

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 produk semaksimal mungkin dapat dicapai. Unit utilitas yang diperlukan pada Pra-Rencana pabrik Formaldehid ini antara lain :

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

Dari kebutuhan unit utilitas yang diperlukan, maka utilitas tersebut dibagi menjadi 5 unit:

1. Unit Pengolahan Air (*Water Treatment*)

- Air sanitasi
- Air Proses
- Air umpan boiler (penghasil steam)

2. Unit penyediaan dowtherm A

3. Unit penyediaan tenaga listrik

4. Unit penyediaan bahan bakar

5. Unit penyediaan udara

A Unit Pengolahan Air (Water Treatment)

Untuk memenuhi kebutuhan air pada pabrik, direncanakan menggunakan air kawasan. Pengambilan air kawasan ditampung dalam bak penampung untuk dilakukan pengolahan agar bisa dipakai sebagai air sanitasi. Sedangkan untuk air proses, air pendingin dan air umpan boiler akan diolah lebih lanjut sesuai kebutuhan masing-masing.

A.1. Air SANITASI

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

a. Syarat fisik

- Suhu : Berada dibawah suhu udara
- Warna : Warnanya jernih
- Rasa : Tidak berasa
- Bau : Tidak berbau
- pH : pH netral

b. Syarat kimia

- Tidak mengandung logam berat seperti Pb, As, Cr, Cd, Hg, Zn, dan Fe
- Tidak mengandung zat-zat kimia beracun seperti H₂S, NO₂, SO₃, dan SO₂

c. Syarat Mikrobiologis

- tidak mengandung kuman maupun bakteri, terutama bakteri patogen

Kebutuhan air sanitasi pada Pra Rencana pabrik Formaldehid ini adalah

1. Untuk kebutuhan karyawan

Menurut standart WHO kebutuhan air untuk tiap orang	=	120 L/hari/c
Jumlah karyawan pada pabrik	=	180 orang
Jam kerja untuk setiap karyawan	=	8 jam/hari

Jadi, kebutuhan air karyawan per jam kerja adalah :

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

$$\text{Kebutuhan per jam} = 5 \text{ L/jam}$$

Kebutuhan air untuk 180 karyawan

Maka,

$$5 \text{ L/jam} \times 180 = 900 \text{ L/jam}$$

Jika,

$$\begin{aligned} \text{densitas air} &= 995,7 \text{ kg/m}^3 \text{ (Karna suhu } 30 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 0,9957 \text{ kg/L Geankoplis, App. A.2-3 Hal 855)} \end{aligned}$$

Maka kebutuhan air sanitasi karyawan yaitu :

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

$$m = V \times \rho$$

$$m = 900 \text{ L/jam} \times 0,9957 \text{ kg/L}$$

$$m = 896,1120 \text{ kg/jam}$$

2. Untuk laboratorium dan tanaman

Direncanakan kebutuhan air untuk tanaman dan laboratorium adalah sebesar 40% dari kebutuhan karyawan. Sehingga, kebutuhan air untuk laboratorium dan tanaman :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Air} &= 40\% \times m \\ &= 40\% \times 896,112 \\ &= 358,4448 \text{ Kg/jam} \end{aligned}$$

Jadi, kebutuhan air untuk karyawan, laboratorium dan tanaman yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Air} &= m + \text{Kebutuhan air untuk laboratorium dan tanaman} \\ &= 896,1120 + 358,4448 \\ &= 1254,56 \text{ Kg/jam} \end{aligned}$$

3. Untuk pemadam kebakaran dan cadangan air

Air sanitasi yang digunakan untuk pemadam kebakaran dan cadangan direncanakan 40% dari kebutuhan air untuk karyawan, laboratorium dan musholla, Sehingga kebutuhan untuk pemadam kebakaran dan cadangan air yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Air} &= 40\% \times \text{kebutuhan karyawan,lab,tanaman} \\ &= 40\% \times 1254,56 \\ &= 501,8227 \text{ Kg/jam} \end{aligned}$$

Jadi, kebutuhan Total air sanitasi yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Air Total} &= \text{kebutuhan pemadam} + \text{kebutuhan karyawan, lab, tanaman} \\ &= 501,8227 + 1254,5568 \\ &= 1756,3795 \quad \text{Kg/jam} \end{aligned}$$

B. Air Proses

Air proses harus diolah sesuai dengan spesifikasinya dan harus bebas dari bahan terlarut didalam air proses. Air proses akan digunakan untuk proses pelarutan maka air proses harus terbebas dari dissolved solid sehingga air proses masih perlu diolah terlebih dahulu untuk menurunkan dan menghilangkan kandungan dissolved solidnya.

Air proses yang dibutuhkan digunakan pada alat-alat sebagai berikut :

Kode Alat	Nama Alat	Kebutuhan Air
		Jumlah (kg/jam)
D-120	Absorber	2525,1680
Total		2525,1680

C. Air Umpan Boiler Waste Heat Boiler

Air umpan boiler merupakan bahan baku pembuat steam yang memiliki fungsi sebagai media pemanas. Air yang digunakan harus memiliki karakteristik yang tidak merusak boiler. Pada Pra Rencana Pabrik Formaldehid ini, kebutuhan air pengisi boiler atau air umpan boiler berdasarkan pada kebutuhan steam. Berikut kebutuhan steam yang digunakan yaitu :

Tabel 8.1.2. Kebutuhan air pendingin pada peralatan

No	Nama Alat	Kode Alat	Jumlah (Kg/jam)
2	Vaporizer	V-113	1042,226
4	Heater Udara	E-116B	1044,453
Jumlah			2086,679

Direncanakan banyaknya air pendingin yang disuplai dengan excess 20%

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan steam} &= 1,2 \times \text{Jumlah kebutuhan air pendingin} \\ &= 1,2 \times 2086,679 \\ &= 2504,01 \quad \text{Kg/jam} \end{aligned}$$

Make Up untuk kebutuhan steam direncanakan excess Make Up untuk 20%

$$\begin{aligned} \text{Make Up steam} &= 1,2 \times \text{Kebutuhan air pendingin} \\ &= 1,2 \times 2504,01 \\ &= 3004,82 \quad \text{Kg/jam} \end{aligned}$$

Jadi jumlah steam yang harus dihasilkan oleh Boiler adalah :

$$\begin{aligned} \text{Massa steam (m}_s\text{)} &= 3004,817 \quad \text{kg/jam} \\ &= 6624,42 \quad \text{lb/jam} \end{aligned}$$

Steam yang digunakan adalah saturated steam dengan kondisi sebagai berikut :

- Suhu (T) = 300 °C = 572 F = 573 K
- Tekanan (P) = 9870 kpa = 1432 psia
- Air umpan Boiler masuk pada suhu = 30 °C = 86 F

Dasar Perhitungan:

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

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

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan Bahan Bakar} &= \frac{\text{effisiensi} \times H_v}{6624,4 \text{ lb/jam} \times \left(\frac{1172,9 - 49,71 \text{ btu/lb}}{0,85 \times 132000 \text{ btu/lb}} \right)} \\
 &= \frac{66,317 \text{ lb/jam}}{30,081 \text{ kg/jam}}
 \end{aligned}$$

Apabila ditetapkan :

- Heating value surface = 25,0 ft²/Hp boiler
- panjang pipa (L) = 50 ft
- Ukuran pipa = 10 in
- Luas permukaan (at) = 2,814 ft²/ft (Kern, tabel 10, hal. 844)

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

$$\begin{aligned}
 \text{Heating surface Boiler} &= H_v \text{ surface} \times \text{Hp Boiler} \\
 &= 25,0 \text{ ft}^2/\text{Hp} \times 207,8 \text{ Hp} \\
 &= 5194 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

Jumlah tube yang dibutuhkan,

$$\begin{aligned}
 N_t &= \frac{A}{at \times L} \\
 &= \frac{5194 \text{ ft}^2}{2,814 \text{ ft}^2/\text{ft} \times 50 \text{ ft}} \\
 &= 36,9157 \approx 37 \text{ tube}
 \end{aligned}$$

Spesifikasi Boiler

- Tipe : Fire Tube Boiler
- Kapasitas Boiler : 7440,7246 btu/jam
- Rate steam : 6624,4203 lb/jam
- Bahan bakar : Fuel oil 33 °API
- Effisiensi : 80%
- Heating surface : 5194 ft²
- Jumlah tube : 37 tube
- Ukuran tube : 10 in
- Panjang tube : 50 in
- Jumlah Boiler : 1 buah

Dari perhitungan di atas, diketahui bahwa jumlah air umpan yang dibutuhkan sebesar 7668,5 lb/jam. Air umpan Boiler disediakan excess 20% sebagai pengganti steam yang hilang, kebocoran akibat dari transmisi diperkirakan sebesar 5% dan faktor keamanan 10%.

Sehingga kebutuhan air umpan Boiler sebesar :

$$\begin{aligned}
 \text{Excess 20\%,} \\
 1,2 \times 7668,4784 \text{ lb/jam} &= 9202,1741 \text{ lb/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Faktor kebocoran 5\%,} \\
 5\% \times 7668,4784 \text{ lb/jam} &= 383,4239 \text{ lb/jam}
 \end{aligned}$$

Faktor keamanan 10%,

$$10\% \times 7668,4784 \text{ lb/jam} = 766,8478 \text{ lb/jam}$$

Jadi total kebutuhan air umpan Boiler adalah :

$$= 9202,1741 + 383,4239 + 766,8478 \text{ lb/jam}$$

$$= 10352,4459 \text{ lb/jam} = 4695,8387 \text{ kg/jam}$$

Total kebutuhan air yang perlu disuplay pada pra-rencana Pabrik Formaldehid ini adalah sebagai berikut :

Tabel D.1.3. Total kebutuhan air pada peralatan

No.	Keterangan	Jumlah (kg/jam)
1	Air Sanitasi	1.756,3795
2	Air Proses	2.525,1680
4	Air Boiler	4.695,8387
Jumlah		8.977,386

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

Alat-alat yang digunakan dalam pengolahan air yaitu:

1. Pompa Air kawasan (L-211)

Fungsi : Memompakan air kawasan ke bak penampung air bersih

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 8977,3862 kg/jam
= 19791,5456 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

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

$$= \frac{19791,5456 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 318,4064 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0884 \text{ ft}^3/\text{detik}$$

$$= 39,6974 \text{ gpm}$$

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

(Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)

