

APPENDIKS D UTILITAS

Utilitas merupakan unit yang sangat penting sebagai penunjang jalannya proses produksi dalam Industri Butadien, sehingga kapasitas yang sebelumnya telah direncanakan semaksimal mungkin dapat dicapai dengan adanya unit utilitas. Unit utilitas yang diperlukan pada pra-rencana pabrik Butadien ini yaitu :

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

1. Unit Pengolahan Air

Untuk memenuhi kebutuhan air pabrik, digunakan air kawasan. Pengambilan air sungai ditampung dalam bak penampung air bersih, untuk dilakukan pengolahan lebih lanjut sesuai dengan penggunaan pada proses selanjutnya agar bisa digunakan sebagai air sanitasi, air pendingin, air proses, dan air umpan boiler

A. Air Pendingin (*Cooled Water*)

Cooled Water merupakan air yang digunakan sebagai media pendingin *Cooled Water* yang dibutuhkan pada alat-alat proses tercantum pada tabel dibawah ini :

Tabel 1.1. Total Kebutuhan *Cooled Water*

Kode Alat	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
E-131	Kondensor	7264,244
E-136	Cooler	96349,69
Total		103613,934

Direncanakan banyaknya air pendingin yang disupply adalah 20% berlebih maka :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air pendingin} &= 1,2 \times 103613,934 \text{ kg jam} \\ &= 124336,7208 \text{ kg jam} \end{aligned}$$

B. Air Proses

Air proses adalah air yang digunakan dalam proses. Alat proses yang menggunakan air proses tercantum pada tabel dibawah ini :

Tabel 1.2. Total Kebutuhan *Cooled Water*

Kode Alat	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
Q-121	Quencher	59930,45
Total		59930,45

Direncanakan banyaknya air pendingin yang disupply adalah 20% berlebih maka :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air pendingin} &= 1 \times 59930,45 \text{ kg jam} \\ &= 71916,5400 \text{ kg jam} \end{aligned}$$

C. Air umpan boiler (Penghasil Steam)

Air umpan boiler merupakan air yang digunakan sebagai bahan baku penghasil steam yang berfungsi sebagai media pemanas dalam proses produksi. Kuantitas steam yang digunakan sesuai dengan kebutuhan masing-masing alat proses. A proses yang menggunakan steam tercantum pada tabel dibawah ini :

Kode Alat	Nama Alat	Kebutuhan (kg/jam)
E-123	Heater	4203,273
		5412,14
		1999,8319
Total		11615,2449

Direncanakan banyaknya air pendingin yang disupply adalah 20% berlebih maka :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air pendingin} &= 1,2 \times 11615,2449 \text{ kg jam} \\ &= 13938,2939 \text{ kg jam} \end{aligned}$$

Make Up untuk kebutuhan steam direncanakan 10% maka :

$$\begin{aligned} \text{Make Up steam} &= 0,1 \times 13938,2939 \text{ kg jam} \\ &= 1393,82939 \text{ kg jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi kebutuhan steam} &= 1393,82939 + 1393,82939 \\ &= 2787,65878 \text{ kg jam} \end{aligned}$$

Jadi jumlah steam yang harus dihasilkan oleh Boiler adalah :

$$\begin{aligned} \text{Massa steam (m}_s\text{)} &= 2787,65878 \text{ kg jam} \\ &= 6146,78760 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Steam yang digunakan adalah superheated steam dengan kondisi sebagai berikut

- Suhu (T) = 800 °C = 1472 °F
- Tekanan (P) = 547 kPa = 79,34 psi
- Air umpan boiler masuk pada suhu = 30 °C = 86 °F

Dasar Perhitungan :

Dari persamaan 171 Savern W.H hal 140:

$$\text{Kapasitas Boiler} = \frac{ms \times (hg - hf)}{1000}$$

Dimana :

ms = massa steam yang dihasilkan

hg = entalphi steam pada 1472 °F

hf = entalphi air masuk pada 86 °F

Dikutip dari NIST.gov didapatkan :

$$\begin{aligned} h \text{ steam} &= 4157,7 \text{ kJ/kg} \\ &= 1787,49 \text{ btu/lb} \end{aligned}$$

Dari Engineeringtoolbox.com didapatkan

$$\begin{aligned} hf \text{ pada suhu } 86 \text{ °F} &= 125,73 \text{ Joule/gram} \\ &= 54,0542 \text{ btu/lb} \end{aligned}$$

$$\text{Jadi kapasitas reboiler adalah} = 10653018 \text{ Btu/jam}$$

$$\text{Dimana : 1 BHp} = 33475 \text{ btu/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Maka daya boiler adalah} &= \frac{10653018}{33475} \\ &= 318,238 \text{ BHp} \end{aligned}$$

Mencari faktor evaporasi

Dari persamaan 173 Savern W.H hal 140

$$\begin{aligned} \text{Faktor evaporasi} &= \frac{Hg - Hf}{970,3} \\ &= \frac{1787,49086 - 54,0542}{970,3} \\ &= 1,78649561 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah air yang dibutuhkan} &= \text{faktor evaporasi} \times \text{rate steam} \\ &= 1,78649561 \times 6146,78760 \text{ lb/jam} \\ &= 10981,209 \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

Bahan bakar yang digunakan adalah fuel oil 33° API dengan Heating Value (Hv)

$$\begin{aligned} Hv &= 130700 \text{ Btu/U.S.gal} \quad (\text{Perry, 8th edition, hal 24-9}) \\ &= 10120,711 \text{ Kkal/Kg} \\ &= 18217,28 \text{ Btu/lb} \end{aligned}$$

Diperkirakan efisiensi Boiler 80%, maka :

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan bahan bakar} &= \frac{ms \times (H_g - H_f)}{\text{effisiensi} \times H_v} \\
 &= \frac{6146,78760 \times 1787,49086 - 54,0542}{0,8 \times 18217,2796} \\
 &= 731,1099239 \text{ lb/jam} \\
 &= 331,92391 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Maka jumlah perpindahan panas boiler dan jumlah tube:

- *Heating value surface* = 10 ft²/Hp boiler
 - Direncanakan panjang tube standard = 20 ft
 - Ukuran pipa yang digunakan (NPS) = 4 in
 - Luas permukaan linier feed = 1,1800 ft²/ft
- (Kern, tabel 11, hal. 844)*

Area yang diperlukan untuk transfer panas:

$$\begin{aligned}
 \text{Heating surface boiler} &= H_v \text{ surface} \times H_p \text{ boiler} \\
 &= 10 \times 318,24 \\
 &= 3182,38 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tube yang dibutuhkan:

$$\begin{aligned}
 N_t &= \frac{A}{a \times L} = \frac{3182}{1,1800 \times 20} \\
 &= 134,85 \\
 &= 135 \text{ tube}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi boiler

- Tipe : *Fire tube boiler*
- Rate steam : 6146,79 lb/jam
- Bahan bakar : Fuel oil 33 °API
- Efisiensi : 80%
- *Heating surface* : 3182,3802 ft²
- Jumlah tube : 135 tube
- Ukuran tube : 4 in
- Panjang tube : 20 ft
- Bahan konstruksi : *Carbon Steel*
- Jumlah boiler : 1 buah

Dari perhitungan di atas, diketahui bahwa jumlah air umpan yang dibutuhkan sebesar 10981,21 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% = $1,2 \times 10981,21$
= 13177,45 lb/jam
- faktor kebocoran 5% = $0,05 \times 10981,21$
= 549,06 lb/jam
- faktor keamanan 10% = $0,1 \times 10981,21$
= 1098,12 lb/jam

Jadi, total kebutuhan air umpan boiler adalah:

$$\begin{aligned}
 &= 13177,45 + 549,06 + 1098,12 \\
 &= 14824,63 \text{ lb/jam} \\
 &= 6724,41 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

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 : $< 1 \text{ mg SiO}_2/\text{liter}$
- 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 Kalsium Hidroksida antara lain sebagai berikut:

1. Untuk Kebutuhan Karyawan

$$\begin{aligned}
 \text{Menurut standar WHO kebutuhan air tiap orang} &= 120 \text{ L/hari} \\
 \text{Jumlah karyawan pada pabrik} &= 168 \text{ orang}
 \end{aligned}$$

Jam kerja untuk setiap karyawan = 8 jam/hari

Jadi, kebutuhan air karyawan per jam kerja adalah:

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

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

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air } 168 \text{ karyawan} &= \frac{5 \text{ L/jam}}{\text{karyawan}} \times 168 \text{ karyawan} \\ &= 840 \text{ L/jam} \end{aligned}$$

Jika densitas air = 0,9956 kg/L

$$\begin{aligned} \text{maka, kebutuhan air sanitasi } 168 \text{ karyawan} &= 840 \times 0,9956 \\ &= 836,30 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

2. Untuk Kebutuhan Laboratorium dan Taman

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

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan air untuk laboratorium, taman} &= 0,40 \times 836,30 \\ &= 334,52 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

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

$$836,30 + 334,52 = 1170,83 \text{ kg/jam}$$

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:

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan untuk pemadam dan cadangan air} &= 0,4 \times 1170,83 \\ &= 468,33 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Jadi, kebutuhan total untuk air sanitasi adalah:

$$1170,83 + 468,33 = 1639,16 \text{ kg/jam}$$

Tabel D.4. Kebutuhan Total Air

No.	Keterangan	Jumlah (kg/jam)
1.	Cooled Water	124336,72
2.	Process water	71916,54
3.	Air umpan boiler	6724,41
4.	Air Sanitasi	1639,16

