diasumsikan : tiap galon air mengandung 3 *Grain Hardness* , maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Kandungan kation} &= 732,000 \quad \text{gpm} \times 3 \\
 &= 2196,00 \quad \text{grains/menit} \\
 &= 131760,0 \quad \text{grains/jam} \\
 \text{Hardness sebanyak} &= 34,00 \text{ m}^3 \quad \times 8000 \text{ g/m}^3 \\
 &= 272018,3533 \quad \text{gram} \\
 &= 4197841,6313 \quad \text{grain} \\
 \text{Umur Resin} &= \frac{4197841,6313}{131760,0418} = 31,8597 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

Jadi setelah 31,8597 jam, resin harus segera diregenerasi dengan menambahkan asam sulfat atau asam klorida.

Spesifikasi Kation Exchanger

- Bahan konstruksi : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316
- Diameter : 15,26830 ft
- Tinggi : 22,90246 ft
- Jumlah : 1

5. Anion Exchanger (D-210B)

Fungsi = Untuk menghilangkan ion - ion negatif yang menyebabkan kesadahan air. Resin yang digunakan adalah $\text{RCH}_2\text{N}(\text{CH}_3)_3\text{OH}$

$$\begin{aligned}
 \text{Direncanakan memakai resin sebesar} &= 8000 \text{ g/m}^3 \\
 &= 0,49938 \text{ lb/ft}^3
 \end{aligned}$$

Bahan = Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316

Asumsi kesadahan TDS

$$\begin{aligned}
 \text{Total Anion} &= 50 \text{ mg/L} \\
 &= 0,00312 \text{ lb/ft}^3
 \end{aligned}$$

Dasar perencanaan:

$$\text{Rate aliran} = 2, \text{E}+05 \text{ kg/jam} = 348167,1903 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas} = 62,158 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{348167,1903 \text{ lb/jam}}{62,1580 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 5601,33 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 1,5559 \text{ ft}^3/\text{detik}
 \end{aligned}$$

$$= 732,00 \quad \text{gpm}$$

Penentuan kapasitas resin:

$$V_R = \frac{Q.t.TDS.15,45}{TEC.35,34.\eta} \quad (\text{Pure water care, hal.2})$$

$$V_R = \frac{Q.t.TDS. 0,4372}{TEC.\eta}$$

$$V_P = Q.t$$

$$V_R = \frac{V_P.TDS.0,4372}{TEC.\eta}$$

Volume anion

$$V_R = \frac{5601,3281 \quad \times \quad 24 \quad \times \quad 0,0031 \quad \times \quad 0,4372}{0,5 \quad \times \quad 90\%}$$

$$= 408,119 \text{ ft}^3$$

$$= 11556,7 \text{ L}$$

Diambil volume resin $V_R = 11556,7 \text{ L}$ (Untuk lama waktu siklus 24 jam)

Sehingga untuk lama waktu siklus 1 tahun dibutuh resin sebanyak:

$$V_R = 11556,693 \text{ L} \times 330 \text{ hari}$$

$$= 3813709 \text{ L}$$

$$= 3813,7086 \text{ m}^3$$

Direncanakan :

- tangki berbentuk silinder
- kecepatan air $= 4 \text{ gpm/ft}^2$
- tinggi bed $= 2 \text{ m} = 6,5616 \text{ ft}$

$$\text{Luas penampang tangki} = \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{kecepatan air}}$$

$$= \frac{732,000 \text{ gpm}}{4 \text{ gpm/ft}^2}$$

$$= 183,000 \text{ ft}^2$$

$$\text{Volume bed} = \text{luas} \times \text{tinggi}$$

$$= 183,000 \times 6,5616$$

$$= 1200,773181 \text{ ft}^3 = 34,0023 \text{ m}^3$$

Diameter bed ,

$$\text{Luas} = \pi/4 \times D^2$$

$$183,000 \text{ ft}^2 = 0,7850 \times D^2$$

$$D = 15,268 \text{ ft}$$

$$\text{Direncanakan H/D} = 1,5$$

$$\begin{aligned}
 H &= 1,5 \times D \\
 &= 1,5 \times 15,2683 \text{ ft} \\
 &= 22,902 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Volume tangki

$$\begin{aligned}
 V &= H \times A &= 22,9025 \text{ ft} \times 183,000 \text{ ft}^2 \\
 & &= 4191,2 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Diasumsikan : tiap galon air mengandung 3 *Grain Hardness* , maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Kandungan kation} &= 732,000 \text{ gpm} \times 3 \\
 &= 2196,00 \text{ grains/menit} \\
 &= 131760,0 \text{ grains/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Hardness sebanyak} &= 34,00 \text{ m}^3 \times 8000 \text{ g/m}^3 \\
 &= 272018,3533 \text{ gram} \\
 &= 4197841,6313 \text{ grain}
 \end{aligned}$$

$$\text{Umur Resin} = \frac{4197841,6313}{131760,0418} = 31,8597 \text{ jam}$$

Jadi setelah 31,8597 jam, resin harus segera diregenerasi dengan menambahkan asam sulfat atau asam klorida.

Spesifikasi Anion Exchanger

- Bahan konstruksi : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316
- Diameter : 15,26830 ft
- Tinggi : 22,90246 ft
- Jumlah : 1

6. Bak Air Lunak (F-214)

Fungsi : Menampung air lunak untuk didistribusikan ke proses, air umpan boiler, dan air pendingin

Dasar Perencanaan :

- rate aliran = 157898,95 kg/jam
- = 348104,03 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{348104,03 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5600,312 \quad \text{ft}^3/\text{jam} \\
 &= 158,584 \quad \text{m}^3/\text{jam} \\
 \text{Waktu tinggal} &= 3 \quad \text{jam} \\
 \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 158,58 \text{ m}^3/\text{jam} \quad \times \quad 3 \quad \text{jam} \\
 &= 475,752 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume liquid} &= 80\% \quad \text{volume bak} \\
 \text{Volume bak} &= \frac{475,752}{80\%} \text{ m}^3 \\
 &= 594,69013 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 5 \quad \times \quad 3 \quad \times \quad 2 \\
 \text{Volume Bak} &= 5 \text{ m} \quad \times \quad 3 \text{ m} \quad \times \quad 2 \text{ m} \\
 &= 30 \quad \text{m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 30 \text{ x}^3 \\
 594,69013 \text{ m}^3 &= 30 \text{ x}^3 \\
 \text{x} &= 2,706 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dimensi bak air lunak :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 5 \times 2,706 \text{ m} &= 13,5319 &\approx 14 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 3 \times 2,706 \text{ m} &= 8,11916 &\approx 8 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 2 \times 2,706 \text{ m} &= 5,41277 &\approx 5 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Bak Air Lunak