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

$$\text{ID optimal} = 3,9 \left[\times 0,0884 \right]^{0,45} \times \left[62,1581 \right]^{0,13}$$

$$= 2,23988134 \text{ in}$$

Standarisasi ID = 3 in sch 40 (Geankoplis, App. A.5 hal.892)

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 3,5 \quad \text{in} = \text{#####} \text{ ft}$$

$$ID = 3,068 \quad \text{in} = \text{#####} \text{ ft}$$

$$A = 0,0513 \quad \text{ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0,0884 \quad \text{ft}^3/\text{detik}}{0,05130 \quad \text{ft}^2} \\ &= 1,7241 \quad \text{ft/detik} \\ &= 6206,7522 \quad \text{ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{ReNR} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,25566407 \times 1,7241 \times 62,1581}{0,000538} \\ &= 50922,5131 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 4000$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah Carbon Steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000151 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000151}{0,2557} = 0,000590$$

$$f = 0,006 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 80 ft

b. Elbow, 90° = 2 buah

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

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

$$= 35 \times 2 \times 0,2557$$

$$= 17,90 \text{ ft}$$

c. Gate valve = 1 buah (half open)

$$Le/D = 225 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93})$$

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

$$= 225 \times 1 \times 0,2557$$

$$= 57,52 \text{ ft}$$

d. Globe valve = 1 buah (half open)

$$Le/D = 475 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93})$$

$$L \text{ elbow} = 475 \text{ ID}$$

$$= 475 \times 1 \times 0,2557$$

$$= 121,44 \text{ ft}$$

Dari tabel 2.10.1 Geankoplis hal 93 diperoleh:

$$K_f = 1 \times 4,5 = 4,50$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\Delta L = 80 + 17,90 + 57,52 + 121,44$$

$$= 276,8613 \text{ ft}$$

1. Friksi pada kontraksi

$$K_c = 0,55 \times (1 - (A_2/A_1))$$

$$(A_2/A_1) = 0 \text{ karena nilai } A_1 > A_2$$

$$= 0,55$$

$$h_c = \frac{K_c v^2}{2 \alpha_{gc}}$$

$$= \frac{0,55 \times 2,973}{2 \times 1 \times 32,174}$$

$$= 0,025 \text{ lbf.ft/lbr}$$

2. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = \frac{4 f v^2 \Delta L}{2 \alpha_{gc} D}$$

$$= \frac{4 \times 0,006 \times 2,973 \times 276,861}{2 \times 1 \times 32,174 \times 0,2557}$$

$$= 1,2006 \text{ lbf.ft/lbr}$$

3. Friksi pada ekspansi

$$K_{ex} = (1 - (A_2/A_1))^2$$

$$= (1 - 0)^2$$

$$= 1$$

$$h_{ex} = \frac{K_{ex} v^2}{2 \alpha_{gc}}$$

$$= \frac{1 \times 2,9725}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 0,05 \text{ lbf.ft/lbr}$$

4. Friksi ada Elbow 90° = 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94})$$

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

$$= 2 \frac{0,8 \times 2,973}{2 \times 32,174}$$

$$= 0,0693 \text{ lbf.ft/lbr}$$

5. Friksi pada Globe valve = 1 buah

$$K_f = 6 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94})$$

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

$$= 1 \frac{6 \times 2,973}{2 \times 32,1740}$$

$$= 0,277166036 \text{ lbf.ft/lbm}$$

6. Friksi pada Gate valve = 1 buah

$$K_f = 2 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94})$$

$$\begin{aligned} h_f &= 1 \frac{K_f \times v^2}{2 \text{ gc}} \\ &= 1 \frac{2 \times 2,973^2}{2 \times 32,1740} \\ &= 0,092388679 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Sigma F &= F_f + h_c + h_{ex} + h_f \\ &= 1,2006 + 0,0254 + 0,04619 + 0,438846 \\ &= 1,7110 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

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

Direncanakan :

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

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 1,7241 \text{ ft/detik}$$

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

$$\begin{aligned} -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot \text{gc}} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{\text{gc}} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\ &= \left(\frac{1,7241^2}{2 \times 1 \times 32,174} \right) + \left(\frac{40}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,158} \right) + 1,711 \\ &= 3,0005 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{3,0005 \times 0,0884 \times 62,158}{550} \end{aligned}$$

$$= 0,0300 \text{ Hp}$$

$$\text{Untuk kapasitas (Q)} = 39,70 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 50\% \quad (\text{Geankoplis, fig 3.3-2 hal.136})$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0,0300}{0,50} = 0,060 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 80\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521})$$

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,060}{80\%} \\ &= 0,07497962 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : 1 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 = 8977,386 kg/jam = 19791,5456 lb/jam

- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{19791,55 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 318,4064 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 9,0163 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Waktu tinggal = 3 jam

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 9,0163 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\ &= 27,0489 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= \frac{27,0489 \text{ m}^3}{80\%} \\ &= 33,8112 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

Panjang : Lebar : Tinggi = 5 x 3 x 2

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\ &= 30 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 30 \text{ x}^3 \\ 33,8112 \text{ m}^3 &= 30 \text{ x}^3 \\ \text{x} &= 1,0407 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak sedimentasi :

Panjang = 5 × 1,0407 m = 5,2033 ≈ 6 m

Lebar = 3 × 1,0407 m = 3,1220 ≈ 4 m

Tinggi = 2 × 1,0407 m = 2,0813 ≈ 3 m

» Spesifikasi Bak Sedimentasi

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 6 m
- Lebar : 4 m
- Tinggi : 3 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

3. Pompa Air Bersih (L-213)

Fungsi : Memompakan air dari bak penampung air bersih untuk didistribusikan menuju treatment air umpan boiler dan air proses (ke kation dan anion exchanger)

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

- rate aliran	=	8977,3862	kg/jam
	=	19791,5456	lb/jam
- densitas (ρ) air	=	62,1581	lb/ft ³
- viskositas (μ)	=	0,000538	lb/ft.detik
	=	1,936967	lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{19791,5456 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 318,4064 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,0884 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 39,6974 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

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

(Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\
 \text{ID optimal} &= 3,9 \left[\times 0,0884 \right]^{0,5} \times \left[62,1581 \right]^{0,13} \\
 &= 2,23988134 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Karena diameter pipa terlalu besar sehingga diambil:

$$\text{Standarisasi ID} = 3 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.892})$$

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= 3,5 \text{ in} = 0,292 \text{ ft} \\
 \text{ID} &= 3,068 \text{ in} = 0,256 \text{ ft} \\
 \text{A} &= 0,051 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0,0884 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,051 \text{ ft}^2} \\
 &= 1,7241 \text{ ft/detik} \\
 &= 6206,7522 \text{ ft/jam}
 \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned}
 N_{re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,256 \times 1,7241 \times 62,1581}{0,000538} \\
 &= 50923,0304
 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 4000$ maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah Carbon Steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} \quad 4,6 \times 10^{-5} = 0,000151 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000151}{0,2557} = 0,000590$$

$$f = 0,006 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 100 ft

b. Elbow, 90° = 2 buah

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

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

$$= 35 \times 2 \times 0,2557$$

$$= 17,897 \text{ ft}$$

c. Gate valve = 2 buah (half open)

$$Le/D = 225 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal.93})$$

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

$$= 225 \times 2 \times 0,2557$$

$$= 115,05 \text{ ft}$$

d. Globe valve = 1 buah (half open)

$$Le/D = 475 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal.93})$$

$$L \text{ elbow} = 475 \text{ ID}$$

$$= 475 \times 1 \times 0,2557$$

$$= 121,44 \text{ ft}$$

Dari tabel 2.10.1 hal 93 diperoleh:

$$K_{Kf} = 2 \times 4,5 = 9,00$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\Delta L = 100 + 17,8967 + 115,0500 + 121,4417$$

$$= 354,38833 \text{ ft}$$

1. Friksi pada kontraksi

$$K_c = 0,55 \times (1 - (A_2/A_1))$$

$$(A_2/A_1) = 0 \text{ karena nilai } A_1 > A_2$$

$$= 0,55$$

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

$$= \frac{0,55 \times 2,9725^2}{2 \times 1 \times 32,1740}$$

$$= 0,0254 \text{ lbf.ft/lbr}$$

2. Friksi pada pipa lurus

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

$$= \frac{4 \times 0,0060 \times 2,9725^2 \times 354,38833}{2 \times 1 \times 32,174 \times 0,2557}$$

$$= 1,5368 \text{ lbf.ft/lbr}$$

3. Friksi pada ekspansi

$$K_{ex} = (1 - (A_2/A_1))^2$$

$$= (1 - 0)^2$$

$$= 1$$

$$h_{ex} = \frac{K_{ex} \cdot v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc}$$

$$= \frac{1 \cdot 2,9725^2}{2 \cdot 1 \cdot 32,174}$$

$$= 0,0462 \text{ lbf.ft/lbr}$$

4. Friksi ada Elbow 90° = 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94})$$

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

$$= 2 \cdot \frac{0,8 \cdot 2,9725^2}{2 \cdot 32,1740}$$

$$= 0,069291509 \text{ lbf.ft/lbr}$$

5. Friksi pada Globe valve = 1 buah

$$K_f = 6 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94})$$

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

$$= 1 \cdot \frac{6 \cdot 2,9725^2}{2 \cdot 32,1740}$$

$$= 0,277166036 \text{ lbf.ft/lbm}$$

6. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$K_f = 2 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94})$$

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

$$= 2 \cdot \frac{2 \cdot 2,9725^2}{2 \cdot 32,1740}$$

$$= 0,184777357 \text{ lbf.ft/lbm}$$

sehingga:

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

$$= 1,5368 + 0,0254 + 0,04619 + 0,531235$$

$$= 2,1396 \text{ lbf.ft/lbm}$$

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 :

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

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 1,7241 \text{ ft/detik}$$

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

$$\begin{aligned} -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} + \left(\frac{\Delta Z}{gc} \right) \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\ &= \left(\frac{1,7241^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \left(\frac{40}{32,174} \right) \right) + \left(\frac{0}{62,158} \right) + 2,1396 \\ &= 3,4290 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned} W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{3,4290 \times 0,0884 \times 62,16}{550} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Untuk kapasitas (Q)} &= 39,70 \text{ gpm} \\ \eta \text{ pompa} &= 86\% \quad (\text{Geankoplis, fig. 3.3-2, hal.136}) \end{aligned}$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0,0343}{0,86} = 0,040 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 80\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521})$$

$$\begin{aligned} \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\ &= \frac{0,040}{80\%} \\ &= 0,04981924 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

