APPENDIKS D
UTILITAS

Utilitas merupakan unit penunjang utama dalam memperlancar jalannya suatu proses produksi. Dalam suatu pabrik, utilitas memegang peranan yang penting. Karen suatu proses produksi dalam suatu pabrik tidak akan berjalan dengan baik jika utilitas tidak ada. Oleh sebab itu, segala sarana dan prasarananya harus dirancang sedemikian rupa sehingga dapat menjamin kelangsungan operasi suatu pabrik.

Unit utilitas yang diperlukan pada Pra Perancangan Pabrik Vinil Asetat yaitu :

- Air yang berfungsi sebagai air umpan boiler, air sanitasi, air pendingin dan air unt pemadam kebakaran
- Steam sebagai media pemanas dalam proses produksi
- Karbon tetrafluorida sebagai media pendingin bahan baku etilena
- Listrik yang berfungsi untuk menjalankan alat - alat produksi, utilitas dan untuk penerangan
- Bahan bakar untuk pengoperasian boiler dan generator

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

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

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

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

A. Air Sanitasi

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

a. Syarat fisik
   - Suhu : berada dibawah suhu kamar
   - Warna : tidak berwarna / jernih
   - Rasa : tidak ada rasa
   - Bau : tidak berbau
   - Kekeruhan : < 1 mg SiO_2/liter

- pH : netral
- Tidak berbusa

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

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

Kebutuhan air sanitasi pada Pra Rencana Pabrik Vinil Asetat adalah sebagai berikı

1. Untuk kebutuhan karyawan

Menurut standart WHO kebutuhan air untuk tiap ora	=	120	L/hari
Jumlah karyawan pabrik	=	221	orang
Jam kerja untuk setiap karyawan	=	8	jam/hari

Jadi, kebutuhan air karyawan per jam kerja adalah :

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

Kebutuhan per jam	=	5	L/jam
Kebutuhan air untuk	=	221	karyawan
5 L/jam × 221	=	1105	L/jam
Jika densitas air	=	995.68	kg/m^3
	=	0.99568	kg/L

Maka kebutuhan air sanitasi karyawan :

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

$$m = V \times \rho$$

$$= 1105 \text{ L/jam} \times 0.99568 \text{ kg/L}$$

$$= 1100.2264 \text{ kg/jam}$$

2. Untuk laboratorium dan taman

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

sehingga kebutuhan air untuk laboratorium dan taman:

50% × 1100.23 = 550.1132 kg/jam

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

1100.2264 + 550.113 = 1650.3396 kg/jam

3. Untuk pemadam kebakaran dan cadangan air

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

40% × 1650.3396 = 660.1358 kg/jam

Jadi, total kebutuhan air untuk sanitasi sebesar :

1650.3396 + 660.1358 = 2310.4754 kg/jam

B. Air Pendingin

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

Air pendingin dibutuhkan pada alat - alat berikut :

Tabel D.1.1. Kebutuhan Air Pendingin Pada Peralatan Proses

No.	Nama Peralatan	Kode Alat	Kebutuhan Air Pendingin (kg/jam)
1.	Reaktor	R-110	9781.7698
2.	Kondensor	E-122	7618.2280
3.	Kondensor	E-133	28041.2432
4.	Cooler	E-135	1793.1304
TOTAL			**47234.3714**

Direncanakan banyaknya air pendingin yang disuplai dengan exce 20%

kebutuhan air pendingin = 1.20 × 47234.3714

= 56681.2457 Kg/jam

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

Make Up pendingin = 1.20 × 56681.2457

= 68017.4948 Kg/jam

C. Air Umpan Boiler

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

Tabel D.1.2. Kebutuhan Steam Pada Peralatan Proses

No.	Nama Peralatan	Kode Alat	Kebutuhan Steam (kg/jam)
1.	Vaporizer	V-113	611.8225
2.	Heater	E-114	591.7730
3.	Heater	E-117	498.1407
4.	Heater	E-111A	916.8736
5.	Heater	E-131	387.6948
6.	Reboiler	E-132	696.8001
Total			**3703.1046**