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 14 m
- Lebar : 8 m
- Tinggi : 5 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 Buah

7. Pompa Air Lunak (L-215)

Fungsi : Memompakan air menuju bak air pendingin dan ke bak umpan boiler

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar Perencanaan :

- rate aliran = 157898,95 kg/jam
= 348104,03 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³

$$\begin{aligned}
 - \text{viskositas } (\mu) &= 0,000538 \quad \text{lb/ft.detik} \\
 &= 1,93680 \quad \text{lb/ft.jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{348104,03 \quad \text{lb/jam}}{62,158 \quad \text{lb/ft}^3} \\
 &= 5600,312 \quad \text{ft}^3/\text{jam} \\
 &= 1,556 \quad \text{ft}^3/\text{detik} \\
 &= 698,266 \quad \text{gpm}
 \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 4000$), maka :

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496}) \\
 &= 3,9 \times 1,556^{0,45} \times 62,158^{0,13} \\
 &= 8,13914 \quad \text{in} \\
 &= 10 \quad \text{in}
 \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 10 in sch 40 (Brownell, page.389)

Sehingga diperoleh:

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= 10,8 \quad \text{in} = 0,89583 \quad \text{ft} \\
 \text{ID} &= 10 \quad \text{in} = 0,83499 \quad \text{ft} \\
 \text{A} &= 11,9 \quad \text{ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{1,556}{11,91} \\
 &= 0,13062 \quad \text{ft/detik} \\
 &= 470,219 \quad \text{ft/jam}
 \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{8,13914 \times 0,13062 \times 62,158}{0,000538} \\
 &= 122826,2194
 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 2100$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen flow

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial Steel*

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= 4,6 \times 10^{-5} \quad \text{m} = 0,00015 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88}) \\
 \underline{\varepsilon} &= \underline{0,0001509} = 0,00002
 \end{aligned}$$

$$D = \frac{8,1391}{12}$$

$$f = 0,004$$

(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)

D. Menentukan panjang pipa

Asumsi

$$\text{Panjang pipa} = 200 \text{ ft}$$

$$\text{Elbow } 90^\circ = 2 \text{ buah}$$

$$\text{Le/D} = 35$$

$$\text{Le} = 35 \times \text{ID}$$

$$= 58,4495 \text{ m}$$

$$= 191,761 \text{ ft}$$

$$\text{Gate valve} = 2 \text{ buah}$$

$$\text{Le/D} = 9$$

$$\text{Le} = 9 \times \text{ID}$$

$$= 15,0299 \text{ m}$$

$$= 49,31 \text{ ft}$$

$$\text{Globe Valve} = 1 \text{ buah}$$

$$\text{Le/D} = 300$$

$$\text{Le} = 300 \times \text{ID}$$

$$= 250,498 \text{ m}$$

$$= 821,834 \text{ ft}$$

$$\text{Panjang pipa total} = \text{Pipa lurus} + \text{Elbow } 90^\circ + \text{Gate valve} + \text{Globe Valve}$$

$$= 200 + 191,761162 + 49,310013 + 821,83355$$

$$= 1262,9 \text{ ft}$$

$$= 15155 \text{ in}$$

Menentukan Friction Loss

a. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c}$$

$$= 0,02 \times \frac{1262,9}{0,83499} \times \frac{0,02}{64,3}$$

$$= 0,0064 \text{ lbt.ft/lbm}$$

b. Kontraksi pada tangki

$$h_c = K_c \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c}$$

$$= 0,55 \times \frac{0,02}{64,3}$$

$$= 0,00015 \text{ lbt.ft/lbm}$$

c. Elbow 90°, 2 buah

$$K_f = 0,75 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$\begin{aligned} hf &= 2Kf \times \frac{v^2}{2.gc} \\ &= 1,5 \times \frac{0,02}{64,3} \\ &= 0,0004 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

d. Gate valve wide open, 2 buah

$$Kf = 0,17 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$\begin{aligned} hf &= 2Kf \times \frac{v^2}{2.gc} \\ &= 0,34 \times \frac{0,02}{64,3} \\ &= 0,0001 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

e. Sudden expansion

$$\begin{aligned} hex &= \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \times \frac{v^2}{2.a. gc} \\ &= 1 \times \frac{0,01706}{64,348} \\ &= 0,0003 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

f. Globe valve, 1 buah

$$Kf = 6 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$\begin{aligned} hf &= 1Kf \times \frac{v^2}{2.gc} \\ &= 6 \times \frac{0,01706}{64,348} \\ &= 0,0016 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Total friksi } (\Sigma F) &= Ff + hc + \Sigma hf + hex \\ &= 6E-03 + 1E-04 + 2E-03 + 3E-04 \\ &= 0,00891 \text{ lbf.ft/jam} \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\Delta Z = 40 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0 \text{ lb/ft}^2 \text{ (Karena } P_1=P_2)$$

$$v_1 = 0 \text{ ft/s (Fluida diam dalam tangki)}$$

$$v_2 = 0,13 \text{ ft/s}$$

$$\alpha = 1 \text{ (Aliran turbulen)}$$

Sehingga Mechanical Energy Balance:

$$\frac{V_2^2}{2.a.gc} - \frac{V_1^2}{2.a.gc} + \frac{\Delta Z}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

(Geankoplis, Pers.2-7.28 Hal 64)

$$\frac{0,02}{2} \times \frac{0}{1} \times \frac{0}{32,2} + 40 \frac{32,17}{32,17} + 0 + 0,00891 = - W_s$$

$$- W_s = 40,0092$$

$$W_s = -40,0092 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Dari Fig.14.37 Hal.520, Petters &Timmerhause, didapatkan:

$$\text{Efisiensi pompa } (\eta) = 90\%$$

$$- W_s = \eta W_p$$

$$40,009 = 90\% \times W_p$$

$$W_p = 44,4546 \text{ lbf.ft/lbm}$$

$$\text{Pump horsepower} = \frac{W_p \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{44,4546 \times 1,556 \times 62,158}{550}$$

$$= 7,8156 \text{ Hp}$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{Pump HP}}{\eta \text{ pompa}} = \frac{7,8156}{90\%} = 8,68 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 87\% = 0,87 \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521})$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}}$$

$$= \frac{8,684}{0,87}$$

$$= 9,98158 \text{ Hp} \approx 10 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : 10 Hp
- Bahan : *Commercial Steel*
- Jumlah : 1 buah