Total	204616,83
-------	-----------

Untuk memenuhi kebutuhan air, maka pada Pra Rencana Pabrik Butadiene 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

Fungsi : Memompakan air kawasan ke bak air bersih

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 204616,83 kg/jam
= 451098,25 lb/jam
- jumlah pompa = 1
rate aliran = 451098,25 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{451098,25 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 7257,27 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 2,02 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 753,46 \text{ gpm} \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times (2,0159)^{0,45} \times (62,16)^{0,13} \\ &= 9,146 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.996})$$

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 8,625 \text{ in} = 0,71874 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 7,981 \text{ in} = 0,66508 \text{ ft}$$

$$A = 0,34740 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{2,02 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,35 \text{ ft}^2} \\ &= 5,80 \text{ ft/detik} \end{aligned}$$

$$= 20890,24 \text{ ft/jam}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,66508 \times 5,8028 \times 62,1581}{0,000538} \\ &= 445852,05 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast Iron*

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,000046 &= 0,00015 \text{ ft} & \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94)} \\ \frac{\varepsilon}{D} &= \frac{0,000150917}{0,6651} &= 0,00023 \\ f &= 0,0045 & \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94)} \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} \text{a. Panjang pipa lurus} &= 39,4 \text{ ft} = 12,00 \text{ m} \\ \text{b. Elbow, } 90^\circ &= 3 \text{ buah} \\ \text{Le/D} &= 35 & \text{(Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99)} \\ \text{L elbow} &= 35 \text{ ID} \\ &= 35 \times 3 \times 0,6651 \\ &= 69,83 \text{ ft} \\ \text{c. Gate valve} &= 1 \text{ buah (wide open)} \\ \text{Le/D} &= 225 & \text{(Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99)} \\ \text{L elbow} &= 225 \text{ ID} \\ &= 225 \times 1 \times 0,6651 \\ &= 149,64 \text{ ft} \\ &= 45,61 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

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

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned} \Delta L &= 39 + 69,83 + 149,64 \\ &= 258,84 \text{ ft} \end{aligned}$$

1. Friksi pada pipa lurus

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

$$\begin{aligned}
 h_f &= \frac{4 \times 0,0045 \times (5,80)^2 \times 258,84}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,6651} \\
 &= 3,67 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° = 3 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= \left(3 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \right) \\
 &= 3 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740} \\
 &= 1,18 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \\
 &= 2 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740} \\
 &= 0,78 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + h_f + h_f = 5,63 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

$$\Delta Z = 40 \text{ ft} = 12,192148 \text{ m}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 5,8028 \text{ ft/detik}$$

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

$$\begin{aligned}
 -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{gc} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\
 &= \left(\frac{5,80^2}{2 \times 1 \times 32,17} \right) + \left(\frac{40}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,16} \right) + 5,63 \\
 &= 7,39
 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned}
 W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\
 &= \frac{7,39 \times 2,02 \times 62,16}{550} \\
 &= 1,68 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk kapasitas (Q)} &= 2,02 \text{ gpm} \\
 \eta \text{ pompa} &= 75\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520}) \\
 \text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} &= \frac{1,68}{0,75} = 2,25 \text{ Hp} \\
 \eta \text{ motor} &= 85\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520}) \\
 \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\
 &= \frac{2,25}{0,85} \\
 &= 2,64 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 3 Hp
- Bahan : *Carbon Steel*
- Jumlah : 1 buah

2. Bak Air Bersih

Fungsi : Menampung air bersih untuk didistribusikan ke proses selanjutnya

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 204616,83 kg/jam
= 451098,25 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³

Perhitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{451098,25}{62,1581} \\
 &= 7257,27 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 205,50 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Waktu tinggal} &= 24 \text{ jam} \\
 \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 205,50 \times 24 \\
 &= 4932,07 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume air} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga:} \\
 \text{Volume bak} &= \frac{4932,07 \text{ m}^3}{0,8} \\
 &= 6165,0897 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio:

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

Sehingga:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume baku} &= 30 \text{ y}^3 \\
 6165,09 &= 30 \text{ y}^3 \\
 \text{y} &= 5,90 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi, dimensi bak air bersih:

$$\begin{aligned}
 - \text{ Panjang} &= 5 \times 5,90 = 29,51 \text{ m} = 30 \text{ m} \\
 - \text{ Lebar} &= 3 \times 5,90 = 17,70 \text{ m} = 18 \text{ m} \\
 - \text{ Tinggi} &= 2 \times 5,90 = 11,80 \text{ m} = 12 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Bak Air Bersih:

- Bentuk = Persegi Panjang
- Panjang = 30 m
- Lebar = 18 m
- Tinggi = 12 m
- Bahan = Beton
- Jumlah = 1 buah

3. Pompa Klorinator

Fungsi : Memompakan air dari bak penampung untuk menuju bak klorinasi

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 204616,83 kg/jam
= 451098,25 lb/jam
- jumlah pompa = 1
- rate aliran = 451098,25 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{451098,25 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 7257,27 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 2,02 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 753,46 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0.45} \times \rho^{0.13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal.496}) \\ \text{ID optimal} &= 3,9 \times (2,0159)^{0.45} \times (62,16)^{0.13} \\ &= 9,146 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.996})$$

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 8,625 \text{ in} = 0,71874 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 7,981 \text{ in} = 0,66508 \text{ ft}$$

$$A = 0,34740 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{2,02 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,35 \text{ ft}^2} \\ &= 5,80 \text{ ft/detik} \\ &= 20890,24 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,66508 \times 5,8028 \times 62,1581}{0,000538} \\ &= 445852,05 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast Iron*

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 0,000046 = 0,00015 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000150917}{0,6651} = 0,00023$$

$$f = 0,0045 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94})$$

Direncanakan :

$$\text{a. Panjang pipa lurus} = 50 \text{ ft} = 15,24 \text{ m}$$

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

$$Le/D = 35 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99})$$

$$L \text{ elbow} = 35 \text{ ID}$$

$$= 35 \times 2 \times 0,6651$$

$$= 46,56 \text{ ft}$$

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

$$Le/D = 225 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99})$$

$$\begin{aligned}
 L_{\text{elbow}} &= 225 \text{ ID} \\
 &= 225 \times 1 \times 0,6651 \\
 &= 149,64 \text{ ft} \\
 &= 45,61 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

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

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= 50 + 46,56 + 149,64 \\
 &= 246,20 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot gc \cdot D} \\
 &= \frac{4 \times 0,0045 \times (5,80)^2 \times 246,20}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,6651} \\
 &= 3,49 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° = 3 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= \left(3 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \right) \\
 &= 3 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740} \\
 &= 1,18 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \\
 &= 2 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740} \\
 &= 0,78 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + h_f + h_f = 5,45 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

$$\Delta Z = 17 \text{ ft} = 5,181663 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= 0 \\
 \Delta v &= 5,8028 \text{ ft/detik} \\
 \alpha &= 1 \text{ (aliran turbulen)} \\
 -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{gc} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\
 &= \left(\frac{5,80}{2 \times 1 \times 32,17} \right) + \left(\frac{17}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,16} \right) + 5,45 \\
 &= 6,50
 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned}
 W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\
 &= \frac{6,50 \times 2,02 \times 62,16}{550} \\
 &= 1,48 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Untuk kapasitas (Q)} &= 2,02 \text{ gpm} \\
 \eta \text{ pompa} &= 75\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520})
 \end{aligned}$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{1,48}{0,75} = 1,97 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 75\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520})$$

$$\begin{aligned}
 \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\
 &= \frac{1,97}{0,75} \\
 &= 2,63 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 3 Hp
- Bahan : *Carbon Steel*
- Jumlah : 1 buah

4. Bak Klorinasi

Fungsi : Sebagai tempat untuk membersihkan air dari kuman dengan penambahan gas Cl_2

Dasar Perhitungan :

- Rate aliran = 204616,83 kg/jam
= 451098,25 lb/jam
- Densitas air (ρ) = 62,1581 kg/L
= 3881,9777 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{451098,25}{3881,9777} \\
 &= 116,20 \text{ ft}^3/\text{jam} = 3,29 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan kebutuhan Cl_2

Klorin (Cl_2) 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.

$$\begin{aligned}
 \text{Volume air sanitasi} &= 3,29 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 3288,55 \text{ L/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Cl}_2 \text{ yang dibutuhkan} &= 1 \text{ mg/L} \times 3288,55 \\
 &= 3288,55 \text{ mg/jam} \\
 &= 0,0033 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Cl}_2 \text{ untuk 1 hari} &= 0,00 \times 24 \text{ jam} \\
 &= 0,0789 \text{ kg/hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu tinggal} &= 3 \text{ jam} \\
 \text{Volume tinggal} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 3,29 \times 3 \\
 &= 9,87 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga :} \\
 \text{Volume bak} &= \frac{9,87}{80\%} \\
 &= 12,33 \text{ m}^3 \\
 &= 435,50 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio :

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

Sehingga :

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

$$\begin{aligned} 12,33 &= 30 \ y^3 \\ y^3 &= 0,41 \\ y &= 0,74 \quad \text{m} \end{aligned}$$