Direncanakan banyaknya steam yang disuplla 20% excess, maka :

Kebutuhan steam = 120% × 3703.1046 kg/jam

= 4443.7256 kg/jam

Make Up untuk kebutuhan steam direncanakan 20% excess, maka :

Make Up steam = 120% × 4443.7256 kg/jam

= 5332.4707 kg/jam

Jadi, jumlah steam yang harus dihasilkan boiler adalah:

Massa steam (m_s) = 5332.4707 kg/jam

= 11758.0978 lb/jam

Steam yang digunakan adalah saturated steam dengan kondisi sebagai berikut :

- Suhu (T) = 190 ^oC = 374 ^oF
- Tekanan (P) = 12.3799 atm = 182 psia
- Air umpan boiler masuk pada suhu = 30 ^oC = 86 ^oF

Dasar Perhitungan :

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

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

Dimana:

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

H_g = entalpi steam pada 374 °F

H_l = entalpi air masuk pada 86 °F

Dari App A.2-9 Geankoplis, hal 859[21] didapatkan :

$Hl86_{°F}$ = 54.078 Btu/lbm

$Hg86_{°F}$ = 1099.02 Btu/lbm

$Hg374_{°F}$ = 1197.92 Btu/lbm

Jadi :

$$Q = \frac{11758.10 \text{ lb/jam} \times (1197.92 - 54.078) \text{ btu/lb}}{1000}$$

= 13449.41 btu/jam

$$\text{Energi Boiler} = \frac{ms \times (H_g - H_f)}{1099.02 \times 34.5} \quad \text{(Pers. 8-2, Kusnarjo hal.108)[9]}$$

$$= \frac{11758.0978 \text{ lb/jam} \times (1197.9200 - 54.0780) \text{ btu/lb}}{37916.19}$$

= 354.7141 HP ≈ 355 HP

Panas yang dipindahkan oleh permukaan a = 6.10^5 W/m^2 (Perry's. tabel 9.49)[7]

= 190198.4400 btu/jam.ft^2

$$\text{Luas permukaan panas (A)} = \frac{13449.4061 \text{ btu/jam}}{190198.4400 \text{ btu/jam.ft}^2}$$

= 0.070712494 ft^2

$$\text{Faktor evaporasi} = \frac{H_g - H_f}{970.3} \quad \text{(Kusnarjo hal.108)[9]}$$

$$= \frac{(1197.92 - 54.078)}{970.3}$$

= 1.17885

Jumlah air yang dibutuhkan = faktor evaporasi × rate steam

$= 1.1789 \times 5332.4707$ lb/jam

$= 6286.2042$ lb/jam

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

$H_v = 132000$ btu/lb (Perry's 7th ed. fig. 27-3)[7]

$= 76758$ kcal/kg

Diperkirakan effisiensi Boiler 80%, maka :

$$\text{Kebutuhan bahan bakar} = \frac{m_s \times (H_g - H_f)}{\text{effisiensi} \times H_v}$$

$$= \frac{11758.0978 \text{ lb/jam} \times (1197.9 - 54.1) \text{ btu/lb}}{0.8 \times 132000 \text{ btu/lb}}$$

$= 127.3618$ lb/jam $= 57.7709$ kg/jam

Apabila ditetapkan :

- Heating value surface = 10.0 ft^2/Hp boiler
- panjang pipa (L) = 20 ft
- Ukuran pipa = 4 in
- Luas permukaan (at) = 1.178 ft^2/ft (Kern, tabel 10, hal. 844)[24]

Heating surface Boiler = H_v surface × Hp Boiler

$= 10.0$ ft^2/Hp × 355 Hp

$= 3550$ ft^2

Jumlah tube yang dibutuhkan :

$$Nt = \frac{A}{at \times L}$$

$$= \frac{3550 \text{ ft}^2}{1.178 \text{ ft}^2/\text{ft} \times 20 \text{ ft}}$$