8. Deaerator (D-224)

Fungsi = Untuk menghilangkan gas dalam air umpan boiler

Tipe = Silinder Horizontal

Dasar perencanaan:

$$\text{Rate aliran} = 1276,9712 \text{ kg/jam}$$

$$= 2815,7216 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas} = 1 \text{ g/cm}^3$$

$$= 62,158 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Viskositas} = 0,000538 \text{ lb/ft.detik}$$

$$= 1,9368 \text{ lb/ft.jam}$$

$$\begin{aligned} \text{A. Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{2815,7216}{62,157971} \\ &= 45,2994 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 1,28875 \text{ m}^3/\text{detik} \\ \text{Waktu tinggal} &= 1 \text{ jam} \\ \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{Waktu tinggal} \\ &= 1,28875 \times 1 \\ &= 1,28875 \text{ m}^3 \\ \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ Volume bak} \\ \text{Volume tangki} &= \frac{1,2887}{80\%} \\ &= 1,61093 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Menentukan dimensi tangki

$$\text{Volume tangki} = 1/4 \pi \text{Di}^2 \text{Ls}$$

$$\text{Diasumsikan, L} = 1.5\text{Di}$$

Sehingga:

$$\text{Volume tangki} = 1/4 \pi \text{Di}^2 \text{Ls}$$

$$1,6109333 \text{ ft}^3 = 1/4 \times 3.14 \times (\text{Di})^2 \times 1.5\text{Di}$$

$$1,6109333 \text{ ft}^3 = 1,1775 \text{ Di}^3$$

$$\text{Di}^3 = 1,3681 \text{ ft}^3$$

$$\text{Di} = 1,11013$$

Jadi, tinggi tangki adalah

$$\text{Ls} = 1.5 \times 4.28368$$

$$= 1,665188781 \text{ ft}$$

Menentukan tinggi tutup (h)

$$h = 0.196\text{Di}$$

$$= 0.196 \times 4.28368$$

$$= 0,21758 \text{ ft}$$

$$\text{Sehingga, total tinggi tangki ad:} = \text{Ls} + 2(\text{h})$$

$$= 2,1003581 \text{ ft}$$

Spesifikasi Alat:

$$\text{Bentuk} = \text{Silinder Horizontal}$$

$$\text{Tinggi} = 2,100 \text{ ft}$$

$$\text{Di} = 1,11013 \text{ ft}$$

Bahan = Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316
 Jumlah = 1 buah

9. Bak Air Umpan Boiler (F-218)

Fungsi : Menampung air umpan boiler untuk didistribusikan ke Boiler

Dasar Perencanaan :

- rate aliran = 1276,97 kg/jam
= 2815,21 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{2815,21 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 45,291228 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 1,283 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{Waktu tinggal} &= 3 \text{ jam} \\ \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 1,28 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\ &= 3,84754 \text{ m}^3 \\ \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak} \\ \text{Volume bak} &= \frac{3,848 \text{ m}^3}{80\%} \\ &= 4,809 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengn ratio :

$$\begin{aligned} \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 5 \text{ x } 3 \text{ x } 2 \\ \text{Volume Bak} &= 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 30 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 30 \text{ x}^3 \\ 4,8094189 \text{ m}^3 &= 30 \text{ x}^3 \\ \text{x} &= 0,543 \text{ m} \end{aligned}$$

Dimensi bak air lunak :

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 5 \text{ x } 0,54324 \text{ m} = 2,71619 \approx 3 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 3 \text{ x } 0,54324 \text{ m} = 1,62972 \approx 2 \text{ m} \\ \text{Tinggi} &= 2 \text{ x } 0,54324 \text{ m} = 1,08648 \approx 1 \text{ m} \end{aligned}$$

Spesifikasi Bak Air Umpan Boiler

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 3 m
- Lebar : 2 m
- Tinggi : 1 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 Buah

10. Pompa Air Umpan Boiler ke Boiler (L-219)

Fungsi : Memompakan air umpan menuju Boiler

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar Perencanaan :

- rate aliran = 1276,97 kg/jam
= 2815,21 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,93680 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{2815,21}{62,158} \text{ lb/jam} \\
 &= 45,291228 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,013 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 5,647 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 2100$), maka :

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496}) \\
 &= 3,9 \times 0,013^{0,45} \times 62,158^{0,13} \\
 &= 0,9313 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 1 in sch 40 (Kern, Table 11 hal 844)

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 1,32 \text{ in} = 0,11 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 1,049 \text{ in} = 0,08742 \text{ ft}$$

$$A = 0,02326 \text{ ft}^2$$

$$\text{Laju aliran fluida (V)} = \frac{Q}{A}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{0,013}{0,02326} \\
 &= 0,54079 \quad \text{ft/detik} \\
 &= 1946,85 \quad \text{ft/jam}
 \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,11 \times 0,54079 \times 62,158}{0,000538} \\
 &= 6872,8488
 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 2100$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah Commercial Steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,00015 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0001509}{0,1100} = 0,00137$$

$$f = 0,0062 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

Menentukan panjang pipa

Asumsi

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang pipa} &= 100 \quad \text{ft} \\
 \text{Elbow } 90^\circ &= 2 \quad \text{buah} \\
 \text{Le/D} &= 35 \\
 \text{Le} &= 35 \times \text{ID} \\
 &= 6,11917 \text{ m} \\
 &= 20,0758 \text{ ft} \\
 \text{Gate valve} &= 1 \quad \text{buah} \\
 \text{Le/D} &= 9 \\
 \text{Le} &= 9 \times \text{ID} \\
 &= 0,78675 \text{ m} \\
 &= 2,58117 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang pipa total} &= \text{Pipa lurus} + \text{Elbow } 90^\circ + \text{Gate valve} \\
 &= 100 + 20,075762 + 2,5811694 \\
 &= 122,657 \text{ ft} \\
 &= 1471,9 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan panjang pipa

a. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c}$$

$$= 0,02 \times \frac{122,657}{0,08742} \times \frac{0,29}{64,3}$$

$$= 0,1582 \text{ lbt.ft/lbm}$$

b. Kontraksi pada tangki

$$h_c = K_c \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c}$$

$$= 0,55 \times \frac{0,29246}{64,348}$$

$$= 0,00250 \text{ lbt.ft/lbm}$$

c. Elbow 90°, 2 buah

$$K_f = 0,75 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$h_f = 2K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c}$$

$$= 1,5 \times \frac{0,29246}{64,348}$$

$$= 0,0068 \text{ lbt.ft/lbm}$$

d. Gate valve wide open, 1 buah

$$K_f = 0,17 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$h_f = 2K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c}$$

$$= 0,34 \times \frac{0,29246}{64,348}$$

$$= 0,0015 \text{ lbt.ft/lbm}$$

e. Sudden expansion

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \times \frac{v^2}{2 \cdot a \cdot g_c}$$

$$= 1 \times \frac{0,29}{64,3}$$

$$= 0,0045 \text{ lbt.ft/lbm}$$

Sehingga:

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + h_c + \Sigma h_f + h_{ex}$$

$$= 2E-01 + 2E-03 + 8E-03 + 5E-03$$

$$= 0,17356 \text{ lbf.ft/jam}$$

Menentukan Kestimbangan Mekanik

Direncanakan:

$$\Delta Z = 30 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0 \text{ lb/ft}^2 \text{ (Karena } P_1 = P_2)$$

$$v_1 = 0 \text{ ft/s (Fluida diam dalam tangki)}$$

$$v_2 = 0,54 \text{ ft/s}$$

$$\alpha = 1 \text{ (Aliran turbulen)}$$

Sehingga Mechanical Energy Balance:

$$\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2 \cdot a \cdot gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{0,29}{64,348} + 30 \frac{32,174}{32,174} + \frac{0}{62,158} + 0,17 + W_s = 0$$

$$4,5E-03 + 30 + 0 + 0,17 + W_s = 0$$

$$3,02E+01 + W_s = 0$$

$$W_s = -30,18 \text{ lbt.ft/lbm}$$

Dari figure 14.37, Halaman 520 Petters & Timmerhouse didapatkan:

$$\text{Efisiensi pompa } (\eta) = 0,90$$

$$W_s = -\eta W_p$$

$$-30,18 = -0,90 W_p$$

$$W_p = 33,53 \text{ lbt.ft/lbm}$$

$$\begin{aligned} \text{Pump horsepower} &= W_p \times Q \times \rho \\ &= 33,53 \times 0,01 \times 62,158 \\ &= 26,22 \text{ lbf. Ft/s} \\ &= 0,05 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{BHP} &= \frac{\text{Pump HP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,05}{0,45} \end{aligned}$$

$$= 0,11 \text{ Hp}$$

$$\begin{aligned} \text{h motor} &= 80\% \\ &= 0,80 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,11}{80\%} \\ &= 0,13 \text{ Hp} \quad \gg 1 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : 1 Hp
- Bahan : *Commercial Steel*
- Jumlah : 1 buah

11. Bak Air Pendingin (F-216)

Fungsi = Untuk menampung air pendingin untuk didistribusikan ke peralatan

Dasar perencanaan:

$$\text{Rate aliran} = 1276,97 \text{ kg/jam} = 2815,7216 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Densitas} = 62,158 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Rate Volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{2815,7216}{62,158} \\ &= 45,2994 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 1,28875 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 12 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{Waktu tinggal} \\ &= 1,288746664 \times 12 \\ &= 15,46495997 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume liquid} = 80\% \text{ Volume bak}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= \frac{15,465}{80\%} \\ &= 19,3312 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang

$$\text{Panjang} : \text{Lebar} : \text{Tinggi} = 5 \times 3 \times 2$$

$$\text{Volume bak} = \# \text{ m}^3$$

Sehingga

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 30 x^3 \\ 19,3312 &= 30 x^3 \\ x^3 &= 0,64 \text{ m}^3 \\ x &= 0,86 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, dimensi bak sedimentasi adalah:

$$\text{Panjang} = 5 \times 0,86 = 4 = 4 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 3 \times 0,86 = 3 = 3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times 0,86 = 2 = 2 \text{ m}$$

Spesifikasi Alat:

Bentuk = Persegi panjang

Panjang = 4 m

Lebar = 3 m

Tinggi = 2 m

Bahan = Beton bertulang

Jumlah = 1 buah

12. Pompa Air Pendingin (L-217)

Fungsi = Untuk memompa air pendingin menuju ke peralatan

Tipe = Pompa Sentrifugal

Dasar perencanaan:

- rate aliran	=	1276,97	kg/jam
	=	2815,21	lb/jam
- densitas (ρ) air	=	62,158	lb/ft ³
- viskositas (μ)	=	0,000538	lb/ft.detik
	=	1,93680	lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{2815,21}{62,158} \text{ lb/jam} \\ &= 45,291228 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,013 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 5,647 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 2100$), maka :

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496}) \\ &= 3,9 \times 0,013^{0,45} \times 62,158^{0,13} \\ &= 0,9313 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 1 in sch 40 (Kern, Table 11 hal 844)

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 1,32 \text{ in} = 0,11 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 1,049 \text{ in} = 0,08742 \text{ ft}$$

$$A = 0,02326 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0,013}{0,02326} \\ &= 0,54079 \text{ ft/detik} \\ &= 1946,85 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= 0,11 \times 0,54079 \times 62,158 \end{aligned}$$

$$= \frac{0,000538}{6872,8488}$$

Karena $N_{Re} > 2100$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah Commercial Steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,00015 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0001509}{0,1100} = 0,00137$$

$$f = 0,0125 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

Menentukan panjang pipa

Asumsi:

$$\text{Panjang pipa} = 100 \text{ ft}$$

$$\text{Elbow } 90^\circ = 1 \text{ buah}$$

$$Le/D = 35$$

$$\begin{aligned} Le &= 35 \times ID \\ &= 3,05958 \text{ m} \\ &= 10,0379 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\text{Gate valve} = 1 \text{ buah}$$

$$Le/D = 9$$

$$\begin{aligned} Le &= 9 \times ID \\ &= 0,78675 \text{ m} \\ &= 2,58117 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang pipa total} &= \text{Pipa lurus} + \text{Elbow } 90^\circ + \text{Gate valve} \\ &= 100 + 10,037881 + 2,5811694 \\ &= 112,619 \text{ ft} \\ &= 1351,44 \text{ in} \end{aligned}$$

Menentukan Friction Loss

a. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot gc} \\ &= 0,05 \times \frac{112,619}{0,08742} \times \frac{0,29246}{64,348} \\ &= 0,2928 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

b. Kontraksi pada tangki

$$\begin{aligned} h_c &= K_c \times \frac{v^2}{2 \cdot gc} \\ &= 0,55 \times \frac{0,29}{64,348} \end{aligned}$$

$$0,0025 \times \frac{v^2}{64,3}$$

$$= 0,00250 \text{ lbt.ft/lbm}$$

c. Elbow 90°, 1 buah

$$K_f = 0,75 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$h_f = 1K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot gc}$$

$$= 0,75 \times \frac{0,29}{64,3}$$

$$= 0,0034 \text{ lbt.ft/lbm}$$

d. Gate valve wide open, 1 buah

$$K_f = 0,17 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$h_f = 1K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot gc}$$

$$= 0,17 \times \frac{0,29}{64,3}$$

$$= 0,0008 \text{ lbt.ft/lbm}$$

e. Sudden Expansion

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \times \frac{v^2}{2 \cdot a \cdot gc}$$

$$= 1 \times \frac{0,29}{64,3}$$

$$= 0,0045 \text{ lbt.ft/lbm}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Total friksi } (\Sigma F) &= F_f + h_c + \Sigma h_f + h_{ex} \\ &= 3E-01 + 2E-03 + 4E-03 + 5E-03 \\ &= 0,30399 \text{ lbf.ft/jam} \end{aligned}$$