Jadi panjang bak klorinasi :

$$\begin{aligned} - \text{ Panjang} &= 5 \times 0,74 = 3,72 \approx 4 \quad \text{m} \\ - \text{ Lebar} &= 3 \times 0,74 = 2,23 \approx 3 \quad \text{m} \\ - \text{ Tinggi} &= 2 \times 0,74 = 1,49 \approx 2 \quad \text{m} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat	: Bak klorinasi (F-230)
Fungsi	: Menampung air yang akan dinetralkan dengan reaksi klorinasi
Bentuk	: Persegi Panjang
Panjang	: 4 m
Lebar	: 3 m
Tinggi	: 2 m
Bahan	: Beton
Jumlah	: 1 buah

5. Pompa Air Sanitasi

Fungsi : Memompakan air yang telah diklorinasi menuju ke bak penampung

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

$$\begin{aligned} - \text{ rate aliran} &= 204616,83 \quad \text{kg/jam} \\ &= 451098,25 \quad \text{lb/jam} \\ - \text{ jumlah pompa} &= 1 \\ \text{rate aliran} &= 451098,25 \quad \text{lb/jam} \\ - \text{ densitas } (\rho) \text{ air} &= 62,1581 \quad \text{lb/ft}^3 \\ - \text{ viskositas } (\mu) &= 0,000538 \quad \text{lb/ft.detik} \\ &= 1,936967 \quad \text{lb/ft.jam} \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{451098,25 \quad \text{lb/jam}}{62,16 \quad \text{lb/ft}^3} \\ &= 7257,27 \quad \text{ft}^3/\text{jam} \\ &= 2,02 \quad \text{ft}^3/\text{detik} \\ &= 753,46 \quad \text{gpm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal.496}) \\ \text{ID optimal} &= 3,9 \times (2,0159)^{0,45} \times (62,16)^{0,13} \\ &= 9,146 \quad \text{in} \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.996})$$

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 8,625 \text{ in} = 0,71874 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 7,981 \text{ in} = 0,66508 \text{ ft}$$

$$A = 0,34740 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{2,02}{0,35} \frac{\text{ft}^3/\text{detik}}{\text{ft}^2} \\ &= 5,80 \text{ ft/detik} \\ &= 20890,24 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{\text{Re}} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,66508 \times 5,8028 \times 62,1581}{0,000538} \\ &= 445852,05 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast Iron*

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 0,000046 = 0,00015 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000150917}{0,6651} = 0,00023$$

$$f = 0,0045 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94})$$

Direncanakan :

$$\text{a. Panjang pipa lurus} = 50 \text{ ft} = 15,24 \text{ m}$$

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

$$Le/D = 35 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99})$$

$$L \text{ elbow} = 35 \text{ ID}$$

$$= 35 \times 2 \times 0,6651$$

$$= 46,56 \text{ ft}$$

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

$$Le/D = 225 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99})$$

$$L \text{ elbow} = 225 \text{ ID}$$

$$= 225 \times 1 \times 0,6651$$

$$= 149,64 \text{ ft}$$

$$= 45,61 \text{ m}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

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

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned} \Delta L &= 50 + 46,56 + 149,64 \\ &= 246,20 \text{ ft} \end{aligned}$$

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned} F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot gc \cdot D} \\ &= \frac{4 \times 0,0045 \times (5,80)^2 \times 246,20}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,6651} \\ &= 3,49 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° = 3 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$\begin{aligned} h_f &= \left(3 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \right) \\ &= 3 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740} \\ &= 1,18 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$\begin{aligned} h_f &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \\ &= 2 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740} \\ &= 0,78 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + hf + h_f = 5,45 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

$$\Delta Z = 17 \text{ ft} = 5,181663 \text{ m}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 5,8028 \text{ ft/detik}$$

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

$$-W_s = \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{gc} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{2 \cdot \alpha \cdot g_c}{2 \times 1 \times 32,17} \right) + \left(\frac{g_c}{32,174} \right) + \left(\frac{\rho}{62,16} \right) + 5,45 \\
 &= 6,50
 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned}
 W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\
 &= \frac{6,50 \times 2,02 \times 62,16}{550} \\
 &= 1,48 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

Untuk kapasitas (Q) = 2,02 gpm
 η pompa = 75% (Timmerhaus, fig. 14-37 hal. 520)

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{1,48}{0,75} = 1,97 \text{ Hp}$$

η motor = 75% (Timmerhaus, fig. 14-37 hal. 520)

$$\begin{aligned}
 \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\
 &= \frac{1,97}{0,75} \\
 &= 2,63 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 3 Hp
- Bahan : *Carbon Steel*
- Jumlah : 1 buah

6. Bak Air Sanitasi

Fungsi : Menampung air sanitasi untuk didistribusikan ke proses lebih lanjut

Dasar Perencanaan :

- Rate aliran = 204616,83 kg/jam
= 451098,25 lb/jam
- Densitas air (ρ) = 62,1581 kg/L
= 3881,9777 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{451098,2539}{3881,9777} \\
 &= 116,20 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 3,29 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu tinggal} &= 3 \text{ jam} \\
 \text{Volume tinggal} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 3,2886 \times 3 \\
 &= 9,87 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga :} \\
 \text{Volume bak} &= \frac{9,87}{80\%} \\
 &= 12,33 \text{ m}^3 \\
 &= 435,50 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio :

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

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 30 y^3 \\
 12,33 &= 30 y^3 \\
 y^3 &= 0,41 \\
 y^3 &= 0,74 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi panjang bak air sanitasi :

$$\begin{aligned}
 - \text{ Panjang} &= 5 \times 0,74 = 3,72 \approx 4 \text{ m} \\
 - \text{ Lebar} &= 3 \times 0,74 = 2,23 \approx 3 \text{ m} \\
 - \text{ Tinggi} &= 2 \times 0,74 = 1,49 \approx 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat : Bak air sanitasi

Fungsi : Menampung air sanitasi untuk didistribusikan ke proses lebih lanjut

Bentuk : Persegi Panjang

Panjang : 4 m

Lebar : 3 m

Tinggi : 2 m

Bahan : Beton

Jumlah : 1 buah

7. Pompa Air Bersih

Fungsi : Memompakan air untuk didistribusikan menuju kation-anion exchanger

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 204616,83 kg/jam
= 451098,25 lb/jam
- jumlah pompa = 1
- rate aliran = 451098,25 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{451098,25 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 7257,27 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 2,02 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 753,46 \text{ gpm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal.496}) \\ \text{ID optimal} &= 3,9 \times (2,0159)^{0,45} \times (62,16)^{0,13} \\ &= 9,146 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.996})$$

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 8,625 \text{ in} = 0,71874 \text{ ft} \\ \text{ID} &= 7,981 \text{ in} = 0,66508 \text{ ft} \\ \text{A} &= 0,34740 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{2,02 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,35 \text{ ft}^2} \\ &= 5,80 \text{ ft/detik} \\ &= 20890,24 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,66508 \times 5,8028 \times 62,1581}{0,000538} \\ &= 445852,05 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast Iron*

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,000046 &= 0,00015 \text{ ft} & \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94)} \\ \frac{\varepsilon}{D} &= \frac{0,000150917}{0,6651} &= 0,00023 \\ f &= 0,0045 & \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94)} \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} \text{a. Panjang pipa lurus} &= 39,4 \text{ ft} = 12,00 \text{ m} \\ \text{b. Elbow, } 90^\circ &= 3 \text{ buah} \\ \text{Le/D} &= 35 & \text{(Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99)} \\ \text{L elbow} &= 35 \text{ ID} \\ &= 35 \times 3 \times 0,6651 \\ &= 69,83 \text{ ft} \\ \text{c. Gate valve} &= 1 \text{ buah (wide open)} \\ \text{Le/D} &= 225 & \text{(Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99)} \\ \text{L elbow} &= 225 \text{ ID} \\ &= 225 \times 1 \times 0,6651 \\ &= 149,64 \text{ ft} \\ &= 45,61 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

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

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned} \Delta L &= 39 + 69,83 + 149,64 \\ &= 258,84 \text{ ft} \end{aligned}$$

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned} F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot gc \cdot D} \\ &= \frac{4 \times 0,0045 \times (5,80)^2 \times 258,84}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,6651} \\ &= 3,67 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

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

$$K_f = 0,75 \quad \text{(Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100)}$$

$$\begin{aligned} h_f &= \left(3 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \right) \\ &= 3 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740} \\ &= 1,18 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$\begin{aligned} h_f &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 2 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740} \\ &= 0,78 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + h_f + h_f = 5,63 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

$$\Delta Z = 40 \text{ ft} = 12,192148 \text{ m}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 5,8028 \text{ ft/detik}$$

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

$$\begin{aligned} -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{g_c} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\ &= \left(\frac{5,80^2}{2 \times 1 \times 32,17} \right) + \left(\frac{40}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,16} \right) + 5,63 \\ &= 7,39 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{7,39 \times 2,02 \times 62,16}{550} \\ &= 1,68 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Untuk kapasitas (Q) = 2,02 gpm

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

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{1,68}{0,75} = 2,25 \text{ Hp}$$

η motor = 85% (Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520)

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{2,25}{0,85} \\ &= 2,64 \text{ Hp} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 3 Hp
- Bahan : *Carbon Steel*
- Jumlah : 1 buah

8. Kation Exchanger

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

Resin : Resin yang digunakan adalah RSO3H

Total Exchange Capacity (TEC) kation:

$$\begin{aligned} \text{TEC} &= 2 \text{ eq/L} = 2 \text{ meq/mL} \\ &= 40 \text{ kg/ft}^3 = 88,2 \text{ lb/ft}^3 = 16018,5 \text{ g/m}^3 \end{aligned}$$