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

4. Kation Exchanger (D-210A)

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

Resin : H_2Z (Hidrogen Exchanger)

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

Kation : 88,2 lb/ft³ (Pure water care, 2014)

Asumsi kesadahan TDS

Total kation & anion : 133 mg/L = 0,0083 lb/ft³

Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 7221,0067 kg/jam = 15919,4313 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{15919,4313 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 256,1118 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 2,0145 \text{ L/s} \\
 &= 26,5899 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

Penentuan kapasitas resin:

$$V_R = \frac{Q.t.TDS.15,45}{TEC.35,34.\eta} \quad (\text{Pure water care, 2014})$$

$$V_P = Q.t$$

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

Volume kation

$$\begin{aligned}
 V_R &= \frac{256,11}{88,2} \times 0,00830319 \times 0,437 \\
 &= 0,0117 \text{ ft}^3 = 0,3317 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Volume resin kation:

$$\text{Diambil volume resin } V_{R \text{ kati}} = 1 \text{ L} \quad (\text{Untuk lama waktu siklus 1 jam})$$

Sehingga untuk lama waktu siklus 1 tahun dibutuhkan resin sebanyak:

$$\begin{aligned}
 V_R &= 1 \text{ L} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\
 &= 7920 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Direncanakan:

- Tangki berbentuk silinder
- kecepatan air = 3 gpm/ft²
- tinggi bed = 4 m = 13,123 ft
- Tinggi tangki = 1,5 diameter

$$\begin{aligned}
 \text{Luas penampang tangki} &= \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{kecepatan air}} \\
 &= \frac{26,5899}{3} \\
 &= 8,8633 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bed} &= \text{Luas} \cdot \text{Tinggi bed} \\
 &= 8,8633 \times 13 \\
 &= 116,31 \text{ ft}^3 = 3,2938 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Diameter bed} &= \frac{A}{\pi/4} \\
 &= \frac{8,863}{\pi/4}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{3,14}{4} \\
 &= 3,360 \text{ ft} \\
 \text{Direncanakan H/D} &= 1,5 \\
 \text{H} &= 1,5 \times 3,3602 \\
 &= 5,040 \text{ ft} \\
 \text{Volume tangki} &= H \times A \\
 &= 5,040 \times 8,86 \\
 &= 44,7 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

» Spesifikasi kation exchanger

- Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316
- Diameter : 3,360 ft
- Tinggi : 5 ft²
- Jumlah : 1 buah

5. Anion Exchanger (D-210B)

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

Resin : Amberlite IRA 402 Cl

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

Anion : 0,13227 lb/ft³ (Pure water care, 2014)

Asumsi kesadahan TDS

Total kation & anion : 133 mg/L = 0,0083 lb/ft³

Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 7221,0 kg/jam = 15919,4 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{15919,43 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 256,1118 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 2,0145 \text{ L/s} \\
 &= 26,5899 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

Penentuan kapasitas resin:

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

$$V_P = Q.t$$

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

Volume anion

$$\begin{aligned}
 V_R &= \frac{256,11 \times 0,00830319 \times 0,437}{0,13227 \times 90\%} \\
 &= 7,8100 \text{ ft}^3 = 221,1545 \text{ L}
 \end{aligned}$$

Volume resin anion:

Diambil volume resin $V_{R \text{ anion}} = 222,00 \text{ L}$ (Untuk lama waktu siklus 1 jam)

Sehingga untuk lama waktu siklus 1 tahun dibutuhkan resin sebanyak:

$$V_R = 222 \text{ L} \times 24 \text{ jam} \times 330 \text{ hari} \\ = 1758240 \text{ L}$$

Direncanakan:

- Tangki berbentuk silinder
- kecepatan air = 3 gpm/ft²
- tinggi bed = 3 m = 9,8424 ft
- Tinggi tangki = 1,5 diameter

$$\text{Luas penampang tangki} = \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{kecepatan air}} \\ = \frac{26,5899}{3} \\ = 8,8633 \text{ ft}^2$$

$$\text{Volume bed} = \text{Luas} \cdot \text{Tinggi bed} \\ = 8,8633 \times 9,8 \\ = 87,24 \text{ ft}^3 = 2,4703 \text{ m}^3$$

$$\text{Diameter bed} = \frac{A}{\pi/4} \\ = \frac{8,8633}{3,14 / 4} \\ = 3,360 \text{ ft}$$

$$\text{Direncanakan H/D} = 1,5 \\ H = 1,5 \times 3,3602 \\ = 5 \text{ ft}$$

$$\text{Volume tangki} = H \times A \\ = 5 \times 8,863 \\ = 44,7 \text{ ft}^3$$

» Spesifikasi kation exchanger

- Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316
- Diameter : 3,360 ft
- Tinggi : 5 ft²
- Jumlah : 1 buah

6. Bak Air Lunak (F-214)

Fungsi : Menampung air bersih untuk didistribusikan air proses dan air umpan Boiler

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 7221,0067 kg/jam
= 15919,4313 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³

Pehitungan:

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

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\rho_{\text{liquid}}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= \frac{15919,43 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 256,1118 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 7,2523 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Waktu tinggal} &= 3 \text{ jam} \\
 \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 7,2523 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\
 &= 21,7570 \text{ m}^3 \\
 \text{Volume liquid} &= 80\% \text{ volume bak, sehingga :} \\
 \text{Volume bak} &= \frac{21,7570 \text{ m}^3}{80\%} \\
 &= 27,1962 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

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

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 30 \text{ m}^3 \\
 27,1962 \text{ m}^3 &= 30 \text{ m}^3 \\
 x &= 0,9678 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak sedimentasi :

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 5 \times 0,9678 \text{ m} = 4,8391 \approx 5 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 3 \times 0,9678 \text{ m} = 2,9035 \approx 3 \text{ m} \\
 \text{Tinggi} &= 2 \times 0,9678 \text{ m} = 1,9356 \approx 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

» Spesifikasi Bak

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 5 m
- Lebar : 3 m
- Tinggi : 2 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

7. Pompa Air Proses (L-220)

Fungsi : Memompakan air dari bak air lunak untuk didistribusikan sebagai air proses

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

$$\begin{aligned}
 \text{- rate aliran} &= 2525,1680 \text{ kg/jam} \\
 &= 5566,9854 \text{ lb/jam} \\
 \text{- densitas } (\rho) \text{ air} &= 62,1581 \text{ lb/ft}^3 \\
 \text{- viskositas } (\mu) &= 0,000538 \text{ lb/ft.detik}
 \end{aligned}$$

Penghitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{5566,9854 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 89,5617 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,0249 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 11,1661 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

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

(Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times \left[0,0249 \text{ ft}^3/\text{detik} \times 0,5 \right] \left[62,1581 \text{ lb/ft}^3 \right]^{0,13} \\
 &= 1,2657216 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 2 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.892})$$

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= 2,375 \text{ in} = 0,1979167 \text{ ft} \\
 \text{ID} &= 2,067 \text{ in} = 0,17225 \text{ ft} \\
 \text{A} &= 0,02330 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0,0249 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,02330 \text{ ft}^2} \\
 &= 1,0677 \text{ ft/detik} \\
 &= 3843,8481 \text{ ft/jam}
 \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned}
 N_{re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,17225 \text{ ft} \times 1,0677 \text{ ft/detik} \times 62,1581 \text{ lb/ft}^3}{0,000538} \\
 &= 21247,1741
 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah Carbon Steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000150917 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal.88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000150917}{0,1723} = 0,000876$$

$$f = 0,008 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

Direncanakan :

$$\text{a. Panjang pipa lurus} = 100 \text{ ft}$$

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

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

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

$$= 35 \times 1 \times \text{#####}$$

$$\begin{aligned}
 &= 6,0288 \text{ ft} \\
 \text{c. Gate valve} &= 2 \text{ buah (half open)} \\
 \text{Le/D} &= 225 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal.93}) \\
 \text{L elbow} &= 225 \text{ ID} \\
 &= 225 \times 2 \times \text{#####} \\
 &= 77,5125 \text{ ft} \\
 \text{d. Globe valve} &= 1 \text{ buah (half open)} \\
 \text{Le/D} &= 475 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal.93}) \\
 \text{L elbow} &= 475 \text{ ID} \\
 &= 475 \times 1 \times \text{#####} \\
 &= 81,8188 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1 Geankoplis hal 93 diperoleh:

$$K_f = 2 \times 4,5 = 9,00$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= 100 + 6,0288 + 77,5125 + 81,8188 \\
 &= 265,36000 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

1. Friksi pada kontraksi

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

$$\begin{aligned}
 h_c &= \frac{K_c v^2}{2 \alpha_{gc}} \\
 &= \frac{0,55 \times 1,1401}{2 \times 1 \times 32,1740} \\
 &= 0,0097 \text{ bf.ft/lbrr}
 \end{aligned}$$

2. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= \frac{4 f \times v^2 \times \Delta L}{2 \alpha_{gc} \cdot D} \\
 &= \frac{4 \times 0,008 \times 1,1401 \times 265,36000}{2 \times 1 \times 32,174 \times 0,1723} \\
 &= 0,8734 \text{ bf.ft/lbrr}
 \end{aligned}$$

3. Friksi pada ekspansi

$$\begin{aligned}
 K_{ex} &= (1 - (A_2/A_1))^2 \\
 &= (1 - 0)^2 \\
 &= 1 \\
 h_{ex} &= \frac{K_{ex} \cdot v^2}{2 \alpha_{gc}} \\
 &= \frac{1 \times 1,1401}{2 \times 1 \times 32,174} \\
 &= 0,0177 \text{ bf.ft/lbrr}
 \end{aligned}$$

4. Friksi ada Elbow 90° = 1 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94})$$

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

$$= 1 \frac{0,8 \times 1,1401}{2 \times 32,1740}$$

$$= 0,0133 \text{ lbf.ft/lbm}$$

5. Friksi pada Globe valve = 1 buah

$$K_f = 6 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94})$$

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

$$= 1 \frac{6 \times 1,1401}{2 \times 32,1740}$$

$$= 0,106302539 \text{ lbf.ft/lbm}$$

6. Friksi pada Gate valve = 2 buah

$$K_f = 2 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94})$$

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

$$= 2 \frac{2 \times 1,1401}{2 \times 32,1740}$$

$$= 0,070868359 \text{ lbf.ft/lbm}$$

sehingga:

$$\begin{aligned} \text{Total friksi } \Sigma F &= F_f + h_c + h_{ex} + h_f \\ &= 0,8734 + 0,0097 + 0,01772 + 0,19046 \\ &= 1,0913 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