Menentukan Kesetimbangan Mekanik

Direncanakan:

$$\Delta Z = 30 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0 \text{ lb/ft}^2 \text{ (Karena } P_1 = P_2)$$

$$v_1 = 0 \text{ ft/s (Fluida diam dalam tangki)}$$

$$v_2 = 0,29 \text{ ft/s}$$

$$\alpha = 1 \text{ (Aliran turbulen)}$$

Sehingga Mechanical Energy Balance:

$$\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2 \cdot a \cdot gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{0,09}{64,348} + 30 \frac{32,174}{32,174} + \frac{0}{62,158} + 0,30 + W_s = 0$$

$$1,3E-03 + 30 + 0 + 0,3 + W_s = 0$$

$$3,03E+01 + W_s = 0$$

$$W_s = -30,31 \text{ lbt.ft/lbm}$$

Dari figure 14.37, Halaman 520 Petters & Timmerhouse didapatkan:

Efisiensi pompa (η) = 0,90

$$W_s = - \eta W_p$$

$$-30,31 = - 0,90 W_p$$

$$W_p = 33,67 \text{ lbt.ft/lbm}$$

$$\begin{aligned} \text{Pump horsepower} &= W_p \times Q \times \rho \\ &= 33,67 \times 0,01 \times 62,158 \\ &= 26,33 \text{ lbf. Ft/s} \\ &= 0,05 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{Pump HP}}{\eta \text{ motor}}$$

$$= \frac{0,05}{0,45}$$

$$= 0,11 \text{ Hp}$$

$$h \text{ motor} = 84\%$$

$$= 0,84$$

$$\text{Daya motor} = \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}}$$

$$= \frac{0,11}{84\%}$$

$$= 0,13 \text{ Hp} \quad \gg 1 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : 1 Hp
- Bahan : *Commersial Steel*
- Jumlah : 1 buah

13. Cooling Tower (P-220)

Fungs= Mendinginkan air yang akan digunakan untuk peralatan

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 1276,97 kg/jam
= 2815,21 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{2815,21 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 1,76836 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 &= 793,748 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

$$\text{- Suhu wet bulb udara} = 25 \text{ }^\circ\text{C} = 77 \text{ F}$$

$$\text{- Suhu air masuk tower} = 60 \text{ }^\circ\text{C} = 140 \text{ F}$$

$$\text{- Suhu air pendingin} = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 86 \text{ F}$$

Dari Perry's 7th ed, fig 12-14, hal. 12-16, didapatkan konsentrasi 3.0 gal/m.ft²

Sehingga luas yang dibutuhkan adalah:

$$A = \frac{793,748}{3}$$

$$= 264,583 \text{ ft}^2$$

Menghitung diameter:

$$\text{Luas} = \pi/4 \times d^2$$

$$264,583 = 3.14/4 \times d^2$$

$$264,583 = 0.7850 \times d^2$$

$$d^2 = 337,0478$$

$$d = 18,358862 \text{ ft}$$

Menghitung volume:

Direncanakan tinggi tower = 3d

$$\text{Maka, L} = 3 \times 18,3589$$

$$= 55,076585 \text{ ft}$$

$$\text{Volume} = (\pi/4) \times d^2 \times L$$

$$= 0,785 \times 337,048 \times 55,076585$$

$$= 14572,302 \text{ ft}^3$$

Dari Perry's 7th ed, fig 12-15, hal. 12-17, didapatkan:

Standar Power Performance adalah 90%, maka:

$$\frac{\text{Hp fan}}{\text{Luas area tower (ft}^2\text{)}} = 0,035 \text{ Hp/ft}^2$$

Sehingga,

$$\text{Hp fan} = 0,035 \times 264,583$$

$$= 9,2603882 \text{ Hp} \gg 10 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Alat:

Tipe = Induced Draft Tower

Diameter = 18,3589 ft

Tinggi = 55,0766 ft
 Daya = 10 Hp
 Jumlah = 1 buah

14. Bak Klorinasi (F-221)

Fungsi = Sebagai tempat air bersih dan disinfektan bercampur sebelum digunakan sebagai air sanitasi

Dasar perencanaan:

- rate aliran = 1860,93 kg/jam
 = 4102,60 lb/jam
 - densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³

Perhitungan :

Rate volumetrik (Q) = $\frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}}$
 = $\frac{4102,60 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3}$
 = 66,0028 ft³/jam
 = 1,87775 m³/detik
 = 29625,996 gpm

Waktu tinggal = 12 jam
 Volume air = Rate volumetrik x Waktu tinggal
 = 1,88 x 12
 = 22,53294607 m³
 Volume liquid = 80% Volume bak
 Volume bak = $\frac{22,5329}{80\%}$
 = 28,1662 m³

Bak berbentuk persegi panjang

Panjang : Lebar : Tinggi = 5 x 3 x 2

Volume bak = 30 m³

Sehingga

Volume bak = 30 x³

28,166183 = 30 x³

x³ = 0,94 m³

x = 0,98 m

Jadi, dimensi bak sedimentasi adalah:

Panjang = 5 x 0,98 = 4,9 = 5 m

Lebar = 3 x 0,98 = 2,94 = 3 m

$$\text{Tinggi} = 2 \times 0,98 = 1,96 = 2 \text{ m}$$

Perhitungan kebutuhan Gas Klorin

Klorin tidak hanya diperuntukkan sebagai disinfektan untuk membunuh kuman, akan tetapi dapat digunakan juga sebagai oksidan dan pengontrol warna dan bau dari air.

$$A = \frac{B \times C}{1000000}$$

Keterangan :

A = Jumlah residu klorin yang diberikan (kg/hari)

B = Dosis residu klorin yang dikehendaki (ppm)

C = Jumlah air yang diklorinasi per hari (liter)

$$\begin{aligned} A &= \frac{1 \times 44856}{1000000} \\ &= 0,044856 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Spesifikasi Alat:

Bentuk = Persegi panjang

Panjang = 5 m

Lebar = 3 m

Tinggi = 2 m

Bahan = Beton bertulang

Jumlah = 1 buah

15. Pompa Klorinasi (L-222)

Fungsi = Untuk memompa air dari bak klorinasi ke bak air sanitasi

Tipe = Pompa Sentrifugal

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 1860,93 kg/jam
- = 4102,60 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik
- = 1,93680 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{4102,60}{62,158} \text{ lb/jam} \\ &= 66,002755 \text{ ft}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$= 0,018 \quad \text{ft}^3/\text{detik}$$

$$= 8,229 \quad \text{gpm}$$

Diasumsikan aliran turbulen ($N_{Re} > 2100$), maka :

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhaus, hal. 496})$$

$$= 3,9 \times 0,018^{0,45} \times 62,158^{0,13}$$

$$= 1,10328 \text{ in}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 1 \text{ in sch 40} \quad (\text{Kern, Table 11 hal 844})$$

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 1,32 \text{ in} = 0,11 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 1,049 \text{ in} = 0,08742 \text{ ft}$$

$$A = 0,02326 \text{ ft}^2$$

$$\text{Laju aliran fluida (V)} = \frac{Q}{A}$$

$$= \frac{0,018}{0,02326}$$

$$= 0,78809 \text{ ft/detik}$$

$$= 2837,14 \text{ ft/jam}$$

Cek jenis aliran fluida :

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

$$= \frac{0,08742 \times 0,78809 \times 62,158}{0,000538}$$

$$= 7959,5097$$

Karena $N_{Re} > 2100$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah Commercial Steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,00015 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0001509}{0,0874} = 0,00173$$

$$f = 0,0125 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

Menentukan panjang pipa

Asumsi:

$$\text{Panjang pipa} = 100 \text{ ft}$$

$$\text{Elbow } 90^\circ = 1 \text{ buah}$$

$$\text{Le/D} = 35$$

$$\text{Le} = 35 \times \text{ID}$$

$$= 3,05958 \text{ m}$$

$$= 10,0379 \text{ ft}$$

$$\text{Gate valve} = 1 \text{ buah}$$

$$\text{Le/D} = 9$$

$$\begin{aligned} \text{Le} &= 9 \times \text{ID} \\ &= 0,78675 \text{ m} \\ &= 2,58117 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Panjang pipa total} &= \text{Pipa lurus} + \text{Elbow } 90^\circ + \text{Gate valve} \\ &= 100 + 10,037881 + 2,5811694 \\ &= 112,619 \text{ ft} \\ &= 1351,44 \text{ in} \end{aligned}$$

Menentukan Friction Loss

a. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 0,05 \times \frac{112,619}{0,08742} \times \frac{0,62109}{64,348} \\ &= 0,6217 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

b. Kontraksi pada tangki

$$\begin{aligned} h_c &= K_c \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 0,55 \times \frac{0,62}{64,3} \\ &= 0,00531 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

c. Elbow 90° , 1 buah

$$K_f = 0,75 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$\begin{aligned} h_f &= 1K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 0,75 \times \frac{0,62}{64,3} \\ &= 0,0072 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

d. Gate valve wide open, 1 buah

$$K_f = 0,17 \text{ (Geankoplis, tabel 2.10-2, p. 99)}$$

$$\begin{aligned} h_f &= 1K_f \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 0,17 \times \frac{0,62}{64,3} \\ &= 0,0016 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

e. Sudden Expansion

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2} \right)^2 \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c}$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \cdot a \cdot g_c} \right) \cdot \rho \cdot A_2 \\ &= 1 \times \frac{0,62}{64,3} \\ &= 0,0097 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Total friksi } (\Sigma F) &= F_f + h_c + \Sigma h_f + h_{ex} \\ &= 6E-01 + 5E-03 + 9E-03 + 1E-02 \\ &= 0,64558 \text{ lbf.ft/jam} \end{aligned}$$

Menentukan Kesetimbangan Mekanik

Direncanakan:

$$\begin{aligned} \Delta Z &= 30 \text{ ft} \\ \Delta P &= 0 \text{ lb/ft}^2 \text{ (Karena } P_1=P_2) \\ v_1 &= 0 \text{ ft/s (Fluida diam dalam tangki)} \\ v_2 &= 0,79 \text{ ft/s} \\ \alpha &= 1 \text{ (Aliran turbulen)} \end{aligned}$$

Sehingga Mechanical Energy Balance:

$$\begin{aligned} \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2 \cdot a \cdot g_c} + \Delta Z \frac{g}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s &= 0 \\ \frac{0,62}{64,348} + 30 \frac{32,174}{32,174} + \frac{0}{62,158} + 0,65 + W_s &= 0 \\ 9,7E-03 + 30 + 0 + 0,65 + W_s &= 0 \\ 3,07E+01 + W_s &= 0 \\ W_s &= -30,66 \text{ lbt.ft/lbm} \end{aligned}$$

Dari figure 14.37, Halaman 520 Petters & Timmerhouse didapatkan:

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi pompa } (\eta) &= 0,90 \\ W_s &= -\eta W_p \\ -30,66 &= -0,90 W_p \\ W_p &= 34,06 \text{ lbt.ft/lbm} \\ \text{Pump horsepower} &= W_p \times Q \times \rho \\ &= 34,06 \times 0,02 \times 62,158 \\ &= 38,82 \text{ lbf. Ft/s} \\ &= 0,07 \text{ Hp} \\ \text{BHP} &= \frac{\text{Pump HP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,07}{0,45} \\ &= 0,16 \text{ Hp} \\ \text{h motor} &= 84\% \\ &= 0,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\
 &= \frac{0,16}{84\%} \\
 &= 0,19 \text{ Hp} \quad \gg 1 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : 1 Hp
- Bahan : *Commercial Steel*
- Jumlah : 1 buah

16. Bak Air Sanitasi (F-223)

Fungsi = Untuk menampung air sanitasi

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 1860,93 kg/jam
= 4102,60 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{4102,60 \text{ lb/jam}}{62,158 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 66,002755 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 1,87775 \text{ m}^3/\text{detik} \\
 &= 0,018 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 8,229 \text{ gpm} \\
 \text{Waktu tinggal} &= 12 \text{ jam} \\
 \text{Volume air} &= \text{Rate volumetrik} \times \text{Waktu tinggal} \\
 &= 1,877745506 \times 12 \\
 &= 22,53294607 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ Volume bak} \\
 \text{Volume bak} &= \frac{22,5329}{80\%} \\
 &= 28,1662 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang

Panjang : Lebar : Tingg = 5 x 3 x 2

$$\text{Volume bak} = \# \text{ m}^3$$

Sehingga

$$\text{Volume bak} = 30 x^3$$

$$28,166183 = 30 x^3$$

$$x^3 = 0,94 \text{ m}^3$$

$$x = 0,98 \text{ m}$$

Jadi, dimensi bak sedimentasi adalah:

$$\text{Panjang} = 5 \times 0,98 = 4,9 = 5 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 3 \times 0,98 = 2,94 = 3 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times 0,98 = 1,96 = 2 \text{ m}$$

Spesifikasi Alat:

Bentuk = Persegi panjang

Panjang = 5 m

Lebar = 3 m

Tinggi = 2 m

Bahan = Beton bertulang

Jumlah = 1 buah

D.2. Unit Penyediaan Tenaga Listrik

Kebutuhan energi listrik pada pra rencana pabrik karbon tetraklorida direncanakan disediakan oleh PLN (Persero) dan Generator set. Tenaga listrik yang digunakan untuk menggerakkan motor, penerangan, instrumentasi, dan lainnya.

Perincian kebutuhan listrik terbagi menjadi:

- a. Peralatan proses produksi
- b. Daerah pengolahan air
- c. Listrik untuk penerangan

D.2.1. Peralatan Proses Produksi

Pemakaian listrik untuk alat-alat yang terdapat dalam proses produksi ditunjukkan pada tabel D.2.1

Tabel D.2.1 Peralatan Proses Produksi

No.	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Daya
1	L-113	Pompa Karbon Disulfida	1	1
2	L-134a	Pompa Karbon Tetraklorida	1	1
3	L-134b	Pompa Produk Bawah	1	1
4	L-134c	Pompa By-Product	1	1
5	L-134d	Pompa Produk Utama ke Storage	1	1
7	L-134e	Pompa Produk Utama	1	1
TOTAL			6	6

D.2.2. Peralatan Proses Utilitas

Pemakaian listrik untuk alat-alat yang terdapat dalam proses produksi ditunjukkan pada tabel D.2.2

No.	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Daya
1	L-211	Pompa Air Kawasan	1	8
2	L-213	Pompa Air Bersih	1	8
3	L-215	Pompa Air Lunak	1	10
4	L-217	Pompa Air Pendingin	1	1
5	L-219	Pompa Umpan Boiler	1	1
7	P-220	Cooling Water Tower	1	10
8	L-222	Pompa Air Sanitasi	1	1
TOTAL			7	38

Jadi, kebutuhan total untuk motor penggerak sebesar :

$$= 6 + 38 \text{ Hp} = 44 \text{ Hp}$$

$$= 44 \text{ Hp} \times 0,7457 \text{ kWh/Hp} = 33,175 \text{ kWh}$$

D.2.3. Peralatan Proses Utilitas

Pemakaian listrik untuk penerangan dapat diperoleh dengan mengetahui luas bangunan dan areal lahan yang dipergunakan, dengan menggunakan rumus :

$$L = \frac{A \times F}{U \times D} \quad (\text{Pers. 8-3 Kusnarjo, hal. 113})$$

L = lumen outlet (jumlah total cahaya yg terpancar pada suatu sumber)

F = foot candle

U = koefisien utilitas = 0,8

D = efisiensi penerangan rata-rata = 0,75

A = luas daerah

Tabel D.2.3. Pemakaian Listrik Untuk Penerangan

No	Lokasi	Luas		F	Lumen
		m ²	ft ²		
1	Pos Keamanan	40	430,556	10	7175,93
2	Parkir Karyawan	100	1076,39	5	8969,92
3	Parkir Tamu	150	1614,59	5	13454,9
4	Taman	254	2734,03	25	113918
5	Toilet	172	1851,39	10	30856,5
6	Kantor Divisi Teknik	120	1291,67	5	10763,9
7	Kantor Divisi Utilitas dan Produksi	120	1291,67	20	43055,6
8	Kantor Administrasi dan HRM	120	1291,67	5	10763,9
9	Kantor Div Marketing dan Keuangan	120	1291,67	10	21527,8

10	Kantor Direktur Utama	120	1291,67	5	10763,9
11	Mushola	375	4036,46	5	33637,2
12	Laboratorium	300	3229,17	5	26909,8
13	Generator	350	3767,37	5	31394,7
14	Poliklinik	351	3778,13	20	125938
15	Kantin	325	3498,27	10	58304,5
16	Gudang Karbon Disulfida	400	4305,56	10	71759,3
17	Gudang Klorin	400	4305,56	10	71759,3
18	Bengkel	350	3767,37	10	62789,4
19	Area Produksi	7125	76692,8	10	1278213
20	Ruang Control	180	1937,5	10	32291,7
21	Gudang Produk Karbon Tetraklorid	500	5381,95	5	44849,6
22	Gudang Bahan Bakar	260	2798,61	30	139931
23	Industrial Safety	260	2798,61	5	23321,8
24	Timbangan Truk	260	2798,61	10	46643,6
25	Area Utilitas	1040	11194,5	5	93287,1
26	Perpustakaan	350	3767,37	5	31394,7
27	Area Perluasan Pabrik	14000	150695	10	2511577
28	Aula	350	3767,37	5	31394,7
29	Jalan	11250	121094	8	1614585
JUMLAH		39742	427779	278	6601231

Penerangan seluruh area kecuali jalan dan taman, menggunakan Fluorescent Lamp type day light 40 watt, yang mempunyai lumen output sebesar 1960 lumen

$$\text{Lumen output} = \frac{1960 \text{ lumen}}{40 \text{ watt}} = 49 \text{ lumen/watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Total lumen} &= \text{jumlah lumen} - (\text{lumen jalan} + \text{lumen taman}) \\ &= 6601230,77 - 1614585 + 113917,94 \\ &= 4872727,83 \text{ lumen} \end{aligned}$$

$$\text{Tenaga listrik yang dibutuhkan} = \frac{4872727,8308 \text{ lumen}}{49 \text{ lumen/watt}}$$

$$= 99443,42512 \text{ watt}$$

$$\text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} = \frac{99443,42512 \text{ watt}}{40 \text{ watt}}$$

$$= 2486,0856 \approx 2486 \text{ buah}$$

Untuk penerangan jalan dan taman, menggunakan Mercury Vapor Light 100 watt dengan lumen output sebesar 3000 lumen.

