

APPENDIKS D PERHITUNGAN UTILITAS

Unit utilitas pada suatu pabrik adalah salah satu bagian yang sangat penting untuk menunjang jalannya proses produksi dalam suatu industri kimia, sehingga kapasitas produksi semaksimal mungkin dapat dicapai. Unit utilitas yang diperlukan pada Pra Rencana Pabrik Pentaeritritol meliputi:

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

Dari kebutuhan unit utilitas yang diperlukan, maka utilitas tersebut dibagi menjadi 4 unit, yaitu:

1. Unit penyediaan steam
2. Unit penyediaan air
3. Unit penyediaan tenaga listrik
4. Unit penyediaan bahan bakar

A. Unit Penyediaan Steam

Pada Pra Rencana Pabrik Pentaeritritol ini, digunakan jenis Fire Tube Boiler sehingga didapatkan:

- Tekanan rendah ($P < 100 \text{ atm}$)
- Suhu rendah ($T < 210^\circ\text{C}$)
- Luas perpipaian kecil
- Steam yang dihasilkan adalah saturated steam

a. Untuk Kebutuhan Panas

Tabel D.1. Kebutuhan Steam

No.	Nama Peralatan	Kode Alat	Kebutuhan Steam kg/jam
1	Heater HCOH	E-113	494,7919666
2	Heater CH ₃ CHO	E-119	491,8412054
3	Heater NaOH	E-116	457,0867
4	Heater HCOOH	E-124	174,7843
5	Evaporator	V-130A	14395,8968
6	Heater Udara	E-126	14,2155
7	Netralizer	R-120	67329,5792
Total			83358,1956

Untuk design dan faktor keamanan direncanakan banyaknya steam yang di supply adalah 20% excess dari jumlah kebutuhan steam.

APP D-2

$$\begin{aligned} \text{Maka, steam yang disediakan boiler} &= 1,2 \times \text{kebutuhan steam} \\ &= 1,2 \times 83358,1956 \\ &= 100029,8347 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Make up untuk kebutuhan steam direncanakan 20% , maka:

$$\begin{aligned} \text{Make up steam} &= 1,2 \times 100029,8347 \\ &= 120035,8016 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Jadi, jumlah steam yang harus dihasilkan oleh boiler adalah:

$$\begin{aligned} \text{Massa steam (m}_s) &= 120035,8016 \text{ kg/jam} \\ &= 264630,9282 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Direncanakan steam yang digunakan adalah saturated steam pada kondisi:

$$\text{Temperatur} = 130 \text{ }^\circ\text{C} = 266 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\text{Tekanan} = 2,7 \text{ atm} = 39,6789 \text{ psi}$$

$$\text{Air umpan boiler masuk pada suhu } 30 \text{ }^\circ\text{C} = 86 \text{ }^\circ\text{F}$$

Dari persamaan 172 Savern W. H. hal. 140 didapatkan:

$$\text{Boiler Horse Power} = \frac{m_s \times (h - h_f)}{970,3 \times 34,5}$$

Dimana:

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

h = entalpi steam pada perencanaan dan T tertentu

h_f = entalpi liquid 1 lb feet air pada kondisi 970,3 dan 34,5 adalah konstanta penyesuaian pada penguapan 1 lb air/jam dari 86 °F dan tekanan 14,7 psia yang memerlukan entalpi 970,3 Btu/lb

Dari App A.2-9 Geankoplis, hal. 858 - 859 didapatkan:

$$H_{86^\circ\text{F}} = 54 \text{ Btu/lbm}$$

Dari tabel C-3 hal. 629 Van Ness didapatkan:

$$H_{266^\circ\text{F}} = 155,68 \text{ Btu/lbm}$$

$$\begin{aligned} \text{Boiler Horse Power} &= \frac{264630,9282 \times (155,68 - 54,00)}{970,3 \times 34,5} \\ &= 803,8056 \text{ Hp} \\ &= 804 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Dari persamaan 171 Savern W. H hal. 140 didapatkan:

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Boiler} &= \frac{m_s \times (h - h_f)}{1000} \\ &= \frac{264630,928 \times (155,68 - 54)}{1000} \end{aligned}$$

$$= 26907,6728 \text{ lb/jam}$$

Dari persamaan 173 Savern W. H hal 140 didapatkan:

$$\begin{aligned} \text{Faktor Evaporasi} &= \frac{(h - h_f)}{970,3} = \frac{(155,68 - 54)}{970,3} \\ &= 0,1048 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah air yang dibutuhkan} &= \text{faktor evaporasi} \times \text{rate steam} \\ &= 0,1048 \times 264630,928 \\ &= 27731,2922 \text{ lb/jam} \\ &= 12578,8316 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

b. Kebutuhan Bahan Bakar Boiler

Digunakan fuel oil 33 °API sebagai bahan bakar dengan Heating Value (H_v):

$$H_v = 130700 \text{ Btu/lb} \quad (\text{Perry's ed.8 fig. 27-3 hal. 27-10})$$

Sehingga kebutuhan bahan bakar boiler (M_f):

$$\text{Bahan bakar boiler} = \frac{m_s \times (h - h_f)}{\text{efisiensi} \times H_v}$$

diperkirakan efisiensi boiler sebesar 80% maka:

$$\begin{aligned} \text{Bahan bakar boiler} &= \frac{264630,9282 \times (155,68 - 54)}{0,80 \times 130700} \\ &= 257,3419 \text{ lb/jam} \\ &= 116,7295 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Maka jumlah perpindahan panas boiler dan jumlah tube:

- Heating value surface = 10 ft²/Hp boiler
- Direncanakan panjang tube standard = 16 ft
- Ukuran pipa yang digunakan (NPS) = 2 in
- Luas permukaan linier feed = 0,6220 ft²/ft

(Kern, tabel 11, hal. 844)

Area yang diperlukan untuk transfer panas:

$$\begin{aligned} \text{Heating surface boiler} &= H_v \text{ surface} \times \text{Hp boiler} \\ &= 10 \times 803,8056 \\ &= 8038,0557 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

Jumlah tube yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned} N_t &= \frac{A}{a_t \times L} = \frac{8038,0557}{0,6220 \times 16} \\ &= 807,6824 \\ &= 808 \text{ tube} \end{aligned}$$

Spesifikasi boiler

- Tipe : *Fire tube boiler*
- Kapasitas boiler : 26907,6728 lb/jam
- Rate steam : 264630,928 lb/jam
- Bahan bakar : Fuel oil 33 °API
- Efisiensi : 80%
- *Heating surface* : 8038,0557 ft²
- Jumlah tube : 808 tube
- Ukuran tube : 2 in
- Panjang tube : 16 ft
- Bahan konstruksi : *Carbon Steel*
- Jumlah boiler : 1 buah

Dari perhitungan di atas, diketahui bahwa jumlah air umpan yang dibutuhkan sebesar 27731,2922 lb/jam. Air umpan boiler disediakan excess 20% sebagai pengganti steam yang hilang, kebocoran akibat dari transmisi diperkirakan sebesar 5% , faktor keamanan 10% . Sehingga kebutuhan air umpan boiler sebesar:

- excess 20% = 1,2 x 27731,2922
= 33277,5506 lb/jam
- faktor kebocoran 5% = 0,05 x 27731,2922
= 1386,5646 lb/jam
- faktor keamanan 10% = 0,1 x 27731,2922
= 2773,1292 lb/jam

Jadi, total kebutuhan air umpan boiler adalah:

$$\begin{aligned}
 &= 33277,5506 + 1386,5646 + 2773,1292 \\
 &= 37437,2444 \text{ lb/jam} \\
 &= 16981,4227 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

B. Unit Penyediaan Air

Untuk memenuhi kebutuhan air pada pabrik, maka direncanakan diambil dari air kawasan sehingga pengolahan awal tidak diperlukan. Namun, air kawasan tersebut masih perlu diproses sebelum digunakan untuk keperluan air umpan boiler, air proses, air pendingin, dan air sanitasi sesuai dengan kebutuhan masing-masing.

B.1. Air Umpan Boiler

Air umpan boiler adalah air yang dibutuhkan untuk bahan baku steam yang berfungsi sebagai pemanas. Air umpan boiler disediakan 20% excess dari kebutuhan steam:

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan steam} &= 1,2 \times 83358,1956 \\ &= 100029,83 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Make up untuk kebutuhan steam direncanakan 20% , maka:

$$\begin{aligned}\text{Make up steam} &= 1,2 \times 100029,83 \\ &= 120035,8 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sehingga kebutuhan steam} &= 100029,83 + 120035,8 \\ &= 220065,64 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

B.2. Air Pendingin

Peralatan yang menggunakan air pendingin dapat dilihat pada tabel D.2.

Tabel D.2. Kebutuhan Air Pendingin Pada peralatan

No.	Nama Peralatan	Kode Alat	Jumlah (kg/jam)
1.	Barometric condensor	E-132	32122,6192
Total			32122,6192

Direncanakan banyaknya air pendingin yang disupply adalah excess 20% .

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan air pendingin} &= 1,2 \times 32122,619 \\ &= 38547,1431 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}\text{Make Up air pendingin} &= 1,2 \times 38547,14 \\ &= 46256,57 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Sehingga kebutuhan air pendingin} &= 38547,14 + 46256,57 \\ &= 84803,7 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

B.3. Air Sanitasi

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

a. Syarat Fisik

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

b. Syarat Kimia

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

- Tidak mengandung zat-zat kimia beracun
- c. Syarat Mikrobiologis
 - Tidak mengandung kuman maupun bakteri, terutama bakteri patogen yang dapat merubah sifat-sifat fisik air

Kebutuhan air sanitasi pada pra-rencana Pabrik Pentaeritritol antara lain sebagai berikut:

1. Untuk Kebutuhan Karyawan

Menurut standar WHO kebutuhan air untuk tiap orang	= 120 L/hari
Jumlah karyawan pada pabrik	= 226 orang
Jam kerja untuk setiap karyawan	= 8 jam/hari

Jadi, kebutuhan air karyawan per jam kerja adalah:

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

$$\text{Kebutuhan per jam} = 40 \frac{\text{L}}{\text{hari}} = 5 \frac{\text{L}}{\text{jam}}$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air untuk 226 karyawan} &= \frac{5 \text{ L/jam}}{\text{karyawan}} \times 226 \text{ karyawan} \\ &= 1130 \text{ L/jam} \end{aligned}$$

Jika densitas air = 0,9956 kg/L

$$\begin{aligned} \text{maka, kebutuhan air sanitasi untuk 226 karyawan} &= 1130 \times 0,9956 \\ &= 1125,0280 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

2. Untuk Kebutuhan Laboratorium dan Taman

Kebutuhan air untuk laboratorium dan taman direncanakan sebesar 40% dari kebutuhan karyawan, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air untuk laboratorium dan taman} &= 0,40 \times 1125,0280 \\ &= 450,0112 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

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

$$1125,0280 + 450,0112 = 1575,0392 \text{ kg/jam}$$

3. Untuk Pemadam Kebakaran dan Cadangan Air

Air sanitasi yang digunakan untuk pemadam kebakaran dan cadangan air direncanakan 40% dari kebutuhan air untuk karyawan, laboratorium, dan taman, sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan untuk pemadam dan cadangan air} &= 40\% \times 1575,0392 \\ &= 630,0157 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Jadi, kebutuhan total untuk air sanitasi adalah:

$$1575,0392 + 630,0157 = 2205,0549 \text{ kg/jam}$$

Jadi, jumlah kebutuhan air yang harus disupply dalam Pra Rencana Pabrik Pentaeritritol adalah:

Tabel D.4. Kebutuhan Total Air

No.	Keterangan	Jumlah (kg/jam)
1	Steam	120035,8016
2	Air Sanitasi	2205,0549
3	Air Pendingin	84803,7148
Total		207044,5713

Untuk memenuhi kebutuhan air, maka pada Pra Rencana Pabrik Pentaeritritol ini menggunakan air kawasan. Sebelum digunakan, air kawasan tersebut masih perlu diproses (*water treatment*) untuk memenuhi air umpan boiler, air pendingin, air proses, dan air sanitasi.