Asumsi kesadahan TDS

$$\text{Total kation: } 50 \text{ mg/L} = 0,003122 \text{ lb/ft}^3$$

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

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 204616,83 kg/jam
= 451098,25 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{451098,25}{62,16} \\ &= 7257,3 \text{ ft}^3/\text{jam} \quad 174174,451 \\ &= 2,0 \text{ ft}^3/\text{detik} \quad 1302915,37 \\ &= 753,4 \text{ gpm} \quad 1,30292 \end{aligned}$$

Penentuan kapasitas resin

$$V_R = \frac{Q \cdot t \cdot \text{TDS} \cdot 15.45}{\text{TEC} \cdot 35.34 \cdot \eta}$$

$$V_P = Q \cdot t$$

$$V_R = \frac{V_P \cdot \text{TDS} \cdot 0.4372}{\text{TEC} \cdot \eta}$$

Volume kation

$$\begin{aligned}
 V_R &= \frac{7257,27 \times 1 \times 0,003 \times 0,44}{88,2 \times 0,90} \\
 &= 0,12 \text{ ft}^3 \\
 &= 3,53 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Diambil volume resin $V_R = 3,53 \text{ L}$ (untuk lama waktu siklus 1 jam)

Sehingga untuk lama waktu siklus 1 tahun dibutuhkan resin sebanyak:

$$\begin{aligned}
 V_R &= 3,53 \text{ L} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\
 &= 27981,81 \text{ L} \\
 &= 27,98 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Direncanakan:

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

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang tangki} &= \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{kecepatan air}} \\
 &= \frac{753,40}{3} \\
 &= 251,13 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume resin} &= \text{Luas} \times \text{Tinggi bed} \\
 27,98 &= \text{Luas} \times 4 \\
 \text{Luas} &= 7,00 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter bed} &= \frac{A}{\pi/4} \\
 &= \frac{7,00}{3,14 \times 4} \\
 &= 0,75 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Direncanakan H/D} &= 1,5 \\
 H &= 1,5 \times 0,7463 \\
 H &= 1,12 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Peralatan

- Bahan = Carbon Steel SA 240 Grade M Tipe 316
- Diameter = 0,75 m
- Tinggi = 1,12 m
- Jumlah = 1 buah

9. Anion Exchanger

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

Resin : Resin yang digunakan adalah RCH₂N(CH₃)OH

Total Exchange Capacity (TEC) kation:

$$\begin{aligned} \text{TEC} &= 21,9 \text{ eq/L} = 1,3 \text{ meq/mL} \\ &= 481,8 \text{ kg/ft}^3 = 1062 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

Asumsi kesadahan TDS

$$\text{Total anion: } 50 \text{ mg/L} = 0,003122 \text{ lb/ft}^3$$

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

Dasar Perencanaan:

$$\begin{aligned} - \text{ rate aliran} &= 204616,83 \text{ kg/jam} \\ &= 451098,25 \text{ lb/jam} \\ - \text{ densitas } (\rho) \text{ air} &= 62,158 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{451098,25}{62,16} \\ &= 7257,27 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 2,02 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 753,40 \text{ gpm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} V_R &= \frac{7257,27 \times 1 \times 0,003122 \times 0,4372}{1062,369 \times 0,90} \\ &= 0,01 \text{ ft}^3 \\ &= 0,29 \text{ L} \end{aligned}$$

Diambil volume resin $V_R = 0,29 \text{ L}$ (untuk lama waktu siklus 1 jam)

Sehingga untuk lama waktu siklus 1 tahun dibutuhkan resin sebanyak:

$$\begin{aligned}
 V_R &= 0,29 \text{ L} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\
 &= 2323,11 \text{ L} \\
 &= 2,32 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Direncanakan:

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

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang tangki} &= \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{kecepatan air}} \\
 &= \frac{753,40}{3} \\
 &= 251,13 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume resin} &= \text{Luas} \times \text{Tinggi bed} \\
 2,32 &= \text{Luas} \times 4 \\
 \text{Luas} &= 0,58 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter bed} &= \frac{A}{\pi/4} \\
 &= \frac{0,5808}{3,14 \times 4} \\
 &= 0,22 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Direncanakan H/D} &= 1,5 \\
 H &= 1,5 \times 0,22 \\
 H &= 0,32 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Peralatan

- Bahan = *Carbon Steel SA 240 Grade M Tipe 316*
- Diameter = 0,22 m
- Tinggi = 0,32 m
- Jumlah = 1 buah

10. Bak Air Lunak

Fungsi : Menampung air setelah melalui proses kation-anion exchanger

Dasar Perencanaan:

- rate aliran = 204616,83 kg/jam
- = 451098,25 lb/jam

$$\text{- densitas } (\rho) \text{ air} = 62,158 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{451098,25}{62,158} \\ &= 7257,27 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 205,50 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu tinggal} &= 3 \text{ jam} \\ \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 205,50 \times 3 \\ &= 616,51 \text{ m}^3 \\ \text{Volume air} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga:} \\ \text{Volume bak} &= \frac{616,51 \text{ m}^3}{0,8} \\ &= 770,64 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio:

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

Sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Volume baku} &= 30 y^3 \\ 770,64 \text{ m}^3 &= 30 y^3 \\ x &= 2,95 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi, dimensi bak air bersih:

$$\begin{aligned} \text{- Panjang} &= 5 \times 2,95 = 14,75 \text{ m} = 15 \text{ m} \\ \text{- Lebar} &= 3 \times 2,95 = 8,85 \text{ m} = 9 \text{ m} \\ \text{- Tinggi} &= 2 \times 2,95 = 5,90 \text{ m} = 6 \text{ m} \end{aligned}$$

Spesifikasi Bak Air Lunak:

- Bentuk = Persegi Panjang
- Panjang = 15 m
- Lebar = 9 m
- Tinggi = 6 m
- Bahan = Beton
- Jumlah = 1 buah

11. Pompa Air Lunak 1

Fungsi : Memompakan air dari bak penampung untuk didistribusikan ke unit air umpar

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 204616,83 kg/jam
= 451098,25 lb/jam
- jumlah pompa = 1
rate aliran = 451098,25 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{451098,25 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 7257,27 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 2,02 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 753,46 \text{ gpm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal.496}) \\ \text{ID optimal} &= 3,9 \times (2,0159)^{0,45} \times (62,16)^{0,13} \\ &= 9,146 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.996})$$

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \text{OD} &= 8,625 \text{ in} = 0,71874 \text{ ft} \\ \text{ID} &= 7,981 \text{ in} = 0,66508 \text{ ft} \\ \text{A} &= 0,34740 \text{ ft}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{2,02 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,35 \text{ ft}^2} \\ &= 5,80 \text{ ft/detik} \\ &= 20890,24 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,66508 \times 5,8028 \times 62,1581}{0,000538} \\ &= 445852,05 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast Iron*

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}\varepsilon &= 0,000046 &= 0,00015 \text{ ft} & \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94)} \\ \frac{\varepsilon}{D} &= \frac{0,000150917}{0,6651} &= 0,00023 \\ f &= 0,0045 && \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94)}\end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned}\text{a. Panjang pipa lurus} &= 50 \text{ ft} = 15,24 \text{ m} \\ \text{b. Elbow, } 90^\circ &= 3 \text{ buah} \\ \text{Le/D} &= 35 & \text{(Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99)} \\ \text{L elbow} &= 35 \text{ ID} \\ &= 35 \times 3 \times 0,6651 \\ &= 69,83 \text{ ft} \\ \text{c. Gate valve} &= 2 \text{ buah} \\ \text{Le/D} &= 225 & \text{(Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99)} \\ \text{L elbow} &= 225 \text{ ID} \\ &= 225 \times 2 \times 0,6651 \\ &= 299,28 \text{ ft} \\ &= 91,22 \text{ m}\end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

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

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}\Delta L &= 50 + 69,83 + 299,28 \\ &= 419,12 \text{ ft}\end{aligned}$$

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot g_c \cdot D} \\ &= \frac{4 \times 0,0045 \times (5,80)^2 \times 419,12}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,6651} \\ &= 5,94 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}K_f &= 0,75 & \text{(Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100)} \\ h_f &= \left(3 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \right) \\ &= 3 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \cdot g_c}\end{aligned}$$

$$= \frac{2 \times 32,1740}{1,18} \text{ lbf.ft/lbm}$$

3. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

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

$$= 2 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740}$$

$$= 0,78 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + h_f + h_f = 7,90 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

$$\Delta Z = 40 \text{ ft} = 12,192148 \text{ m}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 5,8028 \text{ ft/detik}$$

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

$$-W_s = \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{g_c} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F$$

$$= \left(\frac{5,80^2}{2 \times 1 \times 32,17} \right) + \left(\frac{40}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,16} \right) + 7,90$$

$$= 9,66$$

Menghitung daya pompa

$$W_p = \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{9,66 \times 2,02 \times 62,16}{550}$$

$$= 2,20 \text{ Hp}$$

$$\text{Untuk kapasitas (Q)} = 2,02 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 75\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{2,20}{0,75} = 2,94 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 85\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520})$$