$$\text{Lumen output} = \frac{3000 \text{ lumen}}{100 \text{ watt}} = 30 \text{ lumen/watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Total lumen} &= \text{lumen jalan} + \text{lumen taman} \\ &= 1614585,00 + 113917,9417 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 1728502,94 \quad \text{lumen} \\
 \text{Tenaga listrik yang dibutuhkan} &= \frac{1728502,942 \quad \text{lumen}}{30 \quad \text{lumen/watt}} \\
 &= 57616,8 \quad \text{watt} \\
 \text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} &= \frac{57616,8 \quad \text{watt}}{100 \quad \text{watt}} \\
 &= 576,168 \approx 576 \quad \text{buah}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan :

$$\begin{aligned}
 - \text{Lampu Fluorescent} &= 99443,42512 \\
 - \text{Lampu Mercury} &= 57616,7647 \\
 - \text{Peralatan bengkel} &= 2000 \\
 - \text{Peralatan laboratorium} &= 1500 \\
 - \text{Keperluan lain-lain} &= \underline{1250} + \\
 \text{Total} &= 161810,1898 \quad \text{Watt} = 161,81
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total kebutuhan listrik} &= \text{Listrik untuk penerangan} + \text{Listrik untuk proses} \\
 &= [161,81 + 33,18] \text{ kWh} \\
 &= 194,9852 \text{ kWh}
 \end{aligned}$$

Generator digunakan sebagai emergensi jika *supply* listrik mati.

$$\text{Power faktor untuk generator} = 0,8$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{Power yang dibangkitkan} &= \frac{194,9852 \text{ kW}}{0,8} \\
 \text{oleh generator} &= 243,7315 \text{ kW} \approx 244 \text{ kW} \\
 &= 244 \text{ kV.A}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Generator

Tipe	: AC Generator 3 Phase
Kapasitas	: 243,7 kV.A, 380/220 Volt
Frekuensi	: 50/60 Hz
Jumlah	: 2 buah

D.3. Unit Penyediaan Bahan Bakar

Kebutuhan bahan bakar Generator

$$\begin{aligned}
 \text{Tenaga Generator} &= 243,731 \text{ kW} \\
 &= 19959586,2236 \text{ Btu/hari}
 \end{aligned}$$

Bahan bakar yang digunakan adalah Diesell Oil,

$$\begin{aligned}
 - \text{Heating Value (H}_v\text{)} &= 19200 \text{ Btu/lb} \\
 - \text{Densitas (}\rho\text{)} &= 55 \text{ lb/ft}^3 = 880,98671 \text{ kg/m}^3 \\
 - \text{Efisiensi (}\eta\text{)} &= 80\% \quad (\text{Perry's ed 7 hal 27-10})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar} &= \frac{19959586,2236 \text{ Btu/hari}}{19200 \text{ Btu/lb} \times 80\% \times 55 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 23,626404 \text{ ft}^3/\text{hari} \\ &= 669,029 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan total bahan bakar per hari, sebesar :
 $= 669,0289 \text{ L/hari}$

Tangki bahan bakar untuk boiler dan generator

Fungsi : Untuk menyimpan bahan bakar yang akan digunakan

Dasar perencanaan :

- Volume bahan bakar $= 669,0289 \text{ L/hari} = 23,626 \text{ ft}^3/\text{hari}$
- $P = 14,7 \text{ psi}$ dan $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$
- Waktu penyimpanan 7 hari
- Volume bahan bakar dianggap menempati 80% volume tangki
- Direncanakan menggunakan 1 buah tangki

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan bakar} &= 23,6264 \text{ ft}^3/\text{hari} \times 7 \text{ hari} \\ &= 165,3848 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Karena menggunakan 1 buah tangki, maka :

$$V \text{ bahan bakar tiap tangki} = \frac{165,38 \text{ ft}^3}{1} = 165,38 \text{ ft}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{165,38 \text{ ft}^3}{80\%} \\ &= 206,73 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Menghitung diameter tangki

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

Dianggap $H = 1,5 D$, maka :

$$\begin{aligned} 206,731 \text{ ft}^3 &= 0,7850 D^2 \times 1,5 D \\ D^3 &= 175,57 \text{ ft}^3 \\ D &= 5,5995 \text{ ft} = 67,194 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tinggi tangki

$$\begin{aligned} H &= 1,5 D \\ &= 1,5 \times 67,194 \text{ in} = 100,791 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tebal tangki

Bahan : HAS SA 240 Grade A Type 410

- allowable (f) $= 16250 \text{ psi}$ (Brownel & Young, hal. 342)
- faktor korosi (C) $= 1/16 \text{ in}$
- tipe pengelasan $= \text{Double welded butt joint} (E = 0,8)$

(Brownel & Young, hal. 254)

$$\begin{aligned}
 ts &= \frac{P_i \times D}{2 (f \times E - 0,6 Pi)} + C \\
 &= \frac{14,7 \times 67,1938}{2 (16250 \times 0,8 - 0,6 \times 14,7)} + \frac{1}{16} \\
 &= (0,03802 \times (16 / 16)) + (1 / 16) \\
 &= 1,60826 / 16 \approx 4/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Standarisasi : } do &= di + 2 ts \\
 &= 67,1938 + 2 (1/4) \\
 &= 67,6938
 \end{aligned}$$

Dengan pendekatan ke atas maka didapatkan harga $do = 240 \text{ in}$

(Brownel & Young, tabel 5.7 hal. 89-91)

Maka, harga di baru :

$$\begin{aligned}
 di &= do - 2 ts \\
 &= 240 - 2 (4/16) \\
 &= 239,5000 \text{ in} = 19,9583 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal tutup atas (standar dished)

$$\begin{aligned}
 tha &= \frac{0,885 \times P_i \times D}{(f \times E - 0,1 Pi)} + C \\
 &= \frac{0,885 \times 14,7 \times 239,50}{(16250 \times 0,8 - 0,1 \times 14,7)} + \frac{1}{16} \\
 &= (0,2397 \times (16 / 16)) + (1 / 16) \\
 &= 4,83523 / 16 \approx 5/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal tutup bawah (conical), dengan $\alpha = 60^\circ$

$$\begin{aligned}
 thb &= \frac{P_i \times D}{2 (f \times E - 0,6 Pi) \cos 60^\circ} + C \\
 &= \frac{14,7 \times 239,50}{2 (16250 \times 0,8 - 0,6 \times 14,7) 1} + \frac{1}{16} \\
 &= (0,271 \times (16 / 16)) + (1 / 16) \\
 &= 5,33605 / 16 \approx 5/16 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Tangki Bahan Bakar

Bahan konstruksi	: HAS SA 240 Grade A Type 410		
Dimensi	: Di = 239,50 in	ts =	1/4 in
	H = 100,79 in	tha =	5/16 in
		thb =	5/16 in
Jumlah	: 1		