Peralatan yang digunakan pada bagian pengolahan air sebagai berikut:

1. Pompa Air Kawasan (L-211)

Fungsi : memompakan air kawasan ke bak penampungan air bersih
Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 207044,571 kg/jam
= 456450,462 lb/jam
- densitas (ρ) air = 0,9956 kg/L
= 62,1785 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,8007 cp
= 0,000538 lb/ft.detik

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{456450,462}{62,178463} \\ &= 7340,9737 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 2,0392 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 762,1505 \text{ gpm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} && (\text{Peter \& Timmerhauss, hal 496}) \\ \text{ID optimal} &= 3,9 \times (2,039)^{0,45} \times (62,1785)^{0,13} \\ &= 7,0435 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Standarisasi ID} &= 22 \text{ in sch 20} && (\text{Kern, tabel 11, hal. 844}) \\ \text{OD} &= 22,0000 \text{ in} = 1,8333 \text{ ft} \\ \text{ID} &= 21,2500 \text{ in} = 1,7708 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$A = 0,3474 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{2,039}{0,3474} \\ &= 5,870 \text{ ft/detik} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida:

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} = \frac{1,7708 \times 5,870 \times 62,1785}{0,000538} \\ &= 1201211,030 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *carbon steel*, sehingga didapatkan:

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,0001509 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0001509}{1,7708} = 0,0000852$$

$$f = 0,0035 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3, hal. 88})$$

Direncanakan:

$$\text{a. Panjang pipa lurus} = 150 \text{ ft} = 45,720 \text{ m}$$

$$\text{b. Elbow } 90^\circ = 3 \text{ buah}$$

$$\text{Le/D} = 35 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-1, hal. 93})$$

$$\begin{aligned} \text{L elbow} &= 35 \text{ ID} \\ &= 35 \times 3 \times 1,7708 \\ &= 185,938 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\text{c. Gate valve} = 2 \text{ buah (wide open)}$$

$$\text{Le/D} = 9 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-1, hal. 93})$$

$$\begin{aligned} \text{L elbow} &= 9 \text{ ID} \\ &= 9 \times 2 \times 1,7708 \\ &= 31,8750 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1, hal 93 didapatkan:

$$K_f = 2 \times 0,17 = 0,34$$

Jadi, total panjang pipa:

$$\begin{aligned} \Delta L &= 150 + 185,9375 + 31,8750 \\ &= 367,8125 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menentukan friction loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$Ff = \frac{4 \times f \times v^2 \times \Delta L}{\dots}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{4 \times 0,0035 \times 34 \times 367,8125}{2 \times 1 \times 32,174 \times 1,7708} \\
 &= 1,6 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

2. Kontraksi

$$\begin{aligned}
 K_c &= 0,55 \times (1 - (A_2 - A_1)) \\
 &\quad (A_2/A_1 = 0 \text{ karena nilai } A_1 \gg A_2) \\
 &= 0,55
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_c &= K_c \times \frac{v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\
 &= 0,55 \times \frac{34,4542}{2 \times 1 \times 32,174} \\
 &= 0,29 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

3. Ekspansi

$$\begin{aligned}
 K_{eks} &= (1 - (A_2 - A_1))^2 \\
 &= (1 - 0)^2 \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_{eks} &= \frac{K_{eks} \times v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\
 &= \frac{1 \times 34}{2 \times 1 \times 32,174} \\
 &= 0,54 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

4. Elbow 90° = 3 buah

$$\begin{aligned}
 K_f &= 0,75 \\
 h_f &= 3 \times \frac{K_f \times v^2}{2 \times g_c} \\
 &= 3 \times \frac{0,75 \times 34}{2 \times 32,174} \\
 &= 1,20 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

5. Gate valve = 1 buah

$$\begin{aligned}
 K_f &= 0,17 && \text{(Geankoplis, Tabel 2.10-1 hal. 93)} \\
 h_f &= 1 \times \frac{K_f \times v^2}{2 \times g_c} \\
 &= 1 \times \frac{0,17 \times 34}{2 \times 32,174} \\
 &= 0,091 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 \text{Total friksi } (\Sigma F) &= F_f + h_c + h_{eks} + h_f \\
 &= 1,6 + 0,29 + 0,54 + 1,3 \\
 &= 3,7 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa:

Dari Geankoplis, pers. 2.7-28, hal. 64 didapatkan:

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

Direncanakan:

$$\Delta Z = 80 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta V = 5,870 \text{ ft/detik}$$

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

Sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} -W_s &= \left(\frac{\Delta V^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{gc} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\ &= \left(\frac{5,8698^2}{2 \times 1 \times 32,174} \right) + \left(\frac{80}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,1785} \right) + 3,7 \\ &= 6,7046 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{6,7046 \times 2,039 \times 62,1785}{550} \\ &= 1,546 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas (Q) = 762,1505 gpm

η pompa = 75% (Peter & Timmerhauss, fig. 14-37, hal. 520)

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{1,546}{0,75} = 2 \text{ Hp}$$

η motor = 75% (Peter & Timmerhauss, fig. 14-38, hal. 521)

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{2}{0,75} \\ &= 3 \text{ Hp} = 4 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe = *Centrifugal Pump*
- Daya pompa = 4 Hp
- Bahan = *Carbon Steel*
- Jumlah = 1 buah

2. Bak Air Bersih (F-212)

Fungsi : Menampung air bersih untuk didistribusikan ke proses selanjutnya

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 207044,571 kg/jam
- = 456450,462 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1785 lb/ft³

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{456450,462}{62,1785} \\ &= 7340,974 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 207,8732 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{Waktu tinggal} &= 24 \text{ jam} \\ \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 207,8732 \times 24 \\ &= 4988,9580 \text{ m}^3 \\ \text{Volume air} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga:} \\ \text{Volume bak} &= \frac{4988,958 \text{ m}^3}{0,8} \\ &= 6236,197 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio:

$$\begin{aligned} \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 4 : 3 : 2 \\ \text{Volume bak} &= 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 24 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 24 \text{ x}^3 \\ 6236,197 &= 24 \text{ x}^3 \\ \text{x} &= 6,3812 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, dimensi bak air bersih:

- Panjang = 4 x 6,3812 = 25,5248 m = 26 m
- Lebar = 3 x 6,3812 = 19,1436 m = 19 m
- Tinggi = 2 x 6,3812 = 12,7624 m = 13 m

Spesifikasi Bak Air Bersih:

- Bentuk = Persegi Panjang

- Panjang = 26 m
- Lebar = 19 m
- Tinggi = 13 m
- Bahan = Beton Bertulang
- Jumlah = 1 buah

3. Pompa Centrifugal (L-213)

Fungsi : Mengalirkan air bersih ke dalam kation exchanger dan bak klorinasi

Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 207044,571 kg/jam
= 456450,462 lb/jam
- densitas (ρ) air = 0,9956 kg/L
= 62,1785 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,8007 cp
= 0,000538 lb/ft.detik

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{456450,462}{62,1785} \\ &= 7340,9737 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 2,0392 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 762,0909 \text{ gpm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} && (\text{Peter \& Timmerhauss, hal 496}) \\ \text{ID optimal} &= 3,9 \times (2,039)^{0,45} \times (62,1785)^{0,13} \\ &= 7,0435 \text{ in} \end{aligned}$$

Standarisasi ID = 22 in sch 20 (Kern, tabel 11, hal. 844)

$$\text{OD} = 22,0000 \text{ in} = 1,8333 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 21,2500 \text{ in} = 1,7708 \text{ ft}$$

$$A = 0,3474 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{2,039}{0,3474} \\ &= 5,870 \text{ ft/detik} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida:

$$N_{Re} = \frac{D \times V \times \rho}{\mu} = \frac{1,7708 \times 5,870 \times 62,1785}{0,000538} = 1201211,030$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *carbon steel*, sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} &= 0,0001509 \text{ ft} & \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)} \\ \frac{\varepsilon}{D} &= \frac{0,0001509}{1,7708} &= 0,0000852 \\ f & &= 0,0035 & \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3, hal. 88)} \end{aligned}$$

Direncanakan:

$$\begin{aligned} \text{a. Panjang pipa lurus} &= 120 \text{ ft} = 36,5760 \text{ m} \\ \text{b. Tee} &= 1 \text{ buah} \\ \text{Le/D} &= 50 & \text{(Geankoplis, tabel 2.10-1, hal. 93)} \\ \text{L tee} &= 50 \text{ ID} \\ &= 50 \times 1 \times 1,7708 \\ &= 88,5417 \text{ ft} \\ \text{c. Gate valve} &= 3 \text{ buah (wide open)} \\ \text{Le/D} &= 9 & \text{(Geankoplis, tabel 2.10-1, hal. 93)} \\ \text{L elbow} &= 9 \text{ ID} \\ &= 9 \times 3 \times 1,7708 \\ &= 47,8125 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1, hal 93 didapatkan:

$$K_f = 3 \times 0,17 = 0,51$$

Jadi, total panjang pipa:

$$\begin{aligned} \Delta L &= 120 + 88,5417 + 47,8125 \\ &= 256,3542 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menentukan friction loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned} F_f &= \frac{4 \times f \times v^2 \times \Delta L}{2 \times \alpha \times g_c \times D} \\ &= \frac{4 \times 0,0035 \times 34 \times 256,3542}{2 \times 1 \times 32,174 \times 1,7708} \\ &= 1,1 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