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

$$= \frac{2,94}{0,85}$$

- = 3,45 Hp
- » Spesifikasi Pompa
- Tipe : *Centrifugal pump*
 - Daya pompa : 4 Hp
 - Bahan : *Carbon Steel*
 - Jumlah : 1 buah

12. Deaerator

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

Tipe : Horizontal Silinder

Dasar Perencanaan:

- rate aliran : 204616,83 kg/jam 213815,73
- : 451098,25 lb/jam
- densitas (ρ) air : 62,1581 lb/ft³

Perhitungan:

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{451098,25}{62,1581} \\ &= 7257,27 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 205,38 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{Waktu tinggal} &= 1 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 205,38 \times 1 \\ &= 205,38 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid 80% volume tangki, sehingga:

$$\text{Volume tangki} = \frac{205,38 \text{ m}^3}{0,80} = 256,73 \text{ m}^3$$

Menentukan dimensi tangki

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

Diasumsikan:

$$\begin{aligned} L_s &= 1,5 D_i, \text{ sehingga:} \\ 256,73 &= 1/4 \times 3,14 \times (D_i)^2 \times 1,5 D_i \\ 256,73 &= 1,18 D_i^3 \end{aligned}$$

$$D_i = 6,02 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, tinggi tangki (Ls)} &= 1,5 \times 6,02 \\ &= 9,03 \text{ m} \end{aligned}$$

Menentukan tinggi tutup (h):

$$\begin{aligned} h &= 0,196 D_i \\ &= 0,196 \times 6,02 \\ &= 1,18 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, total tinggi tangki} &= L_s + 2 (h) \\ &= 9,03 + 2 (1,18) \\ &= 11,39 \text{ m} \end{aligned}$$

Spesifikasi Peralatan:

- Bentuk : *Horizontal Silinder*
- Dimensi : Tinggi = 9,03 m
D_i = 6,02 m
- Bahan : *Carbon Steel SA 240 Grade M Tipe 316*
- Jumlah : 1 buah

13. Bak Air Umpan Boiler

Fungsi : Sebagai tempat untuk menampung air setelah melalui proses deaerasi

Dasar Perhitungan :

- Rate aliran = 204616,83 kg/jam
= 451098,25 lb/jam
- Densitas air (ρ) = 62,1581 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{451098,25}{62,1581} \\ &= 7257,27 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 205,38 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu tinggal} &= 3 \text{ jam} \\ \text{Volume tinggal} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 205,38 \times 3 \\ &= 616,14 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga :} \\ \text{Volume bak} &= \frac{616,14}{0,8} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 80\% \\
 &= 770,18 \text{ m}^3 \\
 &= 27198,59 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio :

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

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume baku} &= 30 y^3 \\
 770,18 &= 30 y^3 \\
 y^3 &= 25,67 \\
 y &= 2,95 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi panjang bak umpan boiler

$$\begin{aligned}
 - \text{ Panjang} &= 5 \times 2,95 = 14,75 \approx 15 \text{ m} \\
 - \text{ Lebar} &= 3 \times 2,95 = 8,85 \approx 9 \text{ m} \\
 - \text{ Tinggi} &= 2 \times 2,95 = 5,90 \approx 6 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat	: Bak Umpan Boiler
Fungsi	: Tempat untuk menampung air bersih untuk air umpan boiler
Bentuk	: Persegi Panjang
Panjang	: 15 m
Lebar	: 9 m
Tinggi	: 6 m
Bahan	: Beton
Jumlah	: 1 buah

14. Pompa Air Umpan Boiler

Fungsi : Memompakan air untuk umpan boiler

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

$$\begin{aligned}
 - \text{ rate aliran} &= 204616,83 \text{ kg/jam} \\
 &= 451098,25 \text{ lb/jam} \\
 - \text{ jumlah pompa} &= 1 \\
 \text{rate aliran} &= 451098,25 \text{ lb/jam} \\
 - \text{ densitas } (\rho) \text{ air} &= 62,1581 \text{ lb/ft}^3 \\
 - \text{ viskositas } (\mu) &= 0,000538 \text{ lb/ft.detik} \\
 &= 1,936967 \text{ lb/ft.jam}
 \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{451098,25 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 7257,27 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 2,02 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 753,46 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal.496}) \\
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times (2,0159)^{0,45} \times (62,16)^{0,13} \\
 &= 9,146 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.996})$$

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 8,625 \text{ in} = 0,71874 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 7,981 \text{ in} = 0,66508 \text{ ft}$$

$$\text{A} = 0,34740 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{2,02 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,35 \text{ ft}^2} \\
 &= 5,80 \text{ ft/detik} \\
 &= 20890,24 \text{ ft/jam}
 \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,66508 \times 5,8028 \times 62,1581}{0,000538} \\
 &= 445852,05
 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast Iron*

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 0,000046 = 0,00015 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000150917}{0,6651} = 0,00023$$

$$f = 0,0045 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94})$$

Direncanakan :

$$\text{a. Panjang pipa lurus} = 50 \text{ ft} = 15,24 \text{ m}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Le/D} &= 35 && (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99}) \\
 \text{L elbow} &= 35 \text{ ID} \\
 &= 35 \times 2 \times 0,6651 \\
 &= 46,56 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Gate valve} &= 1 \text{ buah} \\
 \text{Le/D} &= 225 && (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99}) \\
 \text{L elbow} &= 225 \text{ ID} \\
 &= 225 \times 1 \times 0,6651 \\
 &= 149,64 \text{ ft} \\
 &= 45,61 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

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

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= 50 + 46,56 + 149,64 \\
 &= 246,20 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot g_c \cdot D} \\
 &= \frac{4 \times 0,0045 \times (5,80)^2 \times 246,20}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,6651} \\
 &= 3,49 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° = 3 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= \left(3 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \right) \\
 &= 3 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740} \\
 &= 1,18 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\
 &= 2 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740} \\
 &= 0,78 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + h_f + h_f = 5,45 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

$$\Delta Z = 15 \text{ ft} = 4,5720556 \text{ m}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 5,8028 \text{ ft/detik}$$

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

$$\begin{aligned} -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{g_c} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\ &= \left(\frac{5,80}{2 \times 1 \times 32,17} \right) + \left(\frac{15}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,16} \right) + 5,45 \\ &= 6,44 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{6,44 \times 2,02 \times 62,16}{550} \\ &= 1,47 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Untuk kapasitas } (Q) = 2,02 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 75\% \quad (\text{Timmerhaus, fig. 14-37 hal. 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{1,47}{0,75} = 1,96 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 85\% \quad (\text{Timmerhaus, fig. 14-37 hal. 520})$$

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{1,96}{0,85} \\ &= 2,30 \text{ Hp} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 3 Hp
- Bahan : *Carbon Steel*
- Jumlah : 1 buah

15. Pompa Air Lunak II

Fungsi : Memompakan air dari bak penampung untuk menuju unit air proses

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- rate aliran	=	204616,83	kg/jam
	=	451098,25	lb/jam
- jumlah pompa	=	1	
rate aliran	=	451098,25	lb/jam
- densitas (ρ) air	=	62,1581	lb/ft ³
- viskositas (μ)	=	0,000538	lb/ft.detik
	=	1,936967	lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{451098,25 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 7257,27 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 2,02 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 753,46 \text{ gpm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal.496}) \\ \text{ID optimal} &= 3,9 \times (2,0159)^{0,45} \times (62,16)^{0,13} \\ &= 9,146 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.996})$$

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 8,625 \text{ in} = 0,71874 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 7,981 \text{ in} = 0,66508 \text{ ft}$$

$$\text{A} = 0,34740 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{2,02 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,35 \text{ ft}^2} \\ &= 5,80 \text{ ft/detik} \\ &= 20890,24 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,66508 \times 5,8028 \times 62,1581}{0,000538} \\ &= 445852,05 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast Iron*

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned} \varepsilon &= 0,000046 &= 0,00015 \text{ ft} & \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94)} \\ \frac{\varepsilon}{D} &= \frac{0,000150917}{0,6651} &= 0,00023 \\ f &= 0,0045 & \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94)} \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned} \text{a. Panjang pipa lurus} &= 50 \text{ ft} = 15,24 \text{ m} \\ \text{b. Elbow, } 90^\circ &= 3 \text{ buah} \\ \text{Le/D} &= 35 & \text{(Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99)} \\ \text{L elbow} &= 35 \text{ ID} \\ &= 35 \times 3 \times 0,6651 \\ &= 69,83 \text{ ft} \\ \text{c. Gate valve} &= 2 \text{ buah} \\ \text{Le/D} &= 225 & \text{(Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99)} \\ \text{L elbow} &= 225 \text{ ID} \\ &= 225 \times 2 \times 0,6651 \\ &= 299,28 \text{ ft} \\ &= 91,22 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

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

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned} \Delta L &= 50 + 69,83 + 299,28 \\ &= 419,12 \text{ ft} \end{aligned}$$

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned} F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot a \cdot gc \cdot D} \\ &= \frac{4 \times 0,0045 \times (5,80)^2 \times 419,12}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,6651} \\ &= 5,94 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} K_f &= 0,75 & \text{(Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100)} \\ h_f &= \left(3 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \right) \\ &= 3 \frac{0,75 \times (5,80)^2}{2 \times 32,1740} \end{aligned}$$

$$= 1,18 \quad \text{lbf.ft/lbm}$$

3. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

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

$$= 2 \frac{0,75}{2} \times \frac{(5,80)^2}{32,1740}$$

$$= 0,78 \quad \text{lbf.ft/lbm}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + h_f + h_f = 7,90 \quad \text{lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

$$\Delta Z = 15 \quad \text{ft} = 4,5720556 \quad \text{m}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 5,8028 \quad \text{ft/detik}$$