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

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 1,0677 \text{ ft/detik}$$

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

$$\begin{aligned} -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot \text{gc}} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{\text{gc}} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\ &= \left(\frac{1,0677^2}{2 \times 1 \times 32,17} \right) + \left(\frac{40}{32,17} \right) + \left(\frac{0}{62,158} \right) + 1,0913 \\ &= 2,3523 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$W_p = \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} = \frac{2,3523 \times 0,0249 \times 62,16}{550}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{550}{0,0066} \text{ Hp} \\
 \text{Untuk kapasitas (Q)} &= 11,17 \text{ gpm} \\
 \eta \text{ pompa} &= 80\% \quad (\text{Geankoplis, fig. 3-3.2 hal. 136}) \\
 \text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} &= \frac{0,0066}{0,80} = 0,008 \text{ Hp} \\
 \eta \text{ motor} = 80\% & \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\
 &= \frac{0,008}{80\%} \\
 &= 0,0103339 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

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

8. Pompa Air Lunak (L-215)

Fungsi : Memompakan air dari bak air lunak untuk didistribusikan menuju ke Deaerator yang akan di treatment sebagai air umpan Boiler

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 4695,8387 kg/jam
= 10352,4459 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik

Phitungan:

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{10352,4459 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 166,5502 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,0463 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 20,7647 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

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

(Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \\
 \text{ID optimal} &= 3,9 \left[\times 0,0463 \right]^{0,45} \times \left[62,1581 \right]^{0,13} \\
 &= 1,67331798 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Karena diameter pipa terlalu besar sehingga diambil:

$$\text{Standarisasi ID} = 2 \frac{1}{2} \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.892})$$

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 2,875 \text{ in} = 0,23958333 \text{ ft}$$

$$\text{ID} = 2,323 \text{ in} = 0,19358333 \text{ ft}$$

$$A = 0,03322 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0,0463 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,03322 \text{ ft}^2} \\ &= 1,3927 \text{ ft/detik} \\ &= 5013,5506 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned} N_{\text{Re}} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,19358333 \times 1,3927 \times 62,1581}{0,000538} \\ &= 31145,0542 \end{aligned}$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah Carbon Steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,000150917 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal.88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,000150917}{0,1936} = 0,000780$$

$$f = 0,008 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 100 ft

b. Elbow, 90° = 1 buah

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

$$\begin{aligned} L \text{ elbow} &= 35 \text{ ID} \\ &= 35 \times 1 \times 0,1936 \\ &= 6,7754 \text{ ft} \end{aligned}$$

c. Gate valve = 2 buah (half open)

$$L_e/D = 225 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal.93})$$

$$\begin{aligned} L \text{ elbow} &= 225 \text{ ID} \\ &= 225 \times 2 \times 0,1936 \\ &= 87,1125 \text{ ft} \end{aligned}$$

d. Globe valve = 1 buah (half open)

$$L_e/D = 475 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal.93})$$

$$\begin{aligned} L \text{ elbow} &= 475 \text{ ID} \\ &= 475 \times 1 \times 0,1936 \\ &= 91,9521 \text{ ft} \end{aligned}$$

Dari tabel 2.10.1 Geankoplis hal 93 diperoleh:

$$K_f = 2 \times 4,5 = 9,00$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}\Delta L &= 100 + 6,7754 + 87,1125 + 91,9521 \\ &= 285,8400 \text{ ft}\end{aligned}$$

1. Friksi pada kontraksi

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

$$\begin{aligned}h_c &= \frac{K_c v^2}{2 \alpha \cdot g_c} \\ &= \frac{0,55 \times 1,9395}{2 \times 1 \times 32,174} \\ &= 0,0166 \text{ lbf.ft/lbr}\end{aligned}$$

2. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}F_f &= \frac{4 f \times v^2 \times \Delta L}{2 \alpha \cdot g_c \cdot D} \\ &= \frac{4 \times 0,008 \times 1,9395 \times 285,8400}{2 \times 1 \times 32,174 \times 0,1936} \\ &= 1,4242 \text{ lbf.ft/lbr}\end{aligned}$$

3. Friksi pada ekspansi

$$\begin{aligned}K_{ex} &= (1 - (A_2/A_1))^2 \\ &= (1 - 0)^2 \\ &= 1 \\ h_{ex} &= \frac{K_{ex} \cdot v^2}{2 \alpha \cdot g_c} \\ &= \frac{1 \times 1,9395}{2 \times 1 \times 32,174} \\ &= 0,0301 \text{ lbf.ft/lbr}\end{aligned}$$

4. Friksi ada Elbow 90° = 1 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94})$$

$$\begin{aligned}h_f &= 1 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 1 \frac{0,8 \times 1,9395}{2 \times 32,1740} \\ &= 0,022605391 \text{ lbf.ft/lbr}\end{aligned}$$

5. Friksi pada Globe valve = 1 buah

$$K_f = 6 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94})$$

$$\begin{aligned}h_f &= 1 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 1 \frac{6 \times 1,9395}{2 \times 32,1740} \\ &= 0,180843124 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 6. \text{ Friksi pada Gate valve} &= 2 \text{ buah} \\
 K_f &= 2 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal 94}) \\
 h_f &= 2 \frac{K_f \times v^2}{2 \text{ gc}} \\
 &= 2 \frac{2 \times 1,9395}{2 \times 32,1740} \\
 &= 0,120562083 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

sehingga:

$$\begin{aligned}
 \text{Total friksi } \Sigma F &= F_f + h_c + h_{ex} + h_f \\
 &= 1,4242 + 0,0166 + 0,03014 + 0,324011 \\
 &= 1,7949 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

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

$$\Delta P = 0$$

$$\Delta v = 1,3927 \text{ ft/detik}$$

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

$$\begin{aligned}
 -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot \text{gc}} \right) + \left(\frac{\Delta Z}{\text{gc}} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\
 &= \left(\frac{1,3927^2}{2 \times 1 \times 32,174} \right) + \left(\frac{40}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,158} \right) + 1,7949 \\
 &= 3,0683
 \end{aligned}$$

Menghitung daya pompa

$$\begin{aligned}
 W_p &= \frac{(-W_s) \times Q \times \rho}{550} \\
 &= \frac{3,0683 \times 0,0463 \times 62,158}{550}
 \end{aligned}$$

$$= 0,0160 \text{ Hp}$$

$$\text{Untuk kapasitas (Q)} = 20,76 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 80\% \quad (\text{Geankoplis, fig. 3-3.2 hal. 136})$$

$$\text{BHP} = \frac{W_p}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0,0160}{0,80} = 0,020 \text{ Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 80\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521})$$

$$\begin{aligned}
 \text{Daya motor} &= \frac{\text{BHP}}{\eta \text{ motor}} \\
 &= \frac{0,020}{80\%} \\
 &= 0,02506628 \text{ Hp} \approx 1 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

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

9. Tangki Dearator (F-216)

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

Tipe : Silinder Horizontal

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 4695,8387 kg/jam
= 10352,4459 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{10352,4459 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 166,5502 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 4,7162 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 3 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 4,72 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\ &= 14,15 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid 80% volume tangki, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = \frac{14,1486 \text{ m}^3}{80,00\%} = 17,69 \text{ m}^3$$

Menentukan dimensi tangki

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

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{1}{4} \times \pi \times \text{Di}^2 \times L_s \\ 17,6858 &= 0,25 \times 3,1 \times \text{Di}^2 \times 1,5 \text{ Di} \\ \text{Di}^3 &= 0,02959067 \\ \text{Di} &= 0,30930358 \text{ m} = 1,014825 \text{ ft} \end{aligned}$$

Jadi,

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki (Ls)} &= 1,5 \times 1,0148 \\ &= 1,52223759 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menentukan tinggi tutup (h):

$$\begin{aligned} h &= 0,2 \times \text{Di} \\ &= 0,2 \times 1,0148 \\ &= 0,19890571 \text{ ft} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Sehingga, total tinggi tangki} &= L_s + 2 h \\ &= 1,52223759 + 2 \times 0,1989 \\ &= 1,92004901 \text{ ft} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Tangki dearator

- Bentuk : Siliner horizontal, tutup standart dished
- Tinggi : 1,9200 ft
- Di : 1,0148 ft
- Bahan : Carbon steel SA 240 grade M type 316
- Jumlah : 1 buah

10 Bak Air Umpan Boiler (F-223)

Fungsi : Menampung air umpan ke boiler

Dasar perencanaan :

- rate aliran = 4695,8387 kg/jam
= 10352,4459 lb/jam
- densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³
- viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{10352,4459 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 166,5502 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 4,7162 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{Waktu tinggal} &= 3 \text{ jam} \\ \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\ &= 4,7162 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\ &= 14,1486 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= \frac{14,1486 \text{ m}^3}{80,00\%} \\ &= 17,6858 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

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

Sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Volume bak} &= 30 \text{ x}^3 \\ 17,6858 \text{ m}^3 &= 30 \text{ x}^3 \\ \text{x} &= 0,8385 \text{ m} \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak air umpan boiler :

$$\begin{aligned} \text{Panjang} &= 5 \times 0,838 \text{ m} = 4,1925 \approx 4 \text{ m} \\ \text{Lebar} &= 3 \times 0,838 \text{ m} = 2,5155 \approx 2,5 \text{ m} \\ \text{Tinggi} &= 2 \times 0,838 \text{ m} = 1,6770 \approx 1,7 \text{ m} \end{aligned}$$

» Spesifikasi Bak Air Umpan Boiler

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 4 m
- Lebar : 3 m
- Tinggi : 2 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

11. Pompa Air Umpan Boiler ke Boiler (L-224)

Fungsi : Memompakan air umpan menuju Boiler

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 4695,8387 kg/jam
= 10352,446 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62,1581 lb/ft³
- Viskositas (μ) = 0,000538 lb/ft.detik
= 1,936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{10352,446 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 166,550 \text{ ft}^3/\text{jam} \\ &= 0,0463 \text{ ft}^3/\text{detik} \\ &= 17,2915 \text{ gpm} \end{aligned}$$

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

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

$$\begin{aligned} \text{ID optimal} &= 3,9 \times 0,0463^{0,45} \times 62,1581^{0,13} \\ &= 1,6733 \text{ in} \approx 3 \frac{1}{2} \text{ in} \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 3 \frac{1}{2} \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App A-5, hal. 892})$$