2. Kontraksi

$$\begin{aligned} K_c &= 0,55 \times (1 - (A_2/A_1)) \\ & \text{(} A_2/A_1 = 0 \text{ karena nilai } A_1 \gg A_2 \text{)} \\ &= 0,55 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 &= 0,55 \times \frac{34,4542}{2 \times 1 \times 32,174} \\
 &= 0,29 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

3. Ekspansi

$$\begin{aligned}
 K_{\text{eks}} &= (1 - (A_2 - A_1))^2 \\
 &= (1 - 0)^2 \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 h_{\text{eks}} &= \frac{K_{\text{eks}} \times v^2}{2 \times \alpha \times gc} \\
 &= \frac{1 \times 34}{2 \times 1 \times 32,174} \\
 &= 0,54 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

4. Tee = 1 buah

$$K_f = 1 \quad (\text{Geankoplis, Tabel 2.10-1 hal. 93})$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= 1 \frac{K_f \times v^2}{2 \times gc} \\
 &= 1 \frac{1 \times 34}{2 \times 32,174} \\
 &= 0,54 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

5. Gate valve = 3 buah

$$K_f = 0,17 \quad (\text{Geankoplis, Tabel 2.10-1 hal. 93})$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= 3 \frac{K_f \times v^2}{2 \times gc} \\
 &= 3 \frac{0,17 \times 34}{2 \times 32,174} \\
 &= 0,27 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 \text{Total friksi } (\Sigma F) &= F_f + h_c + h_{\text{eks}} + h_f \\
 &= 1,1 + 0,29 + 0,54 + 0,81 \\
 &= 2,7 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa:

Dari Geankoplis, pers. 2.7-28, hal. 64 didapatkan:

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

Direncanakan:

$$\Delta Z = 85 \text{ ft}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\begin{aligned}\Delta V &= 5,870 \text{ ft/detik} \\ \alpha &= 1 \text{ (aliran turbulen)}\end{aligned}$$

Sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}-W_s &= \left[\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \right] + \left[\frac{\Delta Z}{g_c} \right] + \left[\frac{\Delta P}{\rho} \right] + \Sigma F \\ &= \left[\frac{5,8698^2}{2 \times 1 \times 32,174} \right] + \left[\frac{85}{32,174} \right] + \left[\frac{0}{62,1785} \right] + 2,7 \\ &= 5,9009\end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned}W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{5,9009 \times 2,039 \times 62,1785}{550} \\ &= 1,360 \text{ Hp}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Untuk kapasitas (Q)} &= 762,0909 \text{ gpm} \\ \eta \text{ pompa} &= 75\% \quad (\text{Peter \& Timmerhauss, fig. 14-37, hal. 520})\end{aligned}$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{1}{0,75} = 2 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 75\% \quad (\text{Peter \& Timmerhauss, fig. 14-38, hal. 521})$$

$$\begin{aligned}\text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{2}{75\%} \\ &= 2 \text{ Hp} = 2 \text{ Hp}\end{aligned}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe = *Centrifugal Pump*
- Daya pompa = 2,42 Hp
- Bahan = *Carbon Steel*
- Jumlah = 1 buah

4. Kation Exchanger (D-214A)

Fungsi : Menghilangkan ion-ion positif yang dapat menyebabkan kesadahan air

Resin : H_2Z

dimana kapasitas tukar kation/anion total exchange capacity (TEC):

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

Asumsi kesadahan TDS

$$\text{Total kation/anion: } 150 \text{ mg/L} = 0,009368 \text{ lb/ft}^3$$

Bahan: *Carbon Steel SA 240 Grade M Tipe 316*

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 207044,571 kg/jam
- = 456450,462 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1785 lb/ft³

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{456450,462}{62,1785} \\ &= 7340,9737 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 2,0392 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 762,0909 \text{ gpm} \end{aligned}$$

Penentuan kapasitas resin

$$V_R = \frac{Q \cdot t \cdot \text{TDS} \cdot 15,45}{\text{TEC} \cdot 35,34 \cdot \eta} \quad (\text{Pure Water Care, 2014})$$

$$V_P = Q \cdot t$$

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

Volume kation

$$\begin{aligned} V_R &= \frac{7340,974 \times 1 \times 0,009368 \times 0,4372}{88,2 \times 0,90} \\ &= 0,3788 \text{ ft}^3 \\ &= 10,7255 \text{ L} \end{aligned}$$

Diambil volume resin $V_R = 10,726 \text{ L}$ (untuk lama waktu siklus 1 jam)

Sehingga untuk lama waktu siklus 1 tahun dibutuhkan resin sebanyak:

$$\begin{aligned} V_R &= 10,726 \text{ L} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\ &= 84946,14 \text{ L} \\ &= 84,9461 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan:

- Tangki berbentuk silinder
- Kecepatan air = 3 gpm/ft²
- Tinggi bed = 4 m
- Tinggi tangki = 1,5 diameter

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

$$= \frac{762,0909}{3}$$

$$= 254,0303 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Volume resin} &= \text{Luas} \times \text{Tinggi bed} \\ 84,9461 &= \text{Luas} \times 4 \\ \text{Luas} &= 21,24 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Diameter bed} &= \frac{A}{\pi/4} \\ &= \frac{21,2365}{3,14 \times 4} \\ &= 1,3003 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Direncanakan H/D} &= 1,5 \\ H &= 1,5 \times 1,3003 \\ H &= 1,9505 \text{ m} \end{aligned}$$

Spesifikasi Peralatan

- Bahan = *Carbon Steel* SA 240 Grade M Tipe 316
- Diameter = 1,3003 m
- Tinggi = 1,9505 m
- Jumlah = 1 buah

5. Anion Exchanger (D-214B)

Fungsi : Menghilangkan ion-ion negatif yang dapat menyebabkan kesadahan air

Resin : DOH

dimana kapasitas tukar kation/anion total exchange capacity (TEC):

$$\text{Anion} = 48,3 \text{ lb/ft}^3$$

Asumsi kesadahan TDS

$$\text{Total kation/anion: } 150 \text{ mg/L} = 0,009368 \text{ lb/ft}^3$$

Bahan: *Carbon Steel* SA 240 Grade M Tipe 316

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 207044,571 kg/jam
- = 456450,462 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1785 lb/ft³

Perhitungan:

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{\text{rate liquid}}$$

$$\begin{aligned}
 \text{rate volumetrik (Q)} &= \frac{\rho \text{ liquid}}{62,1785} \\
 &= \frac{456450,462}{62,1785} \\
 &= 7340,9737 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 2,0392 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 762,0909 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

Penentuan kapasitas resin

$$V_R = \frac{Q \cdot t \cdot \text{TDS} \cdot 15,45}{\text{TEC} \cdot 35,34 \cdot \eta} \quad (\text{Pure Water Care, 2014})$$

$$V_P = Q \cdot t$$

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

Volume anion

$$\begin{aligned}
 V_R &= \frac{7340,974 \times 1 \times 0,009368 \times 0,4372}{48,3 \times 0,90} \\
 &= 0,6917 \text{ ft}^3 \\
 &= 19,5857 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Diambil volume resin $V_R = 19,59 \text{ L}$ (untuk lama waktu siklus 1 jam)

Sehingga untuk lama waktu siklus 1 tahun dibutuhkan resin sebanyak:

$$\begin{aligned}
 V_R &= 19,59 \text{ L} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\
 &= 155119,0 \text{ L} \\
 &= 155,1190 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Direncanakan:

- Tangki berbentuk silinder
- Kecepatan air = 3 gpm/ft²
- Tinggi bed = 4 m
- Tinggi tangki = 1,5 diameter

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang tangki} &= \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{kecepatan air}} \\
 &= \frac{762,0909}{3} \\
 &= 254,0303 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume resin} &= \text{Luas} \times \text{Tinggi bed} \\
 155,1190 &= \text{Luas} \times 4 \\
 \text{Luas} &= 38,78 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\text{Diameter bed} = \frac{A}{\pi}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter bola} &= \frac{\pi/4}{\pi/4} \\
 &= \frac{38,7798}{3,14 \times 4} \\
 &= 1,7571 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Direncanakan H/D} &= 1,5 \\
 H &= 1,5 \times 1,7571 \\
 H &= 2,6357 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Peralatan

- Bahan = *Carbon Steel* SA 240 Grade M Tipe 316
- Diameter = 1,7571 m
- Tinggi = 2,6357 m
- Jumlah = 1 buah

6. Bak Air Lunak (F-215)

Fungsi : Menampung air bersih untuk didistribusikan ke proses selanjutnya

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 207044,571 kg/jam
= 456450,462 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1785 lb/ft³

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{456450,462}{62,1785} \\
 &= 7340,974 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 207,8732 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu tinggal} &= 12 \text{ jam} \\
 \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 207,8732 \times 12 \\
 &= 2494,4790 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume air} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga:} \\
 \text{Volume bak} &= \frac{2494,479 \text{ m}^3}{0,8} \\
 &= 3118,099 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio:

$$\begin{aligned} \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 4 : 3 : 2 \\ \text{Volume bak} &= 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 24 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 24 \text{ x}^3 \\ 3118,099 &= 24 \text{ x}^3 \\ \text{x} &= 5,0648 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, dimensi bak air bersih:

- Panjang = 4 x 5,0648 = 20,2591 m = 20 m
- Lebar = 3 x 5,0648 = 15,1943 m = 15 m
- Tinggi = 2 x 5,0648 = 10,1295 m = 10 m

Spesifikasi Bak Air Lunak:

- Bentuk = Persegi Panjang
- Panjang = 20 m
- Lebar = 15 m
- Tinggi = 10 m
- Bahan = Beton Bertulang
- Jumlah = 1 buah

7. Pompa Centrifugal (L-216)

Fungsi : Memompakan air dari bak air lunak untuk didistribusikan menuju peralatan proses, air pendingin, dan ke deaerator yang akan di treatment sebagai air umpan boiler

Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 207044,571 kg/jam
= 456450,462 lb/jam
- densitas (ρ) air = 0,9956 kg/L
= 62,1785 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,8007 cp
= 0,000538 lb/ft.detik

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{456450,462}{62,1785} \\ &= 7340,9737 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 2,0392 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 762,1505 \text{ gpm} \end{aligned}$$