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

$$-W_s = \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{gc} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F$$

$$= \left(\frac{5,80}{2 \times 1 \times 32,17} \right) + \left(\frac{15}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,16} \right) + 7,90$$

$$= 8,89$$

Menghitung daya pompa

$$W_p = \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{8,89 \times 2,02 \times 62,16}{550}$$

$$= 2,02 \quad \text{Hp}$$

$$\text{Untuk kapasitas } (Q) = 2,02 \quad \text{gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 75\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{2,02}{0,75} = 2,70 \quad \text{Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 85\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520})$$

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

$$= \frac{2,70}{0,85}$$

$$= 3,18 \quad \text{Hp}$$

- » Spesifikasi Pompa
- Tipe : *Centrifugal pump*
 - Daya pompa : 4 Hp
 - Bahan : *Carbon Steel*
 - Jumlah : 1 buah

16. Bak Air Proses

Fungsi : Sebagai tempat untuk menampung air untuk proses Quenching

Dasar Perhitungan :

- Rate aliran = 451098,25 kg/jam
= 994491,21 lb/jam
- Densitas air (ρ) = 62,1581 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{994491,21}{62,1581} \\ &= 15999,37 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 452,78 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu tinggal} &= 2 \text{ jam} \\ \text{Volume tinggal} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 452,78 \times 2 \\ &= 905,56 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga :} \\ \text{Volume bak} &= \frac{905,56}{80\%} \\ &= 1131,96 \text{ m}^3 \\ &= 39974,68 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio :

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

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume baku} &= 30 y^3 \\ 1131,96 &= 30 y^3 \end{aligned}$$

$$y^3 = 37,73$$

$$y = 3,35 \text{ m}$$

Jadi panjang bak umpan boiler

- Panjang	=	5 × 3,35	=	16,77	≈	17 m
- Lebar	=	3 × 3,35	=	10,06	≈	10 m
- Tinggi	=	2 × 3,35	=	6,71	≈	7 m

Spesifikasi alat :

Nama alat : Bak Umpan Boiler
 Fungsi : Tempat untuk menampung air bersih untuk air umpan boiler
 Bentuk : Persegi Panjang
 Panjang : 17 m
 Lebar : 10 m
 Tinggi : 7 m
 Bahan : Beton
 Jumlah : 1 buah

17. Pompa Air Proses

Fungsi : Memompakan air untuk proses Quenching

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- rate aliran	=	451098,25 kg/jam
	=	994491,21 lb/jam
- jumlah pompa	=	1
rate aliran	=	994491,21 lb/jam
- densitas (ρ) air	=	62,1581 lb/ft ³
- viskositas (μ)	=	0,000538 lb/ft.detik
	=	1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

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

$$= \frac{994491,21 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 15999,37 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 4,44 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

$$= 1661,08 \text{ gpm}$$

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

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

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times (4,4443)^{0,45} \times (62,16)^{0,13}$$

$$= 13,0536 \text{ in}$$

Standarisasi ID = 8 in sch 40 (*Geankoplis, App. A.5 hal.996*)

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 8,625 \text{ in} = 0,71874 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 7,981 \text{ in} = 0,66508 \text{ ft}$$

$$\text{A} = 0,34740 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{4,44 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,35 \text{ ft}^2} \\ &= 12,79 \text{ ft/detik} \\ &= 46054,62 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{\text{Re}} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,66508 \times 12,7929 \times 62,1581}{0,000538} \\ &= 982925,44 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast Iron*

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 0,000046 = 0,00015 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000150917}{0,6651} = 0,00023$$

$$f = 0,0045 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94})$$

Direncanakan :

$$\text{a. Panjang pipa lurus} = 50 \text{ ft} = 15,24 \text{ m}$$

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

$$L_e/D = 35 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99})$$

$$L_{\text{elbow}} = 35 \text{ ID}$$

$$= 35 \times 2 \times 0,6651$$

$$= 46,56 \text{ ft}$$

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

$$L_e/D = 225 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99})$$

$$L_{\text{elbow}} = 225 \text{ ID}$$

$$= 225 \times 1 \times 0,6651$$

$$= 149,64 \text{ ft}$$

$$= 45,61 \text{ m}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

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

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned} \Delta L &= 50 + 46,56 + 149,64 \\ &= 246,20 \text{ ft} \end{aligned}$$

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned} F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot gc \cdot D} \\ &= \frac{4 \times 0,0045 \times (12,79)^2 \times 246,20}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,6651} \\ &= 16,95 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° = 3 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$\begin{aligned} h_f &= \left(3 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \right) \\ &= 3 \frac{0,75 \times (12,79)^2}{2 \times 32,1740} \\ &= 5,72 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$\begin{aligned} h_f &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \\ &= 2 \frac{0,75 \times (12,79)^2}{2 \times 32,1740} \\ &= 3,82 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + hf + h_f = 26,48 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

$$\Delta Z = 25 \text{ ft} = 7,6200927 \text{ m}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 12,7929 \text{ ft/detik}$$

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

$$-W_s = \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{gc} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F$$

$$= \left(\frac{12,79^2}{2 \times 1 \times 32,17} \right) + \left(\frac{25}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,16} \right) + 26,48$$

$$= 29,80$$

Menghitung daya pompa

$$W_p = \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{29,80 \times 4,44 \times 62,16}{550}$$

$$= 14,97 \text{ Hp}$$

Untuk kapasitas (Q) = 4,44 gpm

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

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{14,97}{0,75} = 19,96 \text{ Hp}$$

η motor = 80% (Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520)

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

$$= \frac{19,96}{0,8}$$

$$= 24,95 \text{ Hp}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 25 Hp
- Bahan : *Carbon Steel*
- Jumlah : 1 buah

18. Pompa Air Lunak III

Fungsi : Memompakan air dari bak penampung untuk menuju unit air pendingin

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 451098,25 kg/jam
= 994491,21 lb/jam
- jumlah pompa = 1
- rate aliran = 994491,21 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

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

$$= \frac{994491,21}{62,1581} \text{ lb/jam}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{62,16}{1} \text{ lb/ft}^3 \\
 &= 15999,37 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 4,44 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 1661,08 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times (4,4443)^{0,45} \times (62,16)^{0,13} \\
 &= 13,0536 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.996})$$

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 8,625 \text{ in} = 0,71874 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 7,981 \text{ in} = 0,66508 \text{ ft}$$

$$\text{A} = 0,34740 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{4,44 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,35 \text{ ft}^2} \\
 &= 12,79 \text{ ft/detik} \\
 &= 46054,62 \text{ ft/jam}
 \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,66508 \times 12,7929 \times 62,1581}{0,000538} \\
 &= 982925,44
 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast Iron*

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 0,000046 = 0,00015 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000150917}{0,6651} = 0,00023$$

$$f = 0,0045 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94})$$

Direncanakan :

$$\text{a. Panjang pipa lurus} = 30 \text{ ft} = 9,14 \text{ m}$$

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

$$\text{Le/D} = 35 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99})$$

$$\text{L elbow} = 35 \text{ ID}$$

$$= 35 \times 3 \times 0,6651$$

$$\begin{aligned}
 &= 69,83 \text{ ft} \\
 \text{c. Gate valve} &= 2 \text{ buah} \\
 \text{Le/D} &= 225 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99}) \\
 \text{L elbow} &= 225 \text{ ID} \\
 &= 225 \times 2 \times 0,6651 \\
 &= 299,28 \text{ ft} \\
 &= 91,22 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

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

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= 30 + 69,83 + 299,28 \\
 &= 399,12 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot g_c \cdot D} \\
 &= \frac{4 \times 0,0045 \times (12,79)^2 \times 399,12}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,6651} \\
 &= 27,47 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° = 3 buah

$$\begin{aligned}
 K_f &= 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100}) \\
 h_f &= \left(3 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \right) \\
 &= 3 \frac{0,75 \times (12,79)^2}{2 \times 32,1740} \\
 &= 5,72 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$\begin{aligned}
 K_f &= 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100}) \\
 h_f &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\
 &= 2 \frac{0,75 \times (12,79)^2}{2 \times 32,1740} \\
 &= 3,82 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + hf + h_f = 37,01 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

$$\Delta Z = 15 \text{ ft} = 4,5720556 \text{ m}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 12,7929 \text{ ft/detik}$$

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

$$\begin{aligned} -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{gc} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\ &= \left(\frac{12,79^2}{2 \times 1 \times 32,17} \right) + \left(\frac{15}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,16} \right) + 37,01 \\ &= 40,02 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{40,02 \times 4,44 \times 62,16}{550} \\ &= 20,10 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Untuk kapasitas (Q)} = 4,44 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 75\% \quad (\text{Timmerhaus, fig. 14-37 hal. 520})$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{20,10}{0,75} = 26,80 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 85\% \quad (\text{Timmerhaus, fig. 14-37 hal. 520})$$

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{26,80}{0,85} \\ &= 31,53 \text{ Hp} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 32 Hp
- Bahan : *Carbon Steel*
- Jumlah : 1 buah

19. Bak Air Pendingin

Fungsi : Menampung air untuk pendingin

Dasar Perhitungan :