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 4 \text{ in} = \text{##### ft}$$

$$\text{ID} = 3,548 \text{ in} = \text{##### ft}$$

$$\text{A} = 0,0687 \text{ ft}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\ &= \frac{0,0463 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,0687 \text{ ft}^2} \\ &= 0,6734 \text{ ft/detik} \\ &= 2424,3108 \text{ ft/jam} \end{aligned}$$

Cek jenis aliran fluida :

$$\begin{aligned}
 N_{ReNR} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,296 \times 0,6734 \times 62,1581}{0,000538} \\
 &= 23001,8078
 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 4000$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah Carbon Steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \quad m = 0,000151 \quad \text{ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0001509}{0,2957} = 0,000510$$

$$f = 0,0064$$

Direncanakan :

$$\begin{aligned}
 \text{a. Panjang pipa lurus} &= 70 \quad \text{ft} \\
 \text{b. Elbow, } 90^\circ &= 2 \quad \text{buah} \\
 \text{Le/D} &= 35 \quad (\text{Tabel 2.10-1. Geankoplis, hal.93})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{L elbow} &= 35 \quad \text{ID} \\
 &= 35 \times 2 \times 0,2957 \\
 &= 20,6965 \quad \text{ft}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. Gate valve} &= 1 \quad \text{buah (half open)} \\
 \text{Le/D} &= 225 \quad (\text{Tabel 2.10-1. Geankoplis hal.93})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{L elbow} &= 225 \quad \text{ID} \\
 &= 225 \times 1 \times 0,2957 \\
 &= 66,5243 \quad \text{ft}
 \end{aligned}$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= 70 + 20,6965 + 66,5243 \\
 &= 157,2208 \quad \text{ft}
 \end{aligned}$$

Menentukan friksion loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot gc \cdot D} \\
 &= \frac{4 \times 0,0064 \times 0,6734^2 \times 2 \times 157,2208}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,2957} \\
 &= 0,0959 \quad \text{lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° 2 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2. Geankoplis hal.94})$$

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

$$= 2 \frac{0,75 \times 0,6734}{2 \times 32,1740} \times 2$$

$$= 0,0106 \text{ lbf.ft/lbm}$$

3. Friksi pada Gate valve 1 buah

$$K_f = 4,50 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal.94})$$

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

$$= 1 \frac{4,50 \times 0,6734}{2 \times 32,1740} \times 2$$

$$= 0,0317 \text{ lbf.ft/lbm}$$

4 Friksi pada kontraksi

$$K_c = 0,55 \times (1 - (A_2/A_1))$$

$$(A_2/A_1) = 0 \text{ karena nilai } A_1 > A_2 \text{ karena nilai } A_1 > A_2$$

$$= 0,55$$

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

$$= \frac{0,55 \times 0,45}{2 \times 32,174} = \text{##### lbf.ft/lbm}$$

5 Friksi pada ekspansi

$$K_{ex} = (1 - (A_2/A_1))^2$$

$$= (1 - 0)^2$$

$$= 1$$

$$h_{ex} = \frac{K_{ex} v^2}{2 \cdot g_c}$$

$$= \frac{1 \times 0,453}{2 \times 32,174}$$

$$= \text{##### lbf.ft/lbm}$$

Sehingga

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

$$= 0,1491 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

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

$$\Delta P = 0 \text{ karena } P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$\Delta v = 0,6734 \text{ ft/detik}$$

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

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

$$= \left[\frac{0,6734^2}{2 \times 1 \times 32,174} + \left(\frac{965,22}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,158} \right) \right] = 0,149$$

$$= 30,1562$$

Untuk kapasitas (Q) = 17,29 gpm
 η pompa = 80% (Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520)

$$W_p = \frac{-W_s}{\eta \text{ pompa}} = \frac{30,156}{0,80} = 37,695 \text{ t lb/lbn}$$

$$\text{Pump Horse Power} = \frac{(W_p) \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{37,6952 \times 0,0463 \times 62,16}{550}$$

$$= 0,1971 \text{ Hp}$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{Pump HP}}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0,1971}{80\%} = \text{##### Hp}$$

η motor = 87 % = 0,87 (Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521)

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

$$= \frac{0,197}{0,87}$$

$$= \text{##### Hp} \approx 0,2 \text{ Hp}$$

» Spesifikasi Pompa

- Tipe : Centrifugal pump
- Daya pompa : 0,1971 Hp
- Bahan : Carbon Steel
- Jumlah : 1 buah

12. Bak Klorinasi (F-224)

Fungsi : Tempat pencampuran air bersih dan disinfektan sebelum digunakan sebagai air sanitasi.

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 1756,3795 kg/jam = 3872,114 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³

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

$$= \frac{3872,1143 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 62,2946 \text{ ft}^3/\text{jam}$$

$$= 1,7640 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Waktu tinggal = 3 jam

Volume air = rate volumetrik \times waktu tinggal

$$= 1,7640 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam}$$

$$= 5,2920 \text{ m}^3$$

Perhitungan kebutuhan Cl_2

Klorin (Cl_2) tidak hanya digunakan sebagai disinfektan untuk membunuh kuman tapi juga sebagai oksidan dan kontrol warna dan bau dari air. Klorin yang digunakan kaporit ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$) dengan dosis penggunaan 2-5 mg/L.

$$\text{Volume air sanitasi} = 1,7640 \text{ m}^3/\text{jam} = \text{##### L/jam}$$

$$\text{Kaporit yang dibutuhkan} = 3 \text{ mg/L} \times \text{##### L/jam}$$

$$= 4409,9887 \text{ mg/jam}$$

$$= 0,0044 \text{ kg/jam}$$

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

$$\text{Volume bak} = \frac{5,2920 \text{ m}^3}{80,00\%}$$

$$= 6,6150 \text{ m}^3$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

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

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

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

Sehingga :

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

$$6,6150 \text{ m} = 30 \text{ x}^3$$

$$\text{x} = 0,6041 \text{ m}$$

Jadi dimensi bak air bersih :

$$\text{Panjang} = 5 \times 0,604 \text{ m} = 3,0207 \approx 3 \text{ m}$$

$$\text{Lebar} = 3 \times 0,604 \text{ m} = 1,8124 \approx 2 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times 0,604 \text{ m} = 1,2083 \approx 1 \text{ m}$$

Spesifikasi Bak Klorinasi

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 3 m
- Lebar : 2 m
- Tinggi : 1 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 2 buah

13 Pompa Sanitasi (L-216)

Fungsi : Memompakan air dari bak klorinasi menuju Bak Air Sanitasi

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

$$\text{- Rate aliran} = 1756,380 \text{ kg/jam} = 3872,1143 \text{ lb/jam}$$

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

$$\text{- Viskositas } (\mu) = 0,000538 \text{ lb/ft.detik}$$

$$= 1,936967 \text{ lb/ft.jam}$$

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{3872,1143 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 62,2946 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 0,0173 \text{ ft}^3/\text{detik} \\
 &= 6,4675 \text{ gpm}
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496}) \\
 \text{ID optimal} &= 3,9 \times 0,0173^{0,45} \times 62,1581^{0,13} \\
 &= 1,0749 \text{ in} \approx 1,00 \text{ in}
 \end{aligned}$$

$$\text{Standarisasi ID} = 1 \text{ in sch 40} \quad (\text{Geankoplis, App. A.5 hal.892})$$

Sehingga diperoleh :

$$\begin{aligned}
 \text{OD} &= 1,315 \text{ in} = \text{##### ft} \\
 \text{ID} &= 1,049 \text{ in} = \text{##### ft} \\
 \text{A} &= 0,00600 \text{ ft}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Laju aliran fluida (V)} &= \frac{Q}{A} \\
 &= \frac{0,0173 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,0060 \text{ ft}^2} \\
 &= 2,8840 \text{ ft/detik} \\
 &= 10382,4292 \text{ ft/jam} \\
 N_{Re} &= \frac{D \times V \times \rho}{\mu} \\
 &= \frac{0,087 \times 2,8840 \times 62,1581}{0,000538} \\
 &= 29124,9060
 \end{aligned}$$

Karena $N_{Re} > 4000$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah Carbon Steel

Sehingga diperoleh :

$$\varepsilon = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,0001509168 \text{ ft} \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0001509168}{0,0874} = 0,001726$$

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

Direncanakan :

$$\text{a. Panjang pipa lurus} = 60 \text{ ft}$$

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

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

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

$$= 35 \times 1 \times 0,0874$$

$$\begin{aligned}
 &= 3,0596 \text{ ft} \\
 \text{c. Gate valve} &= 1 \text{ buah (half open)} \\
 \text{Le/D} &= 225 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93}) \\
 \text{L elbow} &= 225 \text{ ID} \\
 &= 225 \times 1 \times 0,0874 \\
 &= 19,6686 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}
 \Delta L &= 60 + 3,0596 + 19,6686 \\
 &= 82,73 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menentukan friksion loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}
 F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot g_c \cdot D} \\
 &= \frac{4 \times 0,0125 \times 2,8840^2 \times 82,7281}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,0874} \\
 &= 6,1163 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° 1 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 94})$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= 1 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\
 &= 1 \frac{0,75 \times 2,8840^2}{1 \times 32,1740} \\
 &= 0,1939 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate valve 1 buah

$$K_f = 4,50 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 94})$$

$$\begin{aligned}
 h_f &= 1 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\
 &= 1 \frac{4,50 \times 2,8840^2}{2 \times 32,1740} \\
 &= 0,5817 \text{ lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

4 Friksi pada kontraksi

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

$$\begin{aligned}
 h_c &= \frac{K_c v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \\
 &= \frac{0,55 \times 8,32^2}{2 \times 1 \times 32,174} = \text{##### lbf.ft/lbm}
 \end{aligned}$$

5 Friksi pada ekspansi

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

$$\begin{aligned} h_{ex} &= \frac{K_{ex} v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \\ &= \frac{1 \times 8,3175}{2 \times 1 \times 32,174} \\ &= \text{##### lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

Sehingga

$$\begin{aligned} \text{Total friksi } (\Sigma F) &= F_f + h_c + h_{eks} + h_f \\ &= 7,0922 \text{ lbf.ft/lbm} \end{aligned}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

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

$$\Delta P = 0 \text{ karena } P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$\Delta v = 2,8840 \text{ ft/detik}$$