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

$$ID \text{ optimal} = 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Peter \& Timmerhauss, hal 496})$$

$$\begin{aligned} ID \text{ optimal} &= 3,9 \times (2,039)^{0,45} \times (62,1785)^{0,13} \\ &= 7,0435 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 22 \text{ in sch 20} \quad (\text{Kern, tabel 11, hal. 844})$$

$$OD = 22,0000 \text{ in} = 1,8333 \text{ ft}$$

$$ID = 21,2500 \text{ in} = 1,7708 \text{ ft}$$

$$A = 0,3474 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{2,039}{0,3474} \\ &= 5,870 \text{ ft/detik} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida:

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} = \frac{1,7708 \times 5,870 \times 62,1785}{0,000538} \\ &= 1201211,030 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *carbon steel*, sehingga didapatkan:

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,0001509 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0001509}{1,7708} = 0,0000852$$

$$f = 0,0035 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3, hal. 88})$$

Direncanakan:

$$\text{a. Panjang pipa lurus} = 120 \text{ ft} = 36,576 \text{ m}$$

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

$$Le/D = 50 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-1, hal. 93})$$

$$L \text{ tee} = 50 \text{ ID}$$

$$= 50 \times 1 \times 1,7708$$

$$= 88,5417 \text{ ft}$$

$$\text{c. Gate valve} = 1 \text{ buah (wide open)}$$

$$Le/D = 9 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-1, hal. 93})$$

$$L \text{ elbow} = 9 \text{ ID}$$

$$= 9 \times 1 \times 1,7708 = 15,9375 \text{ ft}$$

Dari tabel 2.10.1, hal 93 didapatkan:

$$K_f = 1 \times 0,17 = 0,17$$

Jadi, total panjang pipa:

$$\begin{aligned}\Delta L &= 120 + 88,5417 + 15,9375 \\ &= 224,4792 \text{ ft}\end{aligned}$$

Menentukan friction loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}F_f &= \frac{4 \times f \times v^2 \times \Delta L}{2 \times \alpha \times g_c \times D} \\ &= \frac{4 \times 0,0035 \times 34 \times 224,4792}{2 \times 1 \times 32,174 \times 1,7708} \\ &= 1,0 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

2. Kontraksi

$$\begin{aligned}K_c &= 0,55 \times (1 - (A_2/A_1)) \\ &\quad (A_2/A_1 = 0 \text{ karena nilai } A_1 \gg A_2) \\ &= 0,55 \\ h_c &= K_c \times \frac{v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\ &= 0,55 \times \frac{34,4542}{2 \times 1 \times 32,174} \\ &= 0,29 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

3. Ekspansi

$$\begin{aligned}K_{eks} &= (1 - (A_2/A_1))^2 \\ &= (1 - 0)^2 \\ &= 1 \\ h_{eks} &= \frac{K_{eks} \times v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \\ &= \frac{1 \times 34}{2 \times 1 \times 32,174} \\ &= 0,54 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

4. Tee = 1 buah

$$K_f = 1 \quad (\text{Geankoplis, Tabel 2.10-1 hal. 93})$$

$$\begin{aligned}h_f &= 1 \times \frac{K_f \times v^2}{2 \times g_c} \\ &= 1 \times \frac{1 \times 34}{2 \times 32,174} \\ &= 0,54 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

5. Gate valve = 3 buah

$$K_f = 0,17 \quad (\text{Geankoplis, Tabel 2.10-1 hal. 93})$$

$$h_f = 3 \times \frac{K_f \times v^2}{2 \times g_c}$$

$$\begin{aligned}
 &= 3 \frac{0,17 \times 34}{2 \times 32,174} \\
 &= 0,27 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 \text{Total friksi } (\Sigma F) &= F_f + h_c + h_{\text{eks}} + h_f \\
 &= 1,0 + 0,29 + 0,54 + 0,81 \\
 &= 2,6 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa:

Dari Geankoplis, pers. 2.7-28, hal. 64 didapatkan:

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

Direncanakan:

$$\begin{aligned}
 \Delta Z &= 35 \text{ ft} \\
 \Delta P &= 0 \\
 \Delta V &= 5,870 \text{ ft/detik} \\
 \alpha &= 1 \text{ (aliran turbulen)}
 \end{aligned}$$

Sehingga didapatkan:

$$\begin{aligned}
 -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{g_c} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\
 &= \left(\frac{5,8698^2}{2 \times 1 \times 32,174} \right) + \left(\frac{35}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,1785} \right) + 2,6 \\
 &= 4,2119
 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned}
 W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\
 &= \frac{4,2119 \times 2,039 \times 62,1785}{550} \\
 &= 0,971 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

Untuk kapasitas (Q) = 762,1505 gpm

η pompa = 90% (Peter & Timmerhauss, fig. 14-37, hal. 520)

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{1}{0,90} = 1 \text{ Hp}$$

η motor = 91% (Peter & Timmerhauss, fig. 14-38, hal. 521)

$$\begin{aligned}
 \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\
 &= \frac{1}{91\%}
 \end{aligned}$$

$$= 1 \text{ Hp} = 1,186 \text{ Hp}$$

Spesifikasi Pompa

- Tipe = *Centrifugal Pump*
- Daya pompa = 1,186 Hp
- Bahan = *Carbon Steel*
- Jumlah = 1 buah

8. Deaerator (D-217)

Fungsi : Menghilangkan gas impurities dalam air umpan boiler dengan injeksi steam

Tipe : Silinder Horizontal

Dasar Perencanaan:

- rate aliran : 201596,8263 kg/jam
- : 444440,3633 lb/jam
- densitas (ρ) air : 62,1785 lb/ft³

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{444440,3633}{62,1785} \\ &= 7147,818 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 202,2833 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 1 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 202,2833 \times 1 \\ &= 202,3 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid 80% volume tangki, sehingga:

$$\text{Volume tangki} = \frac{202,283 \text{ m}^3}{0,80} = 252,854 \text{ m}^3$$

Menentukan dimensi tangki

$$\text{Volume tangki} = 1/4 \pi D_i^2 L_s$$

Diasumsikan:

$$L_s = 1,5 D_i, \text{ sehingga:}$$

$$252,8541 = 1/4 \times 3,14 \times (D_i)^2 \times 1,5 D_i$$

$$252,8541 = 1,1775 \text{ Di}^3$$

$$\text{Di} = 5,9883 \text{ m}$$

$$\text{Jadi, tinggi tangki (Ls)} = 1,5 \times 5,9883$$

$$= 8,9824 \text{ m}$$

Menentukan tinggi tutup (h):

$$h = 0,196 \text{ Di}$$

$$= 0,196 \times 5,9883$$

$$= 1,1737 \text{ m}$$

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

$$= 8,9824 + 2 (1,1737)$$

$$= 11,3298 \text{ m}$$

Spesifikasi Peralatan:

- Bentuk : *Silinder Horizontal*
- Dimensi : Tinggi = 8,9824 m
Di = 5,9883 m
- Bahan : *Carbon Steel SA 240 Grade M Tipe 316*
- Jumlah : 1 buah

9. BAK BOILER FEED WATER (F-218)

Fungsi : Sebagai tempat untuk menampung air bersih untuk air umpan boiler.

Dasar Perhitungan :

- Rate aliran = Jumlah (kg/jam) kg/jam
= 27731,2922 lb/jam
- Densitas air (ρ) = 62,1785 lb/ft³

Perhitungan :

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}}$$

$$= \frac{27731,2922}{62,1785}$$

$$= 445,9951 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 12,6217 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 6 \text{ jam}$$

$$\text{Volume tinggal} = \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal}$$

$$= 12,6217 \times 6$$

$$= 75,7300 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga :} \\
 \text{Volume bak} &= \frac{75,7300}{80\%} \\
 &= 94,6625 \text{ m}^3 \\
 &= 3342,9766 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 4 : 3 : 2 \\
 \text{Volume bak} &= 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\
 &= 24 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 24 x^3 \\
 94,6625 &= 24 x^3 \\
 x^3 &= 3,9443 \\
 x &= 1,5800 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi panjang bak boiler feed water :

$$\begin{aligned}
 - \text{ Panjang} &= 4 \times 1,5800 = 6,3200 \approx 6 \text{ m} \\
 - \text{ Lebar} &= 3 \times 1,5800 = 4,7400 \approx 5 \text{ m} \\
 - \text{ Tinggi} &= 2 \times 1,5800 = 3,1600 \approx 3 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat	: Bak Boiler Feed Water (F-218)
Fungsi	: Sebagai tempat untuk menampung air bersih untuk air umpan
Bentuk	: Persegi Panjang
Panjang	: 6 m
Lebar	: 5 m
Tinggi	: 3 m
Bahan	: Beton Bertulang
Jumlah	: 1 buah

10. POMPA SENTRIFUGAL (L-219)

Fungsi	: Mengalirkan air dari bak boiler feed water menuju ke boiler
Tipe	: <i>Centrifugal pump</i>

Dasar Perhitungan :

- Rate aliran	= 220065,6363 kg/jam
	= 485156,7018 lb/jam
- Densitas air (ρ)	= 0,9956 kg/L
	= 62,1785 lb/ft ³
- Viskositas (μ)	= 0,8007 cp
	= 0,000538 lb/ft detik

Perhitungan :

a. Menghitung rate volumetrik

$$Q = \frac{\text{rate aliran}}{\rho \text{ air}} = \frac{485156,702}{62,1785} = 7802,6486 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 2,1674 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

$$= 810,0190 \text{ gpm}$$

b. Menentukan dimensi pipa

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

(Peter and Timmerhauss, pers. 15, hal 496)

$$= 3,9 \times 2,1674^{0,45} \times 62,1785^{0,13}$$

$$= 9,4495 \text{ in}$$

$$\text{Standarisasi Di} = 8 \text{ in sch 80}$$

Sehingga : *(Kern, tabel 11, hal 844)*

$$\text{OD} = 8,6250 \text{ in} = 0,7188 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 7,6250 \text{ in} = 0,6354 \text{ ft}$$

$$A = 0,0141 \text{ ft}^2$$

c. Menghitung kecepatan aliran fluida

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{2,1674}{0,0141} = \text{#####} \text{ ft/detik}$$

$$N_{Re} = \frac{D v \rho}{\mu} = \frac{0,6354 \times \text{#####} \times 62,1785}{0,0005}$$

$$= 11255609,4051 \geq 2100 \text{ (aliran turbulen)}$$

$$\alpha = 1$$

d. Menghitung panjang pipa dan friction loss

Ditentukan bahan pipa adalah commercial steel, sehingga diperoleh :

$$\epsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,0002 \text{ ft} \quad \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3, hal. 88)}$$

$$\frac{\epsilon}{D} = \frac{0,0002}{0,6354} = 0,0002$$

$$f = 0,0100 \quad \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3, hal. 88)}$$