- Rate aliran = 994491,21 kg/jam
- = 2192455,32 lb/jam

$$\text{- Densitas air } (\rho) = 62,1581 \text{ lb/ft}^3$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{2192455,32}{62,1581} \\ &= 35272,22 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 998,20 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu tinggal} &= 2 \text{ jam} \\ \text{Volume tinggal} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 998,20 \times 2 \\ &= 1996,41 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga :} \\ \text{Volume bak} &= \frac{1996,41}{80\%} \\ &= 2495,51 \text{ m}^3 \\ &= 88128,18 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan rasio :

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

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume baku} &= 30 y^3 \\ 2495,51 &= 30 y^3 \\ y^3 &= 83,18 \\ y &= 4,37 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi panjang bak umpan boiler

$$\begin{aligned} \text{- Panjang} &= 5 \times 4,37 = 21,83 \approx 22 \text{ m} \\ \text{- Lebar} &= 3 \times 4,37 = 13,10 \approx 13 \text{ m} \\ \text{- Tinggi} &= 2 \times 4,37 = 8,73 \approx 9 \text{ m} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat : Bak Umpan Boiler
 Fungsi : Tempat untuk menampung air bersih untuk air umpan boiler
 Bentuk : Persegi Panjang
 Panjang : 22 m

Lebar	:	13	m
Tinggi	:	9	m
Bahan	:	Beton	
Jumlah	:	1	buah

20. Pompa Air Pendingin

Fungsi : Memompakan air untuk didistribusikan ke alat proses

Type : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- rate aliran	=	994491,21	kg/jam
	=	2192455,32	lb/jam
- jumlah pompa	=	1	
rate aliran	=	2192455,32	lb/jam
- densitas (ρ) air	=	62,1581	lb/ft ³
- viskositas (μ)	=	0,000538	lb/ft.detik
	=	1,936967	lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{2192455,32 \text{ lb/jam}}{62,16 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 35272,22 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 9,80 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 3662,01 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal.496}) \\
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times (9,7978)^{0,45} \times (62,16)^{0,13} \\
 &= 18,6306 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 8 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.996})$$

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= 8,625 \text{ in} = 0,71874 \text{ ft} \\
 \text{ID} &= 7,981 \text{ in} = 0,66508 \text{ ft} \\
 \text{A} &= 0,34740 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{9,80 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,35 \text{ ft}^2} \\
 &= 28,20 \text{ ft/detik} \\
 &= 101532,01 \text{ ft/jam}
 \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned}
 N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,66508 \times 28,2033 \times 62,1581}{0,000538} \\
 &= 2166957,42
 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah *Cast Iron*

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \varepsilon &= 0,000046 &= 0,00015 \text{ ft} & \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94)} \\
 \frac{\varepsilon}{D} &= \frac{0,000150917}{0,6651} &= 0,00023 \\
 f &= 0,0045 & \text{(Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 94)}
 \end{aligned}$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \text{a. Panjang pipa lurus} &= 50 \text{ ft} = 15,24 \text{ m} \\
 \text{b. Elbow, } 90^\circ &= 2 \text{ buah} \\
 \text{Le/D} &= 35 & \text{(Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99)} \\
 \text{L elbow} &= 35 \text{ ID} \\
 &= 35 \times 2 \times 0,6651 \\
 &= 46,56 \text{ ft} \\
 \text{c. Gate valve} &= 1 \text{ buah} \\
 \text{Le/D} &= 225 & \text{(Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 99)} \\
 \text{L elbow} &= 225 \text{ ID} \\
 &= 225 \times 1 \times 0,6651 \\
 &= 149,64 \text{ ft} \\
 &= 45,61 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

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

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= 50 + 46,56 + 149,64 \\
 &= 246,20 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot g_c \cdot D} \\
 &= \frac{4 \times 0,0045 \times (28,20)^2 \times 246,20}{2 \cdot \alpha \cdot g_c \cdot D}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{2 \times 1 \times 32,1740}{82,37} \times 0,6651$$

$$= \text{lb.f.ft/lbm}$$

2. Friksi pada Elbow 90° = 3 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

$$h_f = \left(3 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot gc} \right)$$

$$= 3 \frac{0,75 \times (28,20)^2}{2 \times 32,1740}$$

$$= 27,81 \text{ lb.f.ft/lbm}$$

3. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 100})$$

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

$$= 2 \frac{0,75 \times (28,20)^2}{2 \times 32,1740}$$

$$= 18,54 \text{ lb.f.ft/lbm}$$

Sehingga

$$\text{Total friksi } (\Sigma F) = F_f + h_f + h_f = 128,72 \text{ lb.f.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

$$\Delta Z = 35 \text{ ft} = 10,66813 \text{ m}$$

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 28,2033 \text{ ft/detik}$$

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

$$-W_s = \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{gc} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F$$

$$= \left(\frac{28,20^2}{2 \times 1 \times 32,17} \right) + \left(\frac{35}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,16} \right) + \text{####}$$

$$= 142,17$$

Menghitung daya pompa

$$W_p = \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{142,17 \times 9,80 \times 62,16}{550}$$

$$= 157,43 \text{ Hp}$$

Untuk kapasitas (Q) = 9,80 gpm

$$\begin{aligned} \eta \text{ pompa} &= 75\% && (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520}) \\ \text{BHP} &= \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{157,43}{0,75} = 209,90 \text{ Hp} \\ \eta \text{ motor} &= 85\% && (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520}) \\ \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{209,90}{0,85} \\ &= 246,94 \text{ Hp} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : *Centrifugal pump*
- Daya pompa : 247 Hp
- Bahan : *Carbon Steel*
- Jumlah : 1 buah

21. Cooling Tower Water

Fungsi : Mendinginkan air yang akan digunakan sebagai air pendingin

Dasar Perhitungan :

- Rate aliran = 994491,21 kg/jam
= 2192455,32 lb/jam
- Densitas air (ρ) = 62,1581 kg/L
= 3881,9777 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned} Q &= \frac{\text{rate aliran}}{\rho \text{ air}} = \frac{2192455,32}{3881,9777} = 564,78 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,16 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 70,41 \text{ gal/menit} \end{aligned}$$

- 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 :

$$A = \frac{70,41}{3,00} = 23,47 \text{ ft}^2$$

Menghitung diameter :

$$\begin{aligned} \text{Luas} &= \frac{\pi}{4} d^2 \\ 23,47 &= \frac{3,14}{4} d^2 \\ d^2 &= 29,90 \\ d &= 5,47 \quad \text{ft} \end{aligned}$$

Menghitung volume :

$$\text{Direncanakan tinggi tower (L)} = 3 d$$

Maka,

$$\begin{aligned} L &= 3 \times 5,47 \\ &= 16,40 \quad \text{ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \frac{\pi}{4} d^2 L \\ &= \frac{3,14}{4} \times 5,4681^2 \times 16,404 \\ &= 385,033 \quad \text{ft}^3 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \frac{\text{Hp fan}}{\text{Luas tower area}} &= 0,03 \quad \text{Hp/ft}^2 \\ \text{Hp fan} &= 0,03 \times 23,471 \\ \text{Hp fan} &= 0,7041 \quad \text{Hp} \approx 1 \quad \text{Hp} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

Nama alat	: Cooling tower
Fungsi	: Mendinginkan air yang akan digunakan sebagai air pendingin
Tipe	: Included Draft Tower
Diameter	: 5,47 ft
Tinggi	: 16,40 ft
Daya	: 1 Hp

2. Unit Penyediaan Tenaga Listrik

Kebutuhan tenaga listrik pada Pra Rencana Pabrik Kalsium Hidroksida direncanakan dan disediakan oleh PLN 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 dibawah ini.

Tabel 2.1. Pemakaian listrik pada peralatan proses produksi

No	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Daya (Hp)	Tota
1	F-111	Pompa DMF	1	4	4
2	L-117	Pompa Fuel Oil	1	7	7
3	G-119	Blower	4	30	120
4	L-122	Pompa output Absorber	1	2	2
5	L-134	Pompa Reboiler	1	1	1
6	L-136	Pompa Bottom Produk	1	2	2
Total					136

b. Daerah Pengolahan Air

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

Tabel 2.2. Pemakaian listrik pada daerah pengolahan air

No	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Daya (Hp)	Tota
1	L-211	Pompa air kawasan	2	29	58
2	L-214	Pompa bak klorinasi	1	1	1
3	L-213	Pompa kation-anion exchange	1	7	7
4	L-216	Pompa air sanitasi	1	1	1
5	L-222A	Pompa ke deaerator	1	3	3
6	L-231	Pompa air pendingin	1	7	7
7	L-222B	Pompa air proses	1	5	5
8	L-225	Pompa ke boiler	1	1	1
9	L-228	Pompa ke Quencher	1	5	5
10	L-223	Pompa ke pendingin	1	10	10
11	L-230	Cooling tower	1	10	10
Jumlah					108

Jadi, kebutuhan total untuk motor penggerak sebesar :

$$= 136 + 108$$

$$= 244,00 \text{ Hp}$$

$$= 179,306 \text{ Kw/h}$$

c. Listrik untuk Penerangan

Pemakaian listrik untuk penerangan dapat diperoleh dengan mengetahui luas bangunan. Untuk mengetahui luas bangunan dan area lahan yang digunakan, dapat dihitung dengan 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

= 0,80

D = efisiensi penerangan rata-rata = ## (Perry 3th ed, hal 1757)