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

$$\begin{aligned} -W_s &= \left(\frac{\Delta v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc} \right) + \left(\frac{g \Delta Z}{gc} \right) + \left(\frac{\Delta P}{\rho} \right) + \Sigma F \\ &= \left(\frac{2,8840^2}{2 \times 1 \times 32,174} \right) + \left(\frac{965,22}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{62,158} \right) + 7,1 \\ &= 37,2215 \end{aligned}$$

$$W_s = \text{#####}$$

$$\text{Untuk kapasitas } (Q) = 6,47 \text{ gpm}$$

$$\eta_{\text{pompa}} = 80\% \text{ (Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520)}$$

$$W_p = \frac{W_s}{\eta_{\text{pompa}}} = \frac{37,22}{0,80} = 46,53 \text{ lbf/lbm}$$

$$\begin{aligned} \text{Pump Horse Power} &= \frac{(W_p) \times Q \times \rho}{550} \\ &= \frac{46,5269 \times 0,0173 \times 62,16}{550} \end{aligned}$$

$$= 0,0910 \text{ Hp}$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{Pump HP}}{\eta_{\text{pompa}}} = \frac{0,0910}{80\%} = \text{##### Hp}$$

$$\eta_{\text{motor}} = 86\% = 0,86 \text{ (Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521)}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Daya motor} &= \frac{\quad}{\eta \text{ motor}} \\
 &= \frac{0,091}{0,86} \\
 &= \text{##### Hp} \quad \approx 1 \text{ Hp}
 \end{aligned}$$

» Spesifikasi Pompa

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

14 Bak Air Sanitasi (F-217)

Fungsi : Tempat menampung air sanitasi

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 1756,3795 kg/jam = 3872,114 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62,158 lb/ft³

Perhitungan :

$$\begin{aligned}
 \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\
 &= \frac{3872,1143 \text{ lb/jam}}{62,1581 \text{ lb/ft}^3} \\
 &= 62,2946 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 1,7640 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = 3 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume air} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 1,7640 \text{ m}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\
 &= 5,2920 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= \frac{5,2920 \text{ m}^3}{80,00\%} \\
 &= 6,6150 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

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

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 5 \text{ m} \times 3 \text{ m} \times 2 \text{ m} \\
 &= 30 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume bak} &= 30 \text{ m}^3 \\
 6,6150 \text{ m}^3 &= 30 \text{ x}^3 \\
 \text{x} &= 0,6041 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Jadi dimensi bak air sanitasi:

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang} &= 5 \times 0,604 \text{ m} = 3,0207 \approx 3 \text{ m} \\
 \text{Lebar} &= 3 \times 0,604 \text{ m} = 1,8124 \approx 2 \text{ m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi} = 2 \times 0,604 \text{ m} = 1,2083 \approx 1 \text{ m}$$

» Spesifikasi Bak Air Sanitasi

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 3 m
- Lebar : 2 m
- Tinggi : 1 m
- Bahan : Beton Bertulang
- Jumlah : 1 buah

B. Unit Penyediaan Dowtherm A

Dowtherm A digunakan sebagai pendingin pada alat-alat seperti pada tabel dibawah ini:

Tabel 8.1 kebutuhan air pendingin pada peralatan

No	Nama Alat	Kode Alat	umlah (Kg/jam)
1	Reaktor	R-110	6171,608
2	Cooler I	E-121A	3132,762
3	Cooler II	E-121B	11872,748
TOTAL			21177,119

Direncanakan banyaknya Dowtherm A yang disuplai dengan excess 20%

$$\begin{aligned} \text{kebutuhan pendingin} &= 1,2 \times 21177,1 \\ &= 25412,542 \text{ Kg/jam} \end{aligned}$$

Make Up untuk kebutuhan Dowtherm A direncanakan 20% excess, maka :

$$\begin{aligned} \text{Make Up pendingin} &= 1,2 \times 25412,5 \\ &= 30495,051 \text{ Kg/jam} \end{aligned}$$

Jadi jumlah dowtherm A yang harus dihasilkan adalah :

$$\text{Massa dowtherm A} = 30495,051 \text{ kg/jam} = 67229,389 \text{ lb/jam}$$

1. Storage Tank Dowtherm A (F-111)

Fungsi : Digunakan untuk menyimpan Dowtherm A sebelum digunakan sebagai pendingin

Type : Tangki vertikal dengan tutup atas standar dishead dan tutup bawah plat datar

Direncanakan :

- Bahan konstruksi carbon steel SA-240 Grade D
- Volume tangki 90%, volume ruang kosong 10%
- Waktu tinggal adalah 6 jam
- Pengelasan adalah Double weded butt joint (E) = 0,8
- faktor korosi (C) = 0,0625 in
- Rate aliran = 21177,1186 kg/ja = 46687 lb/jam
- Densitas (ρ) Dowtherm A = 65,760 lb/ft³ pada suhu 28 C

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (C)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{46687,0757}{\rho \text{ liquid}} \text{ lb/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 65,7600 \text{ lb/ft}^3 \\
 &= 709,9616 \text{ ft}^3/\text{jam} \\
 &= 20,1040 \text{ m}^3/\text{jam} \\
 \text{Waktu tinggal} &= 3 \text{ jam} \\
 \text{Volume liquid} &= \text{rate volumetrik} \times \text{waktu tinggal} \\
 &= 709,9616 \text{ ft}^3/\text{jam} \times 3 \text{ jam} \\
 &= 2129,8848 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

Direncanakan volume liquid 90% volume tangki, sehingga :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume ruang kosong} &= 10\% \text{ volume total} \\
 &= 10\% \times V_T \\
 \text{Volume total} &= \text{Volume liquid} + \text{Volume ruang kosong} \\
 \text{Volume total} &= 2129,885 + 10\% \text{ volume total} \\
 90\% \text{ Volume total} &= 2129,885 \\
 \text{Volume total} &= 2366,5387 \text{ ft}^3
 \end{aligned}$$

- Menghitung diameter tangki

Asumsi Ls = 15,0 disehingga:

$$\begin{aligned}
 V_{\text{total}} &= V_{\text{tutup atas}} + V_{\text{silinder}} \\
 2366,54 &= 0,0847 \text{ di}^3 + \left[\frac{\pi}{4} \times \text{di}^2 \times \right] \text{Ls} \\
 2366,54 &= 0,0847 \text{ di}^3 + \left[\frac{\pi}{4} \times \text{di}^2 \times 15,0 \text{ di} \right] \\
 2366,54 &= 0,0847 \text{ di}^3 + 11,775 \text{ di}^3 \\
 2366,54 &= 11,8597 \text{ di}^3 \\
 \text{di}^3 &= 199,545 \\
 \text{di} &= 5,8436 \text{ ft} \\
 &= 70,1231 \text{ in} \\
 &= 1,7811 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Menghitung tinggi liquida

$$\begin{aligned}
 V \text{ liquida} &= V \text{ liquida dalam silinder} \\
 V \text{ liquida} &= \left[\frac{\pi}{4} \times \text{di}^2 \times \text{Lls} \right] \\
 2129,88 &= \frac{\pi}{4} \times 5,844^2 \times \text{Lls} \\
 \text{Lls} &= \frac{2129,88}{34,15 \times 0,785} \\
 &= 79,456 \text{ ft} \\
 &= 953,472 \text{ in}
 \end{aligned}$$

- Menentukan tekanan desain

$$\text{Tekanan hidrostatik } (\rho h) = \rho \times (H-1) \quad (\text{Brownell \& Young pers 3,17 hal 46})$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{144}{65,760 \text{ lb/ft}^3} \times 79,46 \text{ ft} - 1 \\
 &= 35,83 \text{ psia}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_i &= P_{\text{atm}} + P_{\text{hidrostatik}} \\
 &= 14,6959 + 35,828 \\
 &= 50,524 \text{ psia} \\
 &= 35,828 \text{ psig}
 \end{aligned}$$

- Menentukan tebal silinder

$$\begin{aligned}
 \text{tebal} &= \frac{P_i \cdot d_i}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C \\
 &= \frac{35,8281 \times 70,1231}{2 \times [(17500 \times \#) - (0,6 \times 35,828)]} + \frac{1}{16} \\
 &= 0,0899 + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{2,4379}{16} \approx \frac{5}{16}
 \end{aligned}$$

Standarisasi do

$$\begin{aligned}
 d_o &= d_i + 2 \text{ ts} \\
 &= 70,1231 + \left(2 \times \frac{5}{16} \right) \\
 &= 70,9981 \text{ in} \quad 96 \text{ in}
 \end{aligned}$$

Standarisasi dengan Tabel 5.7, Brownell and Young, hal 89

$$\begin{aligned}
 d_o &= 96 \\
 icr &= 7 \\
 r &= 96 \\
 \text{ts} &= 0,3125
 \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned}
 d_i &= d_o - 2 \text{ ts} \\
 &= 96 - \left(2 \times \frac{5}{16} \right) \\
 &= 95,3750 \text{ in} \\
 &= 7,948 \text{ ft}
 \end{aligned}$$

Menghitung tinggi silinder (Ls)

$$\begin{aligned}
 L_s &= 1,5 \text{ di} \\
 &= 1,5 \times 7,948 \\
 &= 11,921875 \text{ ft} \\
 &= 143,0625 \text{ in}
 \end{aligned}$$

- Menghitung dimensi tutup atas

Bentuk tutup atas adalah standar dish dan tutup bawah adalah flat, sehingga

$$r = d_i \text{ baru} = 96,00 \text{ ft} = 1152 \text{ in}$$

Tebal tutup atas (tha) *(Brownell & Young, persamaan 13.12 hal 258)*

$$\begin{aligned} \text{tha} &= \frac{0,885 \text{ Pi} \cdot \text{di}}{(\text{fE} - 0,1 \text{ Pi})} + C \\ &= \frac{0,885 \times 35,8281 \times 95,3750}{[(17500 \times 0,8) - (0,1 \times 35,828)]} + \frac{1}{16} \\ &= 0,22 + \frac{1}{16} \\ &= \frac{4,4570}{16} \approx \frac{3}{16} \end{aligned}$$

Tinggi tutup atas (ha)

$$\begin{aligned} \text{ha} &= 0,1690 \times \text{di} \\ &= 0,1690 \times 95,3750 \\ &= 16,118 \text{ in} \\ &= 1,3432 \text{ ft} \end{aligned}$$

- Menghitung tinggi tar (H)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki (H)} &= \text{Tinggi silinder} + \text{Tinggi tutup atas} \\ &= 11,921875 \text{ ft} + 1,3432 \text{ ft} \\ &= 13,2651 \text{ ft} \\ &= 159,180875 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi

Fungsi : Tangki untuk menyimpan pendingin dowtherm A

Jumlah tangki	:	1	buah
Volume tangki	:	2366,5387	ft ³
Diameter dalam (di)	:	7,9479	ft
Diameter luar (do)	:	8	ft
Tebal silinder (ts)	:	0,3125	
Tebal tutup atas (tha)	:	3/16	
Tinggi tutup atas (ha)	:	1,3432	ft
Tinggi storage	:	13,2651	ft

2. Pompa Dowtherm A (L-312)

Fungsi : Memompakan dowtherm dari storage menuju peralatan

Type : Centrifugal Pump

Dasar perencanaan :

- Rate aliran	=	21177,12	kg/jam	=	46687,1	lb/jam
- Densitas (ρ) dowtherm	=	65,76	lb/ft ³	=		
- Viskositas (μ)	=	2,100	mPa s	=	0,0021	Pa s
	=	0,0005	lb/ft.s			

Perhitungan :

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik (Q)} &= \frac{\text{rate liquid}}{\rho \text{ liquid}} \\ &= \frac{46687,0757 \text{ lb/jam}}{65,76 \text{ lb/ft}^3} \\ &= 709,9616 \text{ ft}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$= 0,1972 \quad \text{ft}^3/\text{detik}$$

$$= 73,7092 \quad \text{gpm}$$

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

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

$$\text{ID optimal} = 3,9 \times 0,1972^{0,45} \times 65,76^{0,13}$$

$$= 3,2368 \quad \text{in} \approx 3$$

$$\text{Standarisasi ID} = 5 \text{ in sch 40} \quad (\text{Kern, Hal 844})$$

Sehingga diperoleh :

$$\text{OD} = 5,563 \quad \text{in} = 0,46358 \quad \text{ft}$$

$$\text{ID} = 5,047 \quad \text{in} = 0,42058 \quad \text{ft}$$

$$\text{A} = 0,139 \quad \text{ft}^2$$

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

$$= \frac{0,1972 \quad \text{ft}^3/\text{detik}}{0,1390 \quad \text{ft}^2}$$

$$= 1,4188 \quad \text{ft}/\text{detik}$$

$$= 5107,6375 \quad \text{ft}/\text{jam}$$

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

$$= \frac{0,421 \times 1,4188 \times 65,7600}{0,000500}$$

$$= 78479,6419$$

Karena $N_{Re} > 4000$, maka jenis aliran fluida adalah turbulen

Ditentukan bahan pipa adalah Carbon Steel

Sehingga diperoleh :

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

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0,0001509}{0,4206} = 0,00036$$

$$f = 0,0075 \quad (\text{Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88})$$

Direncanakan :

$$\text{a. Panjang pipa lurus} = 60 \quad \text{ft}$$

$$\text{b. Elbow, } 90^\circ = 1 \quad \text{buah}$$

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

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

$$= 35 \times 1 \times 0,4206$$

$$= 14,7203 \quad \text{ft}$$

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

$$\text{Le/D} = 225 \quad (\text{Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93})$$

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

$$= 225 \times 1 \times 0,4206$$

$$= 94,6303 \quad \text{ft}$$

Jadi, total panjang pipa :

$$\begin{aligned}\Delta L &= 60 + 14,7203 + 94,6303 \\ &= 169,35 \text{ ft}\end{aligned}$$

Menentukan friksion loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$\begin{aligned}F_f &= \frac{4f \times v^2 \times \Delta L}{2 \cdot \alpha \cdot g_c \cdot D} \\ &= \frac{4 \times 0,0075 \times 1,4188^2 \times 2 \times 169,3506}{2 \times 1 \times 32,1740 \times 0,4206} \\ &= 0,3779 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

2. Friksi pada Elbow 90° 1 buah

$$K_f = 0,75 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 94})$$

$$\begin{aligned}h_f &= 1 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 1 \frac{0,75 \times 1,4188^2}{1 \times 32,1740} \\ &= 0,0469 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

3. Friksi pada Gate valve 1 buah

$$K_f = 4,50 \quad (\text{Tabel 2.10-2, Geankoplis, hal. 94})$$

$$\begin{aligned}h_f &= 1 \frac{K_f \times v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 1 \frac{4,50 \times 1,4188^2}{2 \times 32,1740} \\ &= 0,1408 \text{ lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

4 Friksi pada kontraksi

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

$$\begin{aligned}h_c &= \frac{K_c v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \\ &= \frac{0,55 \times 2,0130^2}{2 \times 1 \times 32,174} = \text{##### lbf.ft/lbm}\end{aligned}$$

5 Friksi pada ekspansi

$$\begin{aligned}K_{ex} &= (1 - (A_2/A_1))^2 \\ &= (1 - 0)^2 \\ &= 1 \\ h_{ex} &= \frac{K_{ex} v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c}\end{aligned}$$

$$= \frac{1}{2} \times \frac{2,0130}{1 \times 32,174}$$

$$= \text{##### lbf.ft/lbm}$$

Sehingga

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

$$= 0,6141 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Menentukan tenaga penggerak pompa :

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

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

Direncanakan :

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

$$\Delta P = 0 \text{ karena } P_1 = P_2 = 1 \text{ atm}$$

$$\Delta v = 1,4188 \text{ ft/detik}$$

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

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

$$= \left(\frac{1,4188^2}{2 \times 1 \times 32,174} \right) + \left(\frac{965,22}{32,174} \right) + \left(\frac{0}{65,76} \right) + 0,6$$

$$= 30,6454$$

$$W_s = \text{#####}$$

$$\text{Untuk kapasitas } (Q) = 73,71 \text{ gpm}$$

$$\eta \text{ pompa} = 89\% \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-37 hal. 520})$$

$$W_p = \frac{W_s}{\eta \text{ pompa}} = \frac{30,65}{0,89} = 34,43 \text{ ft lbf/lbm}$$

$$\text{Pump Horse Power} = \frac{(W_p) \times Q \times \rho}{550}$$

$$= \frac{34,4330 \times 0,1972 \times 65,76}{550}$$

$$= 0,8119 \text{ Hp}$$

$$\text{BHP} = \frac{\text{Pump HP}}{\eta \text{ pompa}} = \frac{0,8119}{89\%} = \text{### Hp}$$

$$\eta \text{ motor} = 89\% = 0,89 \quad (\text{Timmerhauss, fig. 14-38 hal. 521})$$

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

$$= \frac{0,812}{0,89}$$

$$= \text{##### Hp} \approx 1 \text{ Hp}$$

» Spesifikasi Pompa

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

D.3 Unit penyediaan bahan bakar boiler**1. Storage Tank Fuel Oil Boiler (F-225)**

Fungsi : Untuk menampung Fuel Oil

Tipe : Tangki berbentuk silinder, tutup atas berbentuk *standar dishT* dan tutup bawah berbentuk datar

Direncanakan

Bahan konstruksi : High Alloy Steel SA 240 Grade M Type 316

$F_{allowable}$: 18750

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

Faktor korosi : 1/16

Volume ruang kosong : 20% Volume total

Waktu tinggal : 7 hari

Jumlah *storage* : 1 buah

Kondisi

Suhu bahan : 30 °C = 303,15 K

Tekanan : 1 atm = 14,696 psia

Massa *fuel oil masuk* : 349,86110 kg/jam = 771,3038 lb/jam

ρ fuel oil 33° API : 860 kg/m³ = 53,664 lb/ft³

Rate volumetrik = $\frac{771,3038}{53,6640}$ = 14,3728 ft³/jam

Sehingga

$$\begin{aligned} \text{Volume Liquid} &= \frac{\text{rate volumetrik}}{\text{jumlah}} \times \text{waktu tinggal} \\ &= \frac{14,3728 \text{ ft}^3/\text{jam}}{1} \times 168 \text{ jam} \\ &= 2414,6362254 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Volume ruang kosong = 20% volume total

$$= 20\% \times V_T$$

Volume total = Volume liquid + Volume ruang kosong

Volume total = 2414,636 + 20% Volume total

80% Volume total = 2414,636

Volume total = 3018,2953 ft³

- Menghitung diameter tangki

Asumsi Ls = 1,5 di

$$V_{\text{total}} = V_{\text{tutup atas}} + V_{\text{silinder}}$$

$$2018,2953 = 0,0847 \text{ ft}^3 + \left[\frac{\pi}{4} \times D^2 \times L \right]$$

$$\begin{aligned}
 3018,295 &= 0,0847 \text{ di}^3 + \left[\frac{\pi}{4} \times \text{di}^2 \times 1,5 \right] \text{ di} \\
 3018,295 &= 0,0847 \text{ di}^3 + 1,1775 \text{ di}^3 \\
 3018,295 &= 1,2622 \text{ di}^3 \\
 \text{di}^3 &= 2391,297 \\
 \text{di} &= 13,3725 \text{ ft} \\
 &= 160,4695 \text{ in} \\
 &= 4,0759246395 \text{ m}
 \end{aligned}$$

- Menghitung tinggi liquida

$$V \text{ liquida} = V \text{ liquida dalam silinder}$$

$$V \text{ liquida} = \left(\frac{\pi}{4} \times \text{di}^2 \times \text{Lls} \right)$$

$$\text{#####} = \frac{\pi}{4} \times 13,3725^2 \times \text{Lls}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Lls} &= \frac{2414,6362254}{178,8226 \times 0,785} \\
 &= 10,599832501 \text{ ft} \\
 &= 127,19799001 \text{ in}
 \end{aligned}$$

- Menentukan tekanan desain

$$\begin{aligned}
 \text{Tekanan hidrostatik (ph)} &= \frac{\rho \times (H-1)}{144} \quad (\text{Brownell \& Young pers 3,17 hal 46}) \\
 &= \frac{53,664 \text{ lb/ft}^3 \times 10,600 \text{ ft} - 1}{144} \\
 &= 3,578 \text{ psia}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_i &= P_{\text{atm}} + P_{\text{hidrostatikPatm}} + P_{\text{hidrostatik}} \\
 &= 14,6959 + 3,5775 \\
 &= 18,273 \text{ psia} \\
 &= 3,5774 \text{ psig}
 \end{aligned}$$

- Menentukan tebal silinder

$$\begin{aligned}
 \text{tebal} &= \frac{P_i \cdot \text{di}}{2(f \cdot E - 0,6P_i)} + C \\
 &= \frac{3,5774 \times 160,4695}{2 \times [(18750 \times \#) - (0,6 \times 3,5774)]} + \frac{1}{16} \\
 &= \frac{0,02 + 1}{16} \\
 &= \frac{1}{16} \approx \frac{1}{16}
 \end{aligned}$$