$= 150.6791 \approx 151$ tube

Spesifikasi Boiler

- Tipe : Fire Tube Boiler
- Kapasitas Boiler : 13449.4061 btu/jam
- Rate steam : 11758.0978 lb/jam
- Bahan bakar : Fuel oil 33 °API
- Effisiensi : 80%
- Heating surface : 3550 ft^2
- Jumlah tube : 151 tube
- Ukuran tube : 4 in
- Panjang tube : 20 ft
- Jumlah Boiler : 1 buah

Dari perhitungan di atas,diketahui bahwa jumlah air umpan yang dibutuhkan sebes 6286.2042 lb/jam. Air umpan Boiler disediakan excess 20% sebagai pengganti steam yang hilang, kebocoran akibat dari tranmisi diperkirakan sebesar 5% dan faktor keamanan 10%.

Sehingga kebutuhan air umpan Boiler sebesar :

- Excess 20%,
  1.2 × 6286.2042 lb/jam = 7543.4450 lb/jam
- Faktor kebocoran 5%,
  5% × 6286.2042 lb/jam = 314.3102 lb/jam
- Faktor keamanan 10%,
  10% × 6286.2042 lb/jam = 628.6204 lb/jam

Jadi total kebutuhan air umpan Boiler adalah :

= 7543.445 + 314.3102 + 628.6204 lb/jam

= 8486.3756 lb/jam = 3849.3947 kg/jam

Total kebutuhan air yang perlu disuplay pada Pra-Rencana Pabrik Vinil Asetat adalah sebagai berikut :

Tabel D.1.3. Total Kebutuhan Air Pabrik Vinil Asetat

No.	Keterangan	Jumlah (kg/jam)
1.	Air Sanitasi	2310.4754
2.	Air Umpan Boiler	3849.3947
3.	Air Pendingin	68017.4948
Jumlah		**74177.3650**

Air yang diperoleh berasal dari air kawasan, sehingga pengolahan awal tidak diperluk
Namun, air kawasan tersebut masih perlu diproses untuk memenuhi kebutuhan air prc
air pendingin, air umpan boiler dan air sanitasi.

Peralatan yang digunakan dalam pengolahan air, yaitu :

1. Pompa Air kawasan (L-211)

Fungsi : Memompa air kawasan ke bak penampung air bersih

Tipe : *Centrifugal pump*

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 74177.3650 kg/jam
  = 163531.4188 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3
- Viskositas (μ) = 0.000538 lb/ft.detik
  = 1.936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

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

$$= \frac{163531.4188 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$$

= 2630.8935 ft^3/jam

= 0.7308 ft^3/detik

= 273.1432 gpm

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

ID optimal = $3{,}9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13}$ (Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)[23

ID optimal = $3.9 \times \left(0.7308\right)^{0.45} \times \left(62.1581\right)^{0.13}$

= 5.7933 in ≈ 10 in

Standarisasi ID = 12 in sch 40 (Brownell, page.389)[12]

Sehingga diperoleh :

OD = 10.7500 in = 0.8958 ft

ID = 10.0200 in = 0.8350 ft

A = 2.8100 ft^2

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

$= \frac{0.7308 \ ft^3/detik}{2.8100 \ ft^2}$

= 0.2601 ft/detik

= 936.2610 ft/jam

Cek jenis aliran fluida :

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

$= \frac{0.8350 \times 0.2601 \times 62.1581}{0.000538}$

= 25087.3927

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

Ditentukan bahan pipa adalah Commercial steel

Sehingga diperoleh :

$\varepsilon = 4.6 \times 10^{-5}$ m = 0.00015 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.00015}{0.8350} = 0.00018$

f = 0.005 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

α = 1

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 150 ft

b. Elbow, 90° = 3 buah

Le/D = 35 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 35 ID

= 35 × 3 × 0.8350

= 87.6743 ft

c. Gate valve = 2 buah (wide open)