Panjang pipa :

Asumsi :

a. Panjang pipa lurus = 80 ft

b. Elbow 90° = 1 buah

$$Le/D = 35 \quad \text{(Geankoplis, tabel 2.10-1, hal 93)}$$

$$Le = 35 \times 1 \times 0,6354$$

$$= 22,2396 \text{ ft}$$

c. Gate valve = 1 buah (wide open)

$$Le/D = 9 \quad \text{(Geankoplis, tabel 2.10-1, hal 93)}$$

$$Le = 9 \times 1 \times 0,6354$$

$$= 5,7188 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang pipa (L)} &= \text{pipa lurus} + \text{elbow } 90^\circ + \text{gate valve} \\
 &= 80 + 22,2396 + 5,7188 \\
 &= 107,9583 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Friksion loss

- Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= 4f \frac{\Delta L}{D \alpha} \times \frac{v^2}{2g_c} && \text{(Geankoplis, pers 2.10-6, hal 89)} \\
 &= 4 \times 0,0100 \times \frac{107,9583}{0,6354 \times 1} \times \frac{153,2816}{2 \times 32,1740} \\
 &= 16,1887 \text{ lbf ft/lbm}
 \end{aligned}$$

- Sudden contraction

Tangki sangat besar, maka dianggap $A_1 = 0$

$$\begin{aligned}
 h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2 \times \alpha \times g_c} && \text{(Geankoplis, pers 2.10-16, hal 93)} \\
 &= 0,55 \times \left(1 - 0\right) \times \frac{\text{#####}^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \\
 &= 200,8204 \text{ lbf ft/lbm}
 \end{aligned}$$

- Sudden expansion

$$\begin{aligned}
 h_{ex} &= \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2 \times \alpha \times g_c} && \text{(Geankoplis, pers 2.10-15, hal 93)} \\
 &= \left(1 - 0\right) \times \frac{\text{#####}^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \\
 &= 365,128 \text{ lbf ft/lbm}
 \end{aligned}$$

- Elbow 90° , 1 buah

$$K_f = 0,75 \quad \text{(Geankoplis, tabel 2.10-2, hal 93)}$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= K_f \frac{v^2}{2g_c} && \text{(Geankoplis, tabel 2.10-2, hal 93)} \\
 &= 0,75 \times \frac{\text{#####}^2}{2 \times 32,1740} \\
 &= 273,8461 \text{ lbf ft/lbm}
 \end{aligned}$$

- Gate valve, 1 buah

$$K_f = 0,17$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= K_f \frac{v^2}{2g_c} \\
 &= 0,17 \times \frac{\text{#####}^2}{2 \times 32,1740} \\
 &= 62,0718 \text{ lbf ft/lbm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total friksi } (\Sigma F) &= F_f + h_c + h_{ex} + h_f \text{ elbow } 90^\circ + h_f \text{ gate valve} \\
 &= 16,19 + ##### + 365,1 + ##### + 62,07 \\
 &= 918,055 \text{ lbf ft/lbm}
 \end{aligned}$$

e. Menentukan daya pompa

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \Delta Z &= 30 \text{ ft} \\
 \Delta P &= 0 \text{ lb/ft}^2 \quad (\text{karena } P_1 = P_2) \\
 v_1 &= 0 \text{ ft/detik} \quad (\text{karena fluida diam}) \\
 v_2 &= 153,2816 \text{ ft/detik} \\
 \alpha &= 1
 \end{aligned}$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \alpha g_c} + \frac{g \Delta Z}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

(Geankoplis, tabel 2.7-28, hal 64)

$$\frac{#####^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{32,174 \times 30}{32,1740} + 0 + 918,055 = -W_s$$

$$W_s = -1313,2 \text{ lbf ft/lbm}$$

Dari Peter and Timmerhauss, fig. 14-37, hal 520, didapatkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi pompa } (\eta) &= 70\% \\
 W_s &= -\eta \times W_p \\
 -1313,1831 &= -70\% \times W_p \\
 W_p &= 1875,98 \text{ lbf ft/lbm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Mass flow rate (m)} &= Q \times \rho \\
 &= 7802,6486 \times 62,1785 \\
 &= 485156,7 \text{ lb/jam} \\
 &= 134,7658 \text{ lb/detik}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Pump horsepower} &= W_p \times m \times \frac{1}{550} \frac{\text{Hp}}{\text{ft.lbf/s}} \\
 &= 1875,98 \times ##### \times \frac{1}{550} \frac{\text{Hp}}{\text{ft.lbf/s}} \\
 &= ##### \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Broke horsepower} &= \frac{\text{pump horsepower}}{\eta} \\
 &= \frac{#####}{70\%} \\
 &= 656,668 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

Dari Peter and Timmerhauss fig 14.38 hal 521, didapatkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi motor} &= 80\% \\
 \text{Daya} &= \frac{\text{pump horse power}}{80\%}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Daya} &= \frac{\text{#####}}{\text{efisiensi motor}} \\
 &= \frac{\text{#####}}{80\%} \\
 &= 574,585 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat	: Pompa Sentrifugal (L-219)
Fungsi	: Mengalirkan air dari bak boiler feed water menuju ke boiler
Tipe	: Centrifugal pump
Bahan konstruksi	: Commercial steel
Kapasitas	: 810,019 gal/menit
Efisiensi pompa	: 70%
Efisiensi motor	: 80%
Daya	: 1 Hp
Dimensi pompa	: 1 1/2 in sch 40
	OD = 8,6250 in
	ID = 7,6250 in
	A = 0,0141 ft ²
Jumlah	: 1 buah

11. BOILER (Q-210)

(Lihat pada poin A. Unit Penyediaan Steam)

12. BAK AIR PENDINGIN (F-221)

Fungsi : Sebagai tempat penampung air pendingin sebelum masuk ke alat proses

Dasar Perencanaan :

- Rate aliran	= 2205,0549 kg/jam
	= 4861,2640 lb/jam
- Densitas air (ρ)	= 0,9956 kg/L
	= 62,1785 lb/ft ³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{4861,2640}{62,1785} \\
 &= 78,182 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 2,2126 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 6 \text{ jam}$$

$$\text{Volume tinggal} = \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal}$$

$$= 2,2126 \times 6$$

$$= 13,275 \text{ m}^3$$

Volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{13,275}{80\%}$$

$$= 16,594 \text{ m}^3$$

$$= 586,02 \text{ ft}^3$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio :

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

$$\text{Volume bak} = 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m}$$

$$= 30 \text{ m}^3$$

Sehingga :

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

$$16,594 = 30 \text{ x}^3$$

$$\text{x}^3 = 0,5531$$

$$\text{x} = 0,8209 \text{ m}$$

Jadi panjang bak pendingin :

- Panjang = $5 \times 0,8209 = 4,1044 \approx 22 \text{ m}$
- Lebar = $3 \times 0,8209 = 2,4626 \approx 2 \text{ m}$
- Tinggi = $2 \times 0,8209 = 1,6418 \approx 2 \text{ m}$

Spesifikasi alat :

Nama alat : Bak air pendingin (F-221)
 Fungsi : Sebagai tempat penampung air pendingin sebelum masuk ke alat proses
 Bentuk : Persegi Panjang
 Panjang : 22 m
 Lebar : 2 m
 Tinggi : 2 m
 Bahan : Beton Bertulang
 Jumlah : 1 buah

13. POMPA Air Pendingin (L-222)

Fungsi : Mengalirkan air pendingin dari bak air pendingin menuju ke alat proses
 Tipe : *Centrifugal pump*

Dasar Perhitungan :

- Rate aliran = 2205,0549 kg/jam
 = 4861,2640 lb/jam
- Densitas air (ρ) = 0,9956 kg/L

$$\begin{aligned}
 &= 62,1785 \text{ lb/ft}^3 \\
 - \text{ Viskositas } (\mu) &= 0,8007 \text{ cp} \\
 &= 0,000538 \text{ lb/ft detik}
 \end{aligned}$$

Perhitungan :

a. Menghitung rate volumetrik

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{\text{rate aliran}}{\rho \text{ air}} = \frac{4861,2640}{62,1785} = 78,182 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,0217 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 8,1164 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

b. Menentukan dimensi pipa

$$\begin{aligned}
 \text{Di optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\
 &= 3,9 \times 0,022^{0,45} \times 62,1785^{0,13} \quad (\text{Peter and Timmerhauss, pers. 15, hal 496}) \\
 &= 2,2627 \text{ in} \\
 \text{Standarisasi Di} &= 20 \text{ in sch 20}
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= 22,0000 \text{ in} = 1,8333 \text{ ft} \\
 \text{ID} &= 21,2500 \text{ in} = 1,7708 \text{ ft} \\
 \text{A} &= 0,3474 \text{ ft}^2 \quad (\text{Kern, tabel 11, hal. 844})
 \end{aligned}$$

c. Menghitung kecepatan aliran fluida

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,022}{0,3474} = 0,063 \text{ ft/detik}$$

$$\begin{aligned}
 N_{\text{Re}} &= \frac{D v \rho}{\mu} = \frac{1,7708 \times 0,063 \times 62,1785}{0,000538} \\
 &= 12793,0727 \geq 2100 \quad (\text{aliran turbulen}) \\
 \alpha &= 1
 \end{aligned}$$

d. Menghitung panjang pipa dan friction loss

Ditentukan bahan pipa adalah commercial steel, sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,0002 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3, hal. 88}) \\
 \frac{\varepsilon}{D} &= \frac{0,0002}{1,7708} = 0,0001 \\
 f &= 0,0100 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3, hal. 88})
 \end{aligned}$$

Panjang pipa :

Asumsi :

$$\begin{aligned}
 \text{a. Panjang pipa lurus} &= 125 \text{ ft} \\
 \text{b. Tee} &= 1 \text{ buah} \\
 \text{Le/D} &= 50 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-1, hal 93})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Le &= 50 \times 1 \times 1,7708 \\
 &= 88,5417 \text{ ft} \\
 \text{c. Elbow } 90^\circ &= 2 \text{ buah} \\
 Le/D &= 35 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-1, hal 93}) \\
 Le &= 35 \times 2 \times 1,7708 \\
 &= 123,9583 \text{ ft} \\
 \text{d. Gate valve} &= 1 \text{ buah (wide open)} \\
 Le/D &= 9 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-1, hal 93}) \\
 Le &= 9 \times 1 \times 1,7708 \\
 &= 15,9375 \text{ ft} \\
 \\
 \text{Panjang pipa (L)} &= \text{pipa lurus} + \text{tee} + \text{elbow } 90^\circ + \text{gate valve} \\
 &= 125 + 88,5417 + 123,958 + 15,9375 \\
 &= 353,4375 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Friksion loss

- Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= 4f \frac{\Delta L}{D \alpha} \times \frac{v^2}{2g_c} \quad (\text{Geankoplis, pers 2.10-6, hal 89}) \\
 &= 4 \times \left(0,0100 \right) \times \frac{353,4375}{1,7708 \times 1} \times \frac{0,0625}{2 \times 32,1740} \\
 &= 0,008 \text{ lbf ft/lbm}
 \end{aligned}$$

- Sudden contraction

Tangki sangat besar, maka dianggap $A_1 = 0$

$$\begin{aligned}
 h_c &= 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \times \frac{v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \quad (\text{Geankoplis, pers 2.10-16, hal 93}) \\
 &= 0,55 \times \left(1 - 0 \right) \times \frac{0,063^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \\
 &= 0,00 \text{ lbf ft/lbm}
 \end{aligned}$$

- Sudden expansion

$$\begin{aligned}
 h_{ex} &= \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \times \frac{v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \quad (\text{Geankoplis, pers 2.10-15, hal 93}) \\
 &= \left(1 - 0 \right) \times \frac{0,063^2}{2 \times 1 \times 32,1740} \\
 &= 0,00 \text{ lbf ft/lbm}
 \end{aligned}$$

- Tee, 1 buah

$$K_f = 1 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-2, hal 93})$$

$$h_s = K_f \frac{v^2}{2g_c}$$

$$h_f = K_f \frac{v^2}{2g_c} \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-2, hal 93})$$

$$= 1,0 \times \frac{0,063^2}{2 \times 32,1740}$$

$$= 0,00 \text{ lbf ft/lbm}$$

- Elbow 90°, 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-2, hal 93})$$

$$h_f = 2 K_f \frac{v^2}{2g_c} \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-2, hal 93})$$

$$= 2 \times 0,75 \times \frac{0,063^2}{2 \times 32,1740}$$

$$= 0,00 \text{ lbf ft/lbm}$$

- Gate valve, 1 buah

$$K_f = 0,2 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-2, hal 93})$$

$$h_f = K_f \frac{v^2}{2g_c} \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-2, hal 93})$$

$$= 0,2 \times \frac{0,063^2}{2 \times 32,1740}$$

$$= 0,000 \text{ lbf ft/lbm}$$

$$\begin{aligned} \text{Total friksi } (\Sigma F) &= F_f + h_c + h_{ex} + h_f \text{ tee} + h_f \text{ elbow } 90^\circ + h_f \text{ gate valve} \\ &= 0,0 + 0 + 0 + 0 + 0 + 0,0 \\ &= 0,0 \text{ lbf ft/lbm} \end{aligned}$$

e. Menentukan daya pompa

Direncanakan :

$$\Delta Z = 12 \text{ ft}$$

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

$$v_1 = 0 \text{ ft/detik} \quad (\text{karena fluida diam})$$

$$v_2 = 0,063 \text{ ft/detik}$$

$$\alpha = 1$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \alpha g_c} + \frac{g \Delta Z}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

(Geankoplis, tabel 2.7-28, hal 64)

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \alpha g_c} + \frac{g \Delta Z}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F = -W_s$$

$$\frac{0,063^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{32,174 \times 30}{32,1740} + 0 + 0,0 = -W_s$$

$$W_s = -12,008 \text{ lbf ft/lbm}$$

Dari Peter and Timmerhauss, fig. 14-37, hal 520, didapatkan :

$$\text{Efisiensi pompa } (\eta) = 88\%$$

$$W_s = -\eta \times W_p$$

$$-12,008 = -88\% \times W_p$$

$$W_p = 13,6455 \text{ lbf ft/lbm}$$

$$\begin{aligned} \text{Mass flow rate (m)} &= Q \times \rho \\ &= 78,182 \times 62,1785 \\ &= 4861,264 \text{ lb/jam} \\ &= 1,3504 \text{ lb/detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Pump horsepower} &= W_p \times m \times \frac{1 \text{ Hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}} \\ &= 13,6455 \times 1,4 \times \frac{1 \text{ Hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}} \\ &= 0 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Broke horsepower} &= \frac{\text{pump horsepower}}{\eta} \\ &= \frac{0}{88\%} = 0 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Dari Peter and Timmerhauss fig 14.38 hal 521, didapatkan :

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

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \frac{\text{pump horse power}}{\text{efisiensi motor}} \\ &= \frac{0}{84\%} \\ &= 0 \text{ Hp} \approx 0 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat	: Pompa Sentrifugal (L-222)
Fungsi	: Mengalirkan air pendingin dari bak air pendingin menuju ke alat proses
Tipe	: <i>Centrifugal pump</i>
Bahan konstruksi	: <i>Commercial steel</i>
Kapasitas	: 8,1164 gpm
Efisiensi pompa	: 88%
Efisiensi motor	: 84%
Daya	: 0 Hp
Dimensi pompa	: 6 in sch 40
	OD = 22,0000 in
	ID = 21,2500 in
	A = 0,3474 ft ²
Jumlah	: 1 buah

14. COOLING TOWER (P-224)

Fungsi : Menurunkan suhu air pendingin setelah keluar dari alat proses

Dasar Perhitungan :

- Rate aliran = 2205,0549 kg/jam
= 4861,263988 lb/jam
- Densitas air (ρ) = 0,9956 kg/L
= 62,1785 lb/ft³

Perhitungan :

$$Q = \frac{\text{rate aliran}}{\rho \text{ air}} = \frac{4861,2640}{62,1785} = 78,1824 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0217 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

$$= 9,7475 \text{ gal/menit}$$

- Suhu wet bulb udara = 25 °C = 77 °F
- Suhu air masuk tower = 70 °C = 158 °F
- Suhu air pendingin = 27 °C = 80,6 °F

Digunakan Counter Flow Included-draft Tower

Dari Perry's 7thed, fig. 12-14, hal. 12-16, didapatkan konsentrasi air 3,00 gal/m ft². Sehingga luas yang dibutuhkan :

$$A = \frac{9,7475}{3,00} = 3,2491681 \text{ ft}^2$$

Menghitung diameter :

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

$$3,2491681 = \frac{3,14}{4} d^2$$

$$d^2 = 4,1391$$

$$d = 2,0345 \text{ ft}$$

Menghitung volume :

Direncanakan tinggi tower (L) = 3 d

Maka,

$$L = 3 \times 2,0345$$

$$= 6,1034 \text{ ft}$$

$$\text{Volume} = \frac{\pi}{4} d^2 L$$

$$= \frac{3,14}{4} \times 2,0345^2 \times 6,1034$$

$$= 19,8310036 \text{ ft}^3$$

Dari Perry's 7th ed, fig. 12-15, hal. 12-17, didapatkan standart power performance adalah 90%, maka :

$$\begin{aligned} \frac{\text{Hp fan}}{\text{Luas tower area}} &= 0,025 \text{ Hp/ft}^2 \\ \text{Hp fan} &= 0,025 \times 3,2492 \\ \text{Hp fan} &= 0,081 \text{ Hp} \approx 0 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat	: Cooling tower (P-220)
Fungsi	: Menurunkan suhu air pendingin setelah keluar dari alat proses
Tipe	: Included Draft Tower
Diameter	: 2,0345 ft
Tinggi	: 6,1034 ft
Daya	: 0 Hp
Jumlah	: 1 buah

16. BAK KLORINASI (F-230)

Fungsi : Menampung air yang akan dinetralkan dengan reaksi klorinasi

Dasar Perhitungan :

- Rate aliran	= 120035,8016 kg/jam
	= 264630,9282 lb/jam
- Densitas air (ρ)	= 0,9956 kg/L
	= 62,1785 lb/ft ³

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{264630,9282}{62,1785} \\ &= 4255,9902 \text{ ft}^3/\text{jam} = 120,4445 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan Cl₂

Klorin (Cl₂) digunakan sebagai desinfektan untuk membunuh kuman dan juga sebagai oksidan dan kontrol warna dan bau dari air. Klorin yang digunakan dengan dosis penggunaan 0,5-1 mg/L.

Volume air sanitasi	= 120,4445 m ³ /jam
	= ##### L/jam
Cl ₂ yang dibutuhkan	= 1 mg/L × #####
	= ##### mg/jam
	= 0,1204 kg/jam
Kebutuhan Cl ₂ untuk 1 hari	= 0,1204 × 24 jam

$$= 2,8907 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu tinggal} &= 12 \text{ jam} \\ \text{Volume tinggal} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 120,4445 \times 12 \\ &= 1445,3343 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga :} \\ \text{Volume bak} &= \frac{1445,3343}{80\%} \\ &= 1806,6678 \text{ m}^3 \\ &= 63801,9321 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio :

$$\begin{aligned} \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 4 : 3 : 2 \\ \text{Volume bak} &= 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 24 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 24 \text{ x}^3 \\ 1806,6678 &= 24 \text{ x}^3 \\ \text{x}^3 &= 75,2778 \\ \text{x} &= 4,2224 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi panjang bak klorinasi :

$$\begin{aligned} - \text{ Panjang} &= 4 \times 4,2224 = 16,8895 \approx 17 \text{ m} \\ - \text{ Lebar} &= 3 \times 4,2224 = 12,6671 \approx 13 \text{ m} \\ - \text{ Tinggi} &= 2 \times 4,2224 = 8,4447 \approx 8 \text{ m} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat	: Bak klorinasi (F-230)
Fungsi	: Menampung air yang akan dinetralkan dengan reaksi klorinasi
Bentuk	: Persegi Panjang
Panjang	: 17 m
Lebar	: 13 m
Tinggi	: 8 m
Bahan	: Beton Bertulang
Jumlah	: 1 buah

16. POMPA Bak Air Sanitasi (L-231)

Fungsi : Mengalirkan air dari bak klorinasi menuju bak air sanitasi
Tipe : *Centrifugal pump*

Dasar Perhitungan :

$$- \text{Rate aliran} = 120035,8016 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned}
 &= 264630,9282 \text{ lb/jam} \\
 \text{- Densitas air } (\rho) &= 0,9956 \text{ kg/L} \\
 &= 62,1785 \text{ lb/ft}^3 \\
 \text{- Viskositas } (\mu) &= 0,8007 \text{ cp} \\
 &= 0,000538 \text{ lb/ft detik}
 \end{aligned}$$