Tabel D.6. Pemakaian listrik untuk penerangan

No	Lokasi	Luas		F	Lumen
		m ²	ft ²		
1	Pos keamanan	14	150,69	10	2511,52
2	Parkir kendaraan tamu	100	1076,36	5	8969,71
3	Parkir kendaraan karyawan	200	2152,73	10	35878,83
4	Taman	432	4649,90	5	38749,14
5	Areal perkantoran	2	21,53	25	896,97
6	Aula	750	8072,74	10	134545,61
7	Poliklinik	100	1076,36	5	8969,71
8	Mushola	300	3229,09	10	53818,24
9	Bengkel	500	5381,82	10	89697,07
10	Kantin	300	3229,09	5	26909,12
11	Ruang kontrol	120	1291,64	20	43054,59
12	Toilet	216	2324,95	30	116247,41
13	Perpustakaan	150	1614,55	10	26909,12
14	Area proses produksi	4,95	53,28	5	444,00
15	Departemen Produksi	150	1614,55	10	26909,12
16	Departemen Teknik	150	1614,55	25	67272,80
17	Areal tangki bahan bakar	500	5381,82	10	89697,07
18	Laboratorium dan QC	232	2497,17	10	41619,44
19	Area bahan baku	1,34	14,42	10	240,39
20	Ruang genset	440	4736,01	25	197333,56
21	Ruang Boiler	25	269,09	10	4484,85
22	Area penyimpanan produ	1,2	12,92	12	258,33
23	Pemadam kebakaran	500	5381,82	10	89697,07
24	Area pengolahan limbah	425	4574,55	10	76242,51
25	Area pengolahan air	1	10,76	10	179,39
26	Area perluasan pabrik	1,4	15,07	5	125,58

27	Jalan	1,5	16,15	5	134,55
Jumlah		5617,39	60463,61	312	1181795,70

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

$$\text{Lumen output} = \frac{2500 \text{ lumen}}{36 \text{ watt}} = 69,4 \text{ lumen/watt}$$

$$\begin{aligned} \text{Total lumen} &= \text{Jumlah lumen} - (\text{lumen jalan} + \text{lumen taman}) \\ &= 1181795,70 - 134,55 + 38749,14 \\ &= 1142912,02 \text{ lumen} \end{aligned}$$

$$\text{Tenaga listrik yang dibutuhkan} = \frac{1142912,02 \text{ lumen}}{69,44444444 \text{ lumen/watt}}$$

$$= 16457,93 \text{ watt}$$

$$\text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} = \frac{16457,93 \text{ watt}}{36 \text{ watt}}$$

$$= 457,16 \approx 457 \text{ buah}$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{Total lumen} &= \text{lumen jalan} + \text{lumen taman} \\ &= 134,55 + 38749,14 \\ &= 38883,68 \text{ lumen} \end{aligned}$$

$$\text{Tenaga listrik yang dibutuhkan} = \frac{38883,68 \text{ lumen}}{50 \text{ lumen/watt}}$$

$$= 777,67 \text{ watt}$$

$$\text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} = \frac{777,67 \text{ watt}}{75 \text{ watt}}$$

$$= 10,37 \approx 10 \text{ buah}$$

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

- Lampu fluorescent	=	16457,93
- Lampu mercury	=	777,67
- Peralatan bengkel	=	2000,00
- Peralatan laboratorium	=	1500,00
- Keperluan lain-lain	=	2500,00
Total		= 23235,61 watt
		= 23,24 kW

$$\begin{aligned}
 \text{Total kebutuhan listrik} &= \text{listrik untuk penerangan} + \text{listrik untuk proses} \\
 &= 23,24 + 179,31 \\
 &= 202,54 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Pemenuhan kebutuhan listrik yang diperlukan pabrik, PLN sebesar 40% dan untuk menjamin kelancaran produksi sebesar 60% akan di penuhi oleh generator set yang memiliki oleh pabrik, sehingga:

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan listrik yang di penuhi PLN} &= 202,54 \times 40\% \\
 &= 81,02 \text{ kWH} \\
 \text{Kebutuhan listrik yang di penuhi pabrik} &= 202,54 \times 60\% \\
 &= 121,53 \text{ kWH}
 \end{aligned}$$

Generator digunakan sebagai emergensi jika *supply* listrik mati.

$$\text{Power faktor untuk generator} = 0,80$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 \text{Power yang dibangkitkan oleh generator} &= \frac{121,53}{0,8} \text{ kW} \\
 &= 151,91 \text{ kV.A} \\
 &= 152 \text{ kV.A}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

- Nama alat : Generator
- Fungsi : Sebagai mergensi jika supply listik mati
- Tipe : AC Generator 3 Phase
- Kapasitas : 152 kV.A, 220 - 13800 Volt
- Frekuensi : 50/60 Hz
- Jumlah : 2 buah (1 cadangan)

3. 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 : 331,55 kg/jam
 Bahan bakar yang digunakan adalah fuel oil 33° API, dengan densitas :

$$\rho = 880,99 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jadi, volume diesel oil} &= \frac{331,55}{880,99} = 0,376 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 &= 9032,04 \text{ L/hari}
 \end{aligned}$$

b. Kebutuhan bahan bakar generator

$$\begin{aligned} \text{Tenaga generator} &= 344 \text{ kW} \\ &= 28170744,19 \text{ btu/hari} \end{aligned}$$

Bahan bakar yang digunakan adalah fuel oil 33° API,

$$\begin{aligned} - \text{ Heating value (H}_v) &= 134000 \text{ btu/lb} \\ - \text{ Densitas } (\rho) &= 55 \text{ lb/ft}^3 \\ &= 880,99 \text{ kg/m}^3 \\ - \text{ Efisiensi } (\mu) &= 80\% \end{aligned}$$

(Perry 6th ed, fig. 9.9, hal 9-18)

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar} &= \frac{28170744,19}{134000 \times 80\% \times 55} \\ &= 4,78 \text{ ft}^3/\text{hari} \\ &= 135,30 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Sehingga kebutuhan total bahan bakar per hari, sebesar :

$$\begin{aligned} &= \text{Boiler} + \text{Generator} \\ &= 9032,04 + 135,30 \\ &= 9167,34 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Tangki Bahan Bakar

Fungsi : Untuk menyimpan bahan bakar yang digunakan

Dasar Perhitungan :

$$\begin{aligned} - \text{ Volume bahan bakar} &= 9167,34 \text{ L/hari} \\ &= 323,74 \text{ ft}^3/\text{hari} \\ - \text{ P} &= 14,7 \text{ psig} \\ - \text{ T} &= 30 \text{ }^\circ\text{C} \\ - \text{ Waktu penyimpanan} &= 30 \text{ hari} \\ - \text{ Volume bahan bakar dianggap menempati} &= 80\% \text{ volume tangki} \\ - \text{ Direncanakan menggunakan 3 buah tangki} & \end{aligned}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan bakar} &= 323,74 \text{ ft}^3/\text{hari} \times 30 \text{ hari} \\ &= 9712,20 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{9712,20}{80\%} = 12140,24 \text{ ft}^3 \\ &= 90821,17 \text{ gal} \end{aligned}$$

- Menghitung diameter tangki :

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

$$\begin{aligned}
 \text{Dianggap } H &= 1,5 D, \text{ maka :} \\
 12140,24 &= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times 1,5 D \\
 12140,24 &= 1,1775 D^3 \\
 D^3 &= 10310,19 \\
 D &= 21,76 \text{ ft} \\
 &= 261,18 \text{ in} \\
 H &= 1,5 D \\
 &= 391,77 \text{ in}
 \end{aligned}$$

- Menghitung tebal tangki :

Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316

$$F \text{ allowable (f)} = 18750$$

$$\text{Faktor korosi (C)} = \frac{1}{16} \quad (\text{Brownell \& Young, item 4, 342})$$

$$\text{Tipe pengelasan} = \text{Double welded butt join (E = 0,8)}$$

(Brownell & Young, tabel 13.2, 254)

$$\begin{aligned}
 \text{tebal silinder} &= \frac{P_i \cdot d_i}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C \\
 &= \frac{14,7 \times 261,1781}{2 \times [(18750 \times 0,8) - (0,6 \times 14,7000)]} + \frac{1}{16} \\
 &= 0,1281 + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{3,05}{16} \approx \frac{3}{16}
 \end{aligned}$$

Standarisasi do

$$\begin{aligned}
 do &= di + 2 ts \\
 &= 261,18 + \left(2 \times \frac{3}{16} \right) \\
 &= 261,55 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Standarisasi dengan Tabel 5.7, Brownell and Young, hal 89

$$do = 66$$

$$icr = 4$$

$$r = 66$$

$$ts = 3/16$$

maka :

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

$$\begin{aligned}
 &= 66 - \left(2 \times \frac{3}{16} \right) \\
 &= 65,63 \text{ in} \\
 &= 5,47 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menentukan tebal tutup atas (standar dished) :

$$\begin{aligned}
 \text{tha} &= \frac{0,885 \times \text{Pi} \times r}{(f E - 0,6 \text{ Pi})} + C \\
 &= \frac{0,8850 \times 14,7 \times 66}{[(18750 \times 0,8) - (0,6 \times 14,7)]} + \frac{1}{16} \\
 &= 0,0286 + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{1,46}{16} \approx \frac{3}{16}
 \end{aligned}$$

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 = 391,7671 in
ts = 3/16 in
tha = 3/16 in
- Jumlah : 3 buah