Le/D = 9 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 9 ID

= 9 × 2 × 0.8350

= 15.0299 ft

Panjang pipa total (L) = Pipa lurus + elbow 90° + gate valve

= 150 + 87.6743 + 15.0299

= 252.7041 ft

= 3032.4497 in

Menentukan Friksion Loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = 4f \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.6 Hal 89)[21]

$$= 4 \times 0.0050 \frac{252.7041}{0.8350} \times \frac{0.2601^2}{2 \times 32.174}$$

$$= 0.0064 \text{ lbf.ft/lbm}$$

2. Kontraksi pada keluaran tangki

$$hc = Kc \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.16 Hal 93)[21]

$$= 0.55 \frac{0.2601^2}{2 \times 32.174}$$

$$= 0.0006 \text{ lbf.ft/lbm}$$

3. Elbow 90°, 3 buah

K_f = 0.75 (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$$hf = Kf \frac{v^2}{2}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$$= 3 \times 0.75 \frac{0.2601^2}{2}$$

$$= 0.0761 \text{ lbf.ft/lbm}$$

4. Ekspansi

$$K_{eks} = 1 - \frac{A_1}{A_2}^2$$

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

$$= 1$$

$$h_{eks} = K_{eks} \frac{v^2}{2\alpha}$$

$$= 1 \times \frac{0.2601^2}{2 \times 1}$$

$$= 0.0338 \text{ lbf.ft/lbm}$$

5. Gate valve wide open, 2 buah

K_f = 0.17 (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$$hf = 2Kf \frac{v^2}{2}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$$= 2 \times 0.17 \frac{0.2601^2}{2}$$

$$= 0.0115 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Sehingga :

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

$$(\Sigma F) = 0.0064 + 0.0006 + 0.0876 + 0.0338$$

= 0.1284 ft.lb_f/lb_m

Menentukan Kesetimbangan Mekanik

Direncanakan :

ΔZ = 40 ft

ΔP = 0 lb/ft^2 (karena $P_1 = P_2$)

v_1 = 0 ft/s (karena fluida diam dalam tangki penampungan)

v_2 = 0.2601 ft/s

α = 1 (aliran turbulen)

Sehingga kesetimbangan mekanik :

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2.\alpha.gc} + \Delta Z\frac{g}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F = -Ws$$

$$\frac{0.0676 - 0}{2 \times 1 \times 32.174} + 40\ \frac{32.174}{32.174} + \frac{0.0000}{62.1581} + 0.1284 = -Ws$$

-Ws = 40.1294 lbf.ft/lbm

Dari Fig. 14.37 "Petters & Timmerhause", hal 520[23], didapatkan :

Efisiensi pompa (η) = 85%

Ws = - η Wp

40.1294 = - 85% Wp

Wp = 47.2111 ft.lbf/lbm

Mass flow rate (m) = Q × ρ

= 0.7308 × 62.1581

= 45.4254 lbm/jam

= 0.0126 lbm/s

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

$= 47.2111 \times 0.0126 \times \frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$

= 0.0011 hp

Dari Fig.14.38 Hal.521, Petters &Timmerhause[23], didapatkan :

Efisiensi motor = 80%

Broken horsepowe = $\frac{\text{pump horsepower}}{\eta}$

$= \frac{0.0011}{85\%}$

= 0.0013 ≈ 1 Hp

Daya = $\frac{\text{BHP}}{\text{Efisiensi Motor}}$

$= \frac{0.0013}{80\%}$

= 0.0016 Hp ≈ 1 Hp

Spesifikasi Alat Pompa Air Kawasan (L-211) :

Fungsi	:	Memompakan air kawasan ke bak penampung air bersih
Type	:	pompa sentrifugal
Bahan	:	Carbon Steel
Daya	:	1 Hp
Kapasitas	:	2630.8935 ft^3/jam
panjang pipa	:	3032.4497 in
Jumlah	:	1 buah

2. Bak Air Bersih (F-212)

Fungsi : Menampung air bersih untuk didistribusikan ke proses selanjutnya

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 74177.3650 kg/jam = 163531.4188 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3