Perhitungan :

a. Menghitung rate volumetrik

$$\begin{aligned}
 Q &= \frac{\text{rate aliran}}{\rho \text{ air}} = \frac{\text{#####}}{62,1785} = 4255,9902 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 1,1822 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 441,8285 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

b. Menentukan dimensi pipa

$$\begin{aligned}
 \text{Di optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\
 & \qquad \qquad \qquad \text{(Peter and Timmerhauss, pers. 15, hal 496)} \\
 &= 3,9 \times 1,1822^{0,45} \times 62,1785^{0,13} \\
 &= 7,1937 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi Di} = 1\frac{1}{4} \text{ in sch 40}$$

Sehingga : (Geankoplis, tabel A.5-1, hal 892)

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= 1,6600 \text{ in} = 0,1383 \text{ ft} \\
 \text{ID} &= 1,3800 \text{ in} = 0,1150 \text{ ft} \\
 \text{A} &= 0,0104 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

c. Menghitung kecepatan aliran fluida

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{1,1822}{0,0104} = \text{#####} \text{ ft/detik}$$

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D v \rho}{\mu} = \frac{0,1150 \times \text{#####} \times 62,1785}{0,0005} \\
 &= 1510716,2039 \geq 2100 \text{ (aliran turbulen)} \\
 \alpha &= 1
 \end{aligned}$$

d. Menghitung panjang pipa dan friction loss

Ditentukan bahan pipa adalah commercial steel, sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,0002 \text{ ft} \qquad \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3, hal. 88)} \\
 \frac{\varepsilon}{D} &= \frac{0,0002}{0,1150} = 0,0013 \\
 f &= 0,0100 \qquad \qquad \qquad \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3, hal. 88)}
 \end{aligned}$$

Panjang pipa :

Asumsi :

- a. Panjang pipa lurus = 125 ft
- b. Elbow 90° = 1 buah
 $Le/D = 35$ (Geankoplis, tabel 2.10-1, hal 93)
 $Le = 35 \times 1 \times 0,1150$
 $= 4,0250$ ft
- c. Gate valve = 1 buah (wide open)
 $Le/D = 9$ (Geankoplis, tabel 2.10-1, hal 93)
 $Le = 9 \times 1 \times 0,1150$
 $= 1,0350$ ft

Panjang pipa (L) = pipa lurus + elbow 90° + gate valve
 $= 125 + 4,0250 + 1,0350$
 $= 130,0600$ ft

Friksion loss

- Friksi pada pipa lurus

$$F_f = 4f \frac{\Delta L}{D \alpha} \times \frac{v^2}{2g_c} \quad (\text{Geankoplis, pers 2.10-6, hal 89})$$

$$= 4 \times 0,0100 \times \frac{130,0600}{0,1150 \times 1} \times \frac{113,6750}{2 \times 32,1740}$$

$$= 79,9163 \text{ lbf ft/lbm}$$

- Sudden contraction

Tangki sangat besar, maka dianggap $A_1 = 0$

$$h_c = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \times \frac{v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \quad (\text{Geankoplis, pers 2.10-16, hal 93})$$

$$= 0,55 \times \left(1 - 0 \right) \times \frac{\text{#####}^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 110,4478 \text{ lbf ft/lbm}$$

- Sudden expansion

$$h_{ex} = \left(1 - \frac{A_2}{A_1} \right) \times \frac{v^2}{2 \times \alpha \times g_c} \quad (\text{Geankoplis, pers 2.10-15, hal 93})$$

$$= \left(1 - 0 \right) \times \frac{\text{#####}^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 200,8142 \text{ lbf ft/lbm}$$

- Elbow 90°, 1 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-2, hal 93})$$

$$h_{\dots} = K \cdot \frac{v^2}{\dots}$$

$$h_f = K_f \frac{v^2}{2g_c} \quad (\text{Geankoplis, tabel 2.10-2, hal 93})$$

$$= 0,75 \times \frac{\text{#####}^2}{2 \times 32,1740}$$

$$= 150,6107 \text{ lbf ft/lbm}$$

- Gate valve, 1 buah

$$K_f = 0,17$$

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

$$= 0,17 \times \frac{\text{#####}^2}{2 \times 32,1740}$$

$$= 34,1384 \text{ lbf ft/lbm}$$

$$\begin{aligned} \text{Total friksi } (\Sigma F) &= F_f + h_c + h_{ex} + h_f \text{ elbow } 90^\circ + h_f \text{ gate valve} \\ &= 79,92 + \text{#####} + \text{#####} + \text{#####} + \text{#####} \\ &= \text{#####} \text{ lbf ft/lbm} \end{aligned}$$

e. Menentukan daya pompa

Direncanakan :

$$\Delta Z = 120 \text{ ft}$$

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

$$v_1 = 0 \text{ ft/detik} \quad (\text{karena fluida diam})$$

$$v_2 = 113,6750 \text{ ft/detik}$$

$$\alpha = 1$$

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{2 \alpha g_c} + \frac{g \Delta Z}{g_c} + \frac{\Delta P}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

(Geankoplis, tabel 2.7-28, hal 64)

$$\frac{\text{#####}^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \frac{32,174 \times 120}{32,1740} + 0 + \text{#####} = -W_s$$

$$W_s = -896,74 \text{ lbf ft/lbm}$$

Dari Peter and Timmerhauss, fig. 14-37, hal 520, didapatkan :

Efisiensi pompa (η) = 70%

$$W_s = -\eta \times W_p$$

$$-896,7417 = -70\% \times W_p$$

$$W_p = 1281,06 \text{ lbf ft/lbm}$$

Mass flow rate (m) = $Q \times \rho$

$$= 4255,9902 \times 62,1785$$

$$= 264630,93 \text{ lb/jam}$$

$$= 73,5086 \text{ lb/detik}$$

$$\text{Pump horsepower} = W_p \times m \times \frac{1 \text{ Hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$$

$$= 1281,06 \times 73,5086 \times \frac{1 \text{ Hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{##### Hp} \\
 \text{Broke horsepower} &= \frac{\text{pump horsepower}}{\eta} \\
 &= \frac{\text{#####}}{70\%} \\
 &= \text{##### Hp}
 \end{aligned}$$

Dari Peter and Timmerhause fig 14.38 hal 521, didapatkan :

$$\begin{aligned}
 \text{Efisiensi motor} &= 75\% \\
 \text{Daya} &= \frac{\text{pump horse power}}{\text{efisiensi motor}} \\
 &= \frac{\text{#####}}{75\%} \\
 &= \text{##### Hp} \approx 1 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat	: Pompa Sentrifugal (L-231)
Fungsi	: Mengalirkan air dari bak klorinasi menuju bak air
Tipe	: <i>Centrifugal pump</i>
Bahan konstruksi	: <i>Commercial steel</i>
Kapasitas	: ##### gal/menit
Efisiensi pompa	: 70%
Efisiensi motor	: 75%
Daya	: 1 Hp
Dimensi pompa	: 1¼ in sch 40
	OD = 1,6600 in
	ID = 1,3800 in
	A = 0,0104 ft ²
Jumlah	: 1 buah

17. BAK AIR SANITASI (F-232)

Fungsi : Tempat penampung air sanitasi

Dasar Perhitungan :

- Rate aliran	= 120035,8016 kg/jam
	= 264630,9282 lb/jam
- Densitas air (ρ)	= 0,9956 kg/L
	= 62,1785 lb/ft ³

Perhitungan :

$$\text{Rate volumetrik (Q)} = \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{264630,9282}{62,1785} \\
 &= 4255,9902 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 120,4445 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Volume tinggal} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 120,4445 \times 12 \\
 &= 1445,3343 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\text{Volume liquid} = 80\% \text{ volume bak, sehingga :}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= \frac{1445,3343}{80\%} \\
 &= 1806,6678 \text{ m}^3 \\
 &= 63801,9321 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang : Lebar : Tinggi} &= 4 : 3 : 2 \\
 \text{Volume bak} &= 4 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\
 &= 24 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 24 x^3 \\
 1806,6678 &= 24 x^3 \\
 x^3 &= 75,2778 \\
 x &= 4,2224 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi panjang bak air sanitasi :

$$\begin{aligned}
 - \text{ Panjang} &= 4 \times 4,2224 = 16,8895 \approx 17 \text{ m} \\
 - \text{ Lebar} &= 3 \times 4,2224 = 12,6671 \approx 13 \text{ m} \\
 - \text{ Tinggi} &= 2 \times 4,2224 = 8,4447 \approx 8 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat : Bak air sanitasi (F-232)
 Fungsi : Tempat penampung air sanitasi
 Bentuk : Persegi Panjang
 Panjang : 17 m
 Lebar : 13 m
 Tinggi : 8 m
 Bahan : Beton Bertulang
 Jumlah : 1 buah

C. Unit Penyediaan Tenaga Listrik

Kebutuhan tenaga listrik pada Pra Rencana Pabrik Pentaeritritol dengan Proses Deasetilasi direncanakan dan disediakan oleh Kawasan Industri Cikande dan generator set. Tenaga listrik dipergunakan untuk menggerakkan motor, penerangan, instrumentasi dan lainnya.

Perincian kebutuhan listrik terbagi menjadi:

1. Peralatan Proses Produksi
2. Daerah Pengolahan Air
3. Listrik untuk Penerangan

a. Peralatan Proses Produksi

Pemakaian listrik untuk peralatan proses produksi, ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel D.4. Pemakaian listrik pada peralatan proses produksi

No	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Daya (Hp)
1.	L-112	Pompa HCHO	1	17
2.	L-115	Pompa NaOH	1	24
3.	L-118	Pompa CH ₃ CHO	1	32
4.	R-110	Pengaduk Reaktor	1	30
5.	L-121	Pompa Reaktor	1	99
6.	L-123	Pompa HCOOH	1	19,5
7.	R-120	Pengaduk Netralizer	1	1
8.	B-150	Rotary Vacuum Filter	1	21
8	J-155	Belt Conveyor	1	4
9	J-156	Bucket Elevator	1	13
10	L-141	Pompa Kriztalizer	1	111
11	G-125A/B	Blower	1	1
12	L-131	Pompa Netralizer	1	111
Jumlah			13	483

b. Daerah Pengolahan Air

Pemakaian listrik untuk daerah pengolahan air (*water treatment*), ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel D.5. Pemakaian listrik pada daerah pengolahan air

No	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Daya (Hp)
1.	L-211	Pompa Air Kawasan	1	4
2.	L-213	Pompa Sentrifugal	1	2
3.	L-216	Pompa Sentrifugal	1	1
4.	L-219	Pompa Sentrifugal	1	1
5.	Q-210	Boiler	1	804
6.	L-222	Pompa Sentrifugal	1	0
7.	P-220	Cooling Tower	1	0
8.	L-231	Pompa Sentrifugal	1	1
Jumlah			8	814