Standarisasi do

$$\begin{aligned}
 \text{do} &= \text{di} + 2 \text{ ts} \\
 &= 160,4695 + (2 \times \frac{1}{16})
 \end{aligned}$$

$$= 160,8445 \text{ in} \frac{\quad}{16}$$

Standarisasi dengan Tabel 5.7, Brownell and Young, hal 89

$$\begin{aligned} d_o &= 192 \\ i_{cr} &= 10,20 \\ r &= 170,00 \\ t_s &= 3/16 \end{aligned}$$

maka :

$$\begin{aligned} d_{i_{\text{baru}}} &= d_o - 2 t_s \\ &= 192 - \left(2 \times \frac{3}{16} \right) \\ &= 191,6250 \text{ in} \\ &= 15,9688 \text{ ft} \end{aligned}$$

Menghitung tinggi silinder (Ls)

$$\begin{aligned} L_s &= 1,5 d_i \\ &= 1,5 \times 15,9688 \\ &= 23,953125 \text{ ft} \\ &= 287,4375 \text{ in} \end{aligned}$$

- Menghitung dimensi tutup tas

Bentuk tutup atas adalah standar dish dan tutup bawah adalah flat, sehingga

$$r = d_{i_{\text{baru}}} = 15,9688 \text{ ft} = 191,625 \text{ in}$$

Tebal tutup atas (tha) *(Brownell & Young, persamaan 13.12 hal 258)*

$$\begin{aligned} t_{ha} &= \frac{0,885 P_i d_i}{(fE - 0,1 P_i)} + C \\ &= \frac{0,885 \times 3,5774 \times 191,6250}{\left[\left(\frac{18750}{0,8} \right) - \left(0,1 \times 3,5774 \right) \right]} + \frac{1}{16} \\ &= 0,0404 + \frac{1}{16} \\ &= \frac{1,6472}{16} \approx \frac{3}{16} \end{aligned}$$

Tinggi tutup atas (ha)

$$\begin{aligned} h_a &= 0,1690 \times d_i \\ &= 0,1690 \times 191,6250 \\ &= 32,3846 \text{ in} \\ &= 2,6987 \text{ ft} \end{aligned}$$

- Menghitung tinggi tangki (H)

$$\begin{aligned} \text{Tinggi tangki (H)} &= \text{Tinggi silinder} + \text{Tinggi tutup atas} \\ &= 23,953125 \text{ ft} + 2,6987 \text{ ft} \\ &= 26,6518 \text{ ft} \\ &= 319,822125 \text{ in} \end{aligned}$$

Spesifikasi

Fungsi	:	Untuk menampung <i>fuel oil</i> selama 7 hari
Tipe	:	Tangki berbentuk silinder, tutup atas berbentuk standar dish dan tutup bawah flat
Jumlah tangki	:	1 buah
Volume tangki	:	3018,2953 ft ³
Diameter dalam (di)	:	15,9688 ft
Diameter luar (do)	:	16 ft
Tebal silinder (ts)	:	3/16
Tebal tutup atas (tha)	:	3/16
Tinggi tutup atas (ha)	:	2,6987 ft
Tinggi storage	:	26,6518 ft

D.4. Unit Penyediaan Tenaga Listrik

Kebutuhan tenaga listrik yang ini direncanakan ini direncanakan disediakan oleh PLN dan Generator Set. Tenaga Listrik yang dipergunakan untuk menggerakkan motor, Perincian kebutuhan listrik terbagi menjadi :

- Peralatan proses produksi
- Daerah pengolahan air
- Listrik untuk penerangan

D.4.1 Peralatan Proses Produksi

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

Tabel D.4.1. Pemakaian listrik pada peralatan proses produksi

No.	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Daya (Hp)
1	L-112	Pompa metanol	1	1
2	G-115	Blower	1	26
3	G-117A	Kompresor metanol	1	1
4	G-117B	Kompresor udara	1	1
5	L-122	Pompa	1	1
Total			5	30

D.4.2. Daerah Pengolahan Air

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

Tabel D.4.2. Pemakaian listrik pada daerah pengolahan air

No.	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Daya (Hp)
1	L-211	Pompa air kawasan	1	1
2	L-213	Pompa air bersih	1	1
3	L-215	Pompa air lunak	1	1
4	L-224	Pompa air umpan boiler	1	0,197
5	L-216	Pompa sanitasi	1	1
6	L-220	Pompa air proses	1	1

7	L-312	Pompa dowtherm A	1	1
Jumlah			7	6

Jadi, kebutuhan total untuk motor penggerak sebesar :

$$= 30 + 6 \text{ Hp} = 36 \text{ Hp}$$

$$= 36 \text{ Hp} \times 0,7457 \text{ kWh/Hp} = 26,927 \text{ kWh}$$

$$\text{Kebutuhan listrik dari PLN} = \frac{26,927}{0,6} = \text{##### kW}$$

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

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

- L = lumen outlet A = luas daerah
 F = foot candle
 U = koefisien utilitas = 0,8
 D = efisiensi penerangan rata-rata = 0,75

Tabel D.3.3. Pemakaian listrik untuk penerangan

No	Lokasi	Luas		F	Lumen
		m ²	ft ²		
1	Pos Keamanan	100	#####	5	8969,7072
2	Taman	200	2152,73	5	17939
3	Parkir tamu	150	1614,55	5	13455
4	Parkir karyawan	200	2152,73	5	17939
5	Aula	500	5381,82	20	179394
6	Kantor pusat divisi marketing dan keuangan	300	3229,09	15	Rp80.727
7	Kantor pusat divisi administrasi dan humas	300	3229,09	15	Rp80.727
8	Mushollah	70	753,46	10	12558
9	Perpustakaan	70	753,46	10	12558
10	Poliklinik	100	1076,36	10	17939
11	Toilet	100	1076,36	10	17939
12	Generator	200	2152,73	10	35879
13	Kantor Divisi Teknik	200	2152,73	15	53818
14	Kantor Pusat Divisi Produksi dan utilitas	300	3229,09	15	80727
15	Kantin	70	753,46	10	12558
16	Laboratorium	300	3229,09	15	80727
17	Garasi	100	1076,36	15	26909
18	Bengkel	150	1614,55	10	26909
19	Area proses produksi	3000	32290,95	20	1076365
20	Ruang kontrol	200	2152,73	10	35879

21	Area penyimpanan bahan baku	250	2690,91	15	67272,804
22	Ruang boiler	200	2152,73	10	35879
23	Gudang bahan bakar	150	1614,55	10	26909
24	Industrial safety dan pemadam	60	645,82	15	16145
25	Area utilitas	500	5381,82	5	44848,536
26	Gudang formaldehid	250	2690,91	20	89697,072
27	Unit listrik	100	1076,36	5	8969,7072
28	Area perluasan	200	2152,73	15	53818
29	Halaman dan jalan	500	5381,82	10	89697,072
Total		8820,00	94935	335	2323154

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan listrik untuk penerangan} &= \frac{\text{Lumen}}{0,6} \times \frac{1}{19000 \text{ lumen/kW}} \\
 \text{(selain jalan dan taman)} &= \frac{2215517,68}{0,6} \times \frac{1}{19000 \text{ lumen/kW}} \\
 &= 194,343656 \text{ kW} \\
 \text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} &= \frac{194343,656 \text{ watt}}{40 \text{ watt}} \\
 &= 4858,5914 \approx 4859 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

Kebutuhan listrik untuk lain lain di tetapkan 10 kW

$$\text{Kebutuhan listrik dari PLN} = \frac{10,0000}{0,6} = 17 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan listrik untuk penerangan} &= \frac{\text{Lumen}}{0,6} \times \frac{1}{19000 \text{ lumen/kW}} \\
 \text{(jalan dan taman)} &= \frac{107636,49}{0,6} \times \frac{1}{19000 \text{ lumen/kW}} \\
 &= 9,4417970526 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah lampu yang dibutuhkan} &= \frac{9441,7970526 \text{ watt}}{100 \text{ watt}} \\
 &= 94,4180 \approx 94 \text{ buah}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Total Kebutuhan Listrik} &= 44,9 + 194 + 17 + 9 \text{ kW} \\
 &= 265,33 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Apabila ditetapkan faktor keamanan 10 % maka kebutuhan listrik

$$\begin{aligned}
 \text{Kebutuhan listrik total} &= 265,33 \text{ kW} + (10\% \times 265,3) \\
 &= 292 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Maka, kapasitas generator = 291,86301833

Effisiensi generator = 80 %

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas total generator} &= 364,82877291 \text{ kW} \\ &= 364,82877291 \text{ k V.A} \end{aligned}$$

Spesifikasi Generator

- Tipe : AC Generator 3 Phase
- Kapasitas : 364,83 kV.A
- Frekuensi : 50/60 Hz
- Jumlah : 2 buah

Kebutuhan bahan bakar generator

$$\begin{aligned} \text{Tenaga generatc} &= 365 \text{ kW} \\ &= 22607534 \text{ Btu/day} \end{aligned}$$

Bahan bakar yang digunakan adalah diessel oil

- Heating Value = 19200 Btu/lb
- Densitas = 55 lb/ft³
- efisiensi = 80 %

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan bahan bakar} &= \frac{22607534,282}{19200 \times 0,8 \times 55} \\ &= 26,76081236 \text{ ft}^3/\text{hari} \\ &= 757,78592361 \text{ L/hari} \end{aligned}$$

Menghitung Hv pada T 82 F

$$T \quad Hl \\ 78 \quad ##### \quad \underline{1} = ##### - x$$

$$\begin{array}{rcl}
 82 & x & 5 \quad \overline{48,3629} \\
 83 & 1097,46 & ##### = ##### - x \\
 & & x = ##### - ##### \\
 & & x = #####
 \end{array}$$

$$\text{Hv-HI} = #####$$

Menghitung HI pada T 82 F

$$\begin{array}{rcl}
 T & HI & \\
 78 & 46,818 & \frac{1}{5} = \frac{##### - x}{3,611} \\
 82 & x & \\
 83 & 50,43 & ##### = ##### - x \\
 & & x = ##### - ##### \\
 & & x = 49,7068
 \end{array}$$

Menghitung Hv pada T 590 F

$$\begin{array}{rcl}
 T & HI & \\
 584 & 1175,6 & \frac{3}{9} = \frac{##### - x}{-4} \\
 590 & x & \\
 593 & 1171,6 & ##### = ##### - x \\
 & & x = ##### - ##### \\
 & & x = 1172,9
 \end{array}$$