Perhitungan :

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

$$= \frac{163531.4188 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 2630.8935 \text{ ft}^3\text{/jam}$$

$$= 74.4990 \text{ m}^3\text{/jam}$$

Waktu tinggal = 24 jam

Volume air = rate volumetrik × waktu tinggal

= 74.4990 × 24

= 1787.9763 m^3

Volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{1787.9763}{0.8}$$

= 2234.9703 m^3

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

Panjang : Lebar : Tingg = 6 × 4 × 3

Volume bak = 6 m × 4 m × 3 m

= 72 m^3

Sehingga :

Volume bak = 72 x^3

2234.9703 m^3 = 72 x^3

x = 3.1428 m

Jadi dimensi bak air bersih :

Panjang	=	6	×	3.1428	m	=	18.8566	≈	19	m
Lebar	=	4	×	3.1428	m	=	12.5711	≈	13	m
Tinggi	=	3	×	3.1428	m	=	9.4283	≈	10	m

Spesifikasi Bak Air Bersih (F-212) :

- Bentuk	:	Persegi Panjang	
- Panjang	:	19	m
- Lebar	:	13	m
- Tinggi	:	10	m
- Bahan	:	Beton bertulang	
- Jumlah	:	1	Buah

3. Pompa Air Bersih (L-213)

Fungs : Memompakan air dari bak penampung air bersih untuk didistribusikan menuju treatment air umpan boiler, air pendingin dan air sanitasi

Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 74177.3650 kg/jam
  = 163531.4188 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3
- Viskositas (μ) = 0.000538 lb/ft.detik
  = 1.936967 lb/ft.jam

Perhitungan :

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

$$= \frac{163531.4188\ \text{lb/jam}}{62.1581\ \text{lb/ft}^3}$$

$= 2630.8935\ ft^3/jam$

$= 0.7308\ ft^3/detik$

$= 273.1432$ gpm

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

ID optimal = $3{,}9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13}$ (Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)[23

ID optimal = $3.9 \times (0.7308)^{0.45} \times (62.1581)^{0.13}$

= 5.7933 in ≈ 10 in

Standarisasi ID = 12 in sch 40 (Brownell, page.389)[12]

Sehingga diperoleh :

OD = 10.7500 in = 0.8958 ft

ID = 10.0200 in = 0.8350 ft

A = 2.8100 ft^2

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

$$= \frac{0.7308\ \text{ft}^3/\text{detik}}{2.8100\ \text{ft}^2}$$

= 0.2601 ft/detik

= 936.2610 ft/jam

Cek jenis aliran fluida :

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

$$= \frac{0.8350 \times 0.2601 \times 62.1581}{0.000538}$$

$$= 25087.3927$$

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

Ditentukan bahan pipa adalah Commercial steel

Sehingga diperoleh :

$\varepsilon = 4.6 \times 10^{-5}$ m = 0.00015 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.00015}{0.8350} = 0.00018$$

f = 0.005 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

α = 1

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 150 ft

b. Elbow, 90° = 3 buah

Le/D = 35 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 35 ID

= 35 × 3 × 0.8350

= 87.6743 ft

c. Gate valve = 2 buah (wide open)

Le/D = 9 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 9 ID

= 9 × 2 × 0.8350

= 15.0299 ft

Panjang pipa total (L) = Pipa lurus + elbow 90° + gate valve

= 150 + 87.6743 + 15.0299

= 252.7041 ft

= 3032.4497 in

Menentukan Friksion Loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = 4f \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.6 Hal 89)[21]

$$= 4 \times 0.0050 \frac{252.7041}{0.8350} \times \frac{0.2601^2}{2 \times 32.174}$$

= 0.0064 lbf.ft/lbm

2. Kontraksi pada keluaran tangki

$$hc = Kc \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.16 Hal 93)[21]

$$= 0.55 \frac{0.2601^2}{2 \times 32.174}$$

$= 0.0006$ lbf.ft/lbm

3. Elbow 90°, 3 buah

$K_f = 0.75$ (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$hf = Kf \frac{v^2}{2}$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$= 3 \times 0.75 \frac{0.2601^2}{2}$