Jadi, kebutuhan total untuk motor penggerak sebesar :

$$= (483 + 814) \text{ Hp} \times 0,7457 \text{ kW/Hp}$$

$$= 966,70099 \text{ kW}$$

c. Listrik untuk Penerangan

Pemakaian listrik untuk penerangan dapat diperoleh dengan mengetahui luas bangunan. Untuk mengetahui luas bangunan dan areal lahan yang digunakan, dapat digunakan rumus seperti dibawah ini :

$$L = \frac{A \times F}{U \times D}$$

Dimana :

L = lumen outlet

A = luas daerah

F = foot candle

U = koefisien utilitas

$$= 0,8$$

(Perry 3th ed, hal 1757)

D = efisiensi penerangan rata-rata

$$= 0,75$$

(Perry 3th ed, hal 1757)

Tabel D.6. Pemakaian listrik untuk penerangan

No	Lokasi	Luas		F	Lumen
		m ²	ft ²		
1.	Pos Penjagaan	14	150,6911	10	2511,5180
2.	Taman	214	2303,4208	5	19195,1734
3.	Parkir Karyawan	200	2152,7297	10	35878,8288
4.	Parkir Tamu	100	1076,3649	5	8969,7072
5.	Perkantoran administra	200	2152,7297	25	89697,0720
6.	Aula	400	4305,4595	10	71757,6576
7.	Perpustakaan	60	645,8189	10	10763,6486
8.	Departemen produksi	70	753,4554	10	12557,5901
9.	Toilet	68	731,9281	10	12198,8018
10.	Kantor devide litbang	80	861,0919	10	14351,5315
11.	Ruang kontrol	40	430,5459	15	10763,6486
12.	Area Proses	3500	37672,770	30	1883638,5120
13.	Kantin	80	861,0919	5	7175,7658
14.	Departemen Teknik	84	904,1465	10	15069,1081

15.	Quality control	100	1076,3649	10	17939,4144
16.	Laboratorium	100	1076,3649	10	17939,4144
17.	Gudang bahan baku	2000	21527,297	10	358788,2880
18.	Area tangki bahan baku	84	904,1465	10	15069,1081
19.	Ruang bahan bakar	168	1808,2930	10	30138,2162
20.	Penyimpanan Produk	1000	10763,649	10	179394,1440
21.	Tempat Penimbangan	80	861,0919	5	7175,7658
22.	Bengkel	200	2152,7297	10	35878,8288
23.	Ruang Generator	150	1614,5473	10	26909,1216
24.	Pemadam kebakaran dan	500	5381,8243	10	89697,0720
25.	Poliklinik	100	1076,3649	10	17939,4144
26.	Mushola	350	3767,2770	15	94181,9256
27.	Perluasan pabrik	1000	10763,649	5	89697,0720
28.	Air mancur	1852	19934,277	5	166118,9773
29.	Jalan	250	2690,912	5	22424,2680
Jumlah		13044	140401,03		3363819,5941

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

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

$$\begin{aligned} \text{Total lumen} &= \text{Jumlah lumen} - (\text{lumen jalan} + \text{lumen taman}) \\ &= 3363819,5941 - (166118,9773 + 35878,8288) \\ &= 3161821,7880 \text{ lumen} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tenaga listrik yang dibutuhkan} &= \frac{3161821,7880 \text{ lumen}}{49 \text{ lumen/watt}} \\ &= 64526,9753 \text{ watt} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} &= \frac{64526,9753 \text{ watt}}{40 \text{ watt}} \\ &= 1613,1744 \approx 1613 \text{ buah} \end{aligned}$$

Untuk penerangan jalan dan taman, menggunakan mercury vapor lamp 75 watt dengan lumen output sebesar 3750 lumen.

$$\text{Lumen output} = \frac{3750 \text{ lumen}}{75 \text{ watt}} = 50 \text{ lumen/watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Total lumen} &= \text{lumen jalan} + \text{lumen taman} \\ &= 166118,9773 + 35878,8288 \\ &= 201997,8061 \text{ lumen} \end{aligned}$$

$$\text{Tenaga listrik yang dibutuhkan} = \frac{201997,8061 \text{ lumen}}{50 \text{ lumen/watt}}$$

$$\begin{aligned}
 &= 4039,9561 \text{ watt} \\
 \text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} &= \frac{4039,9561 \text{ watt}}{75 \text{ watt}} \\
 &= 53,8661 \approx 55 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas, didapatkan total tenaga listrik yang dibutuhkan adalah :

- Lampu fluorescent	=	64526,9753
- Lampu mercury	=	4039,9561
- Peralatan bengkel	=	2000,0000
- Peralatan laboratorium	=	1500,0000
- Keperluan lain-lain	=	2500,0000
Total	=	74566,9314 watt
	=	74,5669 kW

$$\begin{aligned}
 \text{Total kebutuhan listrik} &= \text{listrik untuk penerangan} + \text{listrik untuk proses} \\
 &= 74,5669 + 966,70099 \\
 &= 1041,2679 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Direncanakan pemenuhan kebutuhan listrik berasal dari Kawasan Industri Cikande, sedangkan unit generator digunakan sebagai pengganti jika supply listrik mati.

$$\text{Efisiensi listrik} = 0,8$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{Power yang dibangkitkan oleh generator} &= \frac{1041,2679}{0,8} \\
 &= 1301,6 \approx 235 \text{ kW} \\
 &= 235 \text{ kV.A}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

- Nama alat : Generator
- Fungsi : Sebagai pengganti jika supply listrik mati
- Tipe : AC Generator 3 Phase
- Kapasitas : 235 kV.A, 220 - 13800 Volt
- Frekuensi : 50/60 Hz
- Jumlah : 2 buah (1 cadangan)

D. Unit Penyediaan Bahan Bakar

Pada unit penyediaan bahan bakar disediakan bahan bakar untuk keperluan sebagai berikut :

a. Kebutuhan bahan bakar boiler

Untuk kebutuhan bahan bakar boiler sebesar : 116,7295 kg/jam

Bahan bakar yang digunakan adalah fuel oil 33° API, dengan densitas :

$$\rho = 860,20 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi, volume diesel oil} &= \frac{116,7295}{860,20} = 0,1357 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 3256,81 \text{ L/hari}
 \end{aligned}$$

b. Kebutuhan bahan bakar generator

$$\begin{aligned} \text{Tenaga generator} &= 235 \text{ kW} \\ &= 19244549,0838 \text{ btu/hari} \end{aligned}$$

Bahan bakar yang digunakan adalah fuel oil 33° API,

$$\begin{aligned} - \text{ Heating value (H}_v) &= 134000 \text{ btu/lb} \\ - \text{ Densitas } (\rho) &= 55 \text{ lb/ft}^3 \\ &= 880,9867 \text{ kg/m}^3 \\ - \text{ Efisiensi } (\mu) &= 80,50\% \end{aligned} \quad (\text{Perry 6}^{\text{th}} \text{ ed, fig. 9.9, hal 9-18})$$

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar} &= \frac{19244549,0838}{134000 \times 80,50\% \times 55} \\ &= 3,2437 \text{ ft}^3/\text{hari} \\ &= 91,8526 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan total bahan bakar per hari, sebesar :

$$\begin{aligned} &= \text{Boiler} + \text{Generator} \\ &= 3256,8111 + 91,8526 \\ &= 3348,6637 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Tangki Bahan Bakar

Fungsi : Untuk menyimpan bahan bakar yang digunakan

Dasar Perhitungan :

- Volume bahan bakar = 3348,6637 L/hari
= 118,2563 ft³/hari
- P = 14,7 psig
- T = 30 °C
- Waktu penyimpanan = 30 hari
- Volume bahan bakar dianggap menempati 80% volume tangki
- Direncanakan menggunakan 1 buah tangki

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan bakar} &= 118,2563 \text{ ft}^3/\text{hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= 3547,6890 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{3547,6890}{80\%} = 4434,6113 \text{ ft}^3 \\ &= 33175,327 \text{ gal} \end{aligned}$$

- Menghitung diameter tangki :

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

$$\text{Dianggap } H = 1,5 D, \text{ maka :}$$

$$4434,6113 = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times 1,5 D$$

$$4434,6113 = 1,1775 D^3$$

$$D^3 = 3766,1243$$

$$D = 15,5584 \text{ ft}$$

$$= 186,7008 \text{ in}$$

$$H = 1,5 D$$

$$= 280,0512 \text{ in}$$

- Menghitung tebal tangki :

Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316

F allowable (f) = 18750 *(Brownell & Young, item 4, 342)*

Faktor korosi (C) = $\frac{1}{16}$

Tipe pengelasan = Double welded butt join (E = 0,8)

(Brownell & Young, tabel 13.2, 254)

$$\begin{aligned} \text{tebal silinder} &= \frac{\text{Pi} \cdot d_i}{2(f \cdot E - 0,6 \text{Pi})} + C \\ &= \frac{14,7 \times 186,7008}{2 \times [(18750 \times 0,8) - (0,6 \times 14,7)]} + \frac{1}{16} \\ &= 0,0915 + \frac{1}{16} \\ &= \frac{2,4646}{16} \approx \frac{3}{16} \end{aligned}$$

Standarisasi do

$$do = di + 2 ts$$

$$= 186,7008 + \left(2 \times \frac{3}{16} \right)$$

$$= 187,0758 \text{ in}$$

Standarisasi dengan Tabel 5.7, Brownell and Young, hal 89

$$do = 66$$

$$icr = 4$$

$$r = 66$$

$$ts = 3/16$$

maka :

$$di_{\text{baru}} = do - ts$$

$$= 66 - \left(2 \times \frac{3}{16} \right)$$

$$= 65,6250 \text{ in}$$

$$= 5,4688 \text{ ft}$$

Menentukan tebal tutup atas (standar dished) :

$$\begin{aligned}
 \text{tha} &= \frac{0,885 \times \text{Pi} \times r}{(f E - 0,6 \text{ Pi})} + C \\
 &= \frac{0,8850 \times 14,7 \times 66}{[(18750 \times 0,8) - (0,6 \times 14,7)]} + \frac{1}{16} \\
 &= 0,0573 + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{1,9164}{16} \approx \frac{3}{16}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

- Nama alat : Tangki bahan bakar
- Fungsi : Untuk menyimpan bahan bakar yang digunakan
- Tipe : Silinder dengan tutup atas standart dished dan tutup bawah flat
- Bahan konstruksi : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316
- Dimensi :
 - D = 66 in
 - H = 280,0512 in
 - ts = 3/16 in
 - tha = 3/16 in
- Jumlah : 1 buah