$= 0.0761$ lbf.ft/lbm

4. Ekspansi

$K_{eks} = 1 - \frac{A_1}{A_2}^2$

$= 1 - (0)^2$

$= 1$

$h_{eks} = K_{eks} \frac{v^2}{2\alpha}$

$= 1 \times \frac{0.2601^2}{2 \times 1}$

$= 0.0338$ lbf.ft/lbm

5. Gate valve wide open, 2 buah

$K_f = 0.17$ (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$hf = 2Kf \frac{v^2}{2}$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$= 2 \times 0.17 \frac{0.2601^2}{2}$

$= 0.0115$ lbf.ft/lbm

Sehingga :

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

$= 0.0064 + 0.0006 + 0.0876 + 0.0338$

$= 0.1284$ $ft.lb_f/lb_m$

Menentukan Kesetimbangan Mekanik

Direncanakan :

ΔZ = 40 ft

ΔP = 0 lb/ft^2 (karena $P_1 = P_2$)

v_1 = 0 ft/s (karena fluida diam dalam tangki penampungan)

v_2 = 0.2601 ft/s

α = 1 (aliran turbulen)

Sehingga kesetimbangan mekanik :

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2.\alpha.gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F = -Ws$$

$$\frac{0.0676 - 0}{2 \times 1 \times 32.174} + 40 \frac{32.174}{32.174} + \frac{0.0000}{62.1581} + 0.1284 = -Ws$$

-Ws = 40.1294 lbf.ft/lbm

Dari Fig. 14.37 "Petters & Timmerhause", hal 520[23], didapatkan :

Efisiensi pompa (η) = 85%

Ws = - η Wp

40.1294 = - 85% Wp

Wp = 47.2111 ft.lbf/lbm

Mass flow rate (m) = Q × ρ

= 0.7308 × 62.1581

= 45.4254 lbm/jam

= 0.0126 lbm/s

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

= $47.2111 \times 0.0126 \times \frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$

= 0.0011 hp

Dari Fig.14.38 Hal.521, Petters &Timmerhause[23], didapatkan :

Efisiensi motor = 80%

Broken horsepower = $\frac{\text{pump horsepower}}{\eta}$

= $\frac{0.0011}{85\%}$

= 0.0013 ≈ 1 Hp

Daya = $\frac{\text{BHP}}{\text{Efisiensi Motor}}$

= $\frac{0.0013}{80\%}$

= 0.0016 Hp ≈ 1 Hp

Spesifikasi Alat Pompa Air Bersih (L-213) :

Fungsi	:	Memompakan air kawasan ke bak penampung air bersih
Type	:	pompa sentrifugal
Bahan	:	Carbon Steel
Daya	:	1 Hp
Kapasitas	:	2630.8935 ft^3/jam
panjang pipa	:	3032.4497 in
Jumlah	:	1 buah

4. Kation Exchanger (D-210A)

Fungs : Untuk menghilangkan ion - ion positif yang menyebabkan kesadahan air

Resin yang digunakan adalah RSO_3H^+

1 m^3 Resin = Menghilangkan 6500 - 9000 gr hardness

Direncanakan memakai resin sebesa = 7000 g/m^3
= 0.4370 lb/ft^3

Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316

Asumsi kesadahan TDS

Total Kation = 50 mg/L
= 0.0031 lb/ft^3

Dasar perencanaan:

Rate aliran = 71866.8895 kg/jam = 158437.7446 lb/jam

Densitas = 62.1581 lb/ft^3

Perhitungan :

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

$$= \frac{158437.7446 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$$

= 2548.9465 ft^3/jam
= 0.7080 ft^3/detik
= 333.1048 gpm

Menentukan kapasitas resin :

$$V_R = \frac{Q.t.TDS.15,45}{TEC.35,34.\eta}$$

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

$$V_P = Q.t$$

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

Volume kation

$$V_R = \frac{2548.9465 \times 24 \times 0.00312 \times 0.4372}{0.4370 \times 90\%}$$

= 212.2501 ft^3
= 6010.2870 L

Diambil volume resin V_R = 6010.2870 L

(Untuk lama waktu siklus 24 jam)

Sehingga untuk lama waktu siklus 1 tahun dibutuh resin sebanyak:

V_R = 6010.2870 L × 330 hari
= 1983394.7194 L
= 1983.3947 m^3

Direncanakan :

- tangki berbentuk silinder
- kecepatan air = 5 gpm/ft^2
- tinggi bed = 2 m = 6.5616 ft

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

= $\frac{333.1048 \text{ gpm}}{5 \text{ gpm/ft}^2}$

= 66.6210 ft^2

Volume bed = luas × tinggi

= 66.6210 × 6.5616

= 437.1401 ft^3 = 12.3785 m^3

Diameter bed,

Luas = π / 4 × D^2

66.6210 ft^2 = 0.7850 × D^2

D = 9.2124 ft

Direncanakan H/D = 1.5

H = 1.5 × D

= 1.5 × 9.2124 ft

= 13.8185 ft

Volume tangki

V = H × A

= 13.8185 ft × 66.6210 ft^2

= 920.6039 ft^3

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

Kandungan kation = 333.1048 gpm × 3

= 999.3145 grains/menit

= 59958.868 grains/jam

Hardness sebanyak = 12.3785 m^3 × 7000 g/m^3

= 86649.47694 gram

= 1337192.0580 grain

Umur Resin = $\frac{1337192.0580}{59958.8676}$ = 22.3018 jam

Jadi setelah 22.3018 jam, resin harus segera diregenerasi dengan menambahkan asam sulfat atau asam klorida.

Spesifikasi Kation Exchanger (D-210A) :

- Bahan konstruksi : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316
- Tipe : Silinder tegak
- Diameter : 9.21235 ft
- Tinggi : 13.81853 ft
- Jumlah : 1

5. Anion Exchanger (D-210B)

Fungs : Untuk menghilangkan ion - ion negatif yang menyebabkan kesadahan ai

Resin yang digunakan adalah $RCH_2N(CH_3)_3OH$

1 m^3 Resin = Menghilangkan 6500 - 9000 gr hardness

Direncanakan memakai resin sebesa = 7000 g/m^3

= 0.4370 lb/ft^3

Bahan : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316

Asumsi kesadahan TDS

Total Anion = 50 mg/L

= 0.0031 lb/ft^3

Dasar perencanaan:

Rate aliran = 71866.8895 kg/jam = 158437.7446 lb/jam

Densitas = 62.1581 lb/ft^3

Perhitungan :

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

$$= \frac{158437.7446 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$$

= 2548.9465 ft^3/jam

= 0.7080 ft^3/detik

= 333.1048 gpm

Menentukan kapasitas resin :

$$V_R = \frac{Q.t.TDS.15{,}45}{TEC.35{,}34.\eta}$$

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

V_P = Q.t

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

Volume kation

$$V_R = \frac{2548.9465 \times 24 \times 0.00312 \times 0.4372}{0.4370 \times 85\%}$$

= 224.7354 ft^3

= 6363.8333 L

Diambil volume resin V_R = 6363.8333 L

(Untuk lama waktu siklus 24 jam)

Sehingga untuk lama waktu siklus 1 tahun dibutuh resin sebanyak:

V_R = 6363.8333 L × 330 hari

= 2100064.9970 L

= 2100.0650 m^3

Direncanakan :

- tangki berbentuk silinder

- kecepatan air = 5 gpm/ft^2
- tinggi bed = 2 m = 6.5616 ft

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

= $\frac{333.1048 \text{ gpm}}{5 \text{ gpm/ft}^2}$

= 66.6210 ft^2

Volume bed = luas × tinggi

= 66.6210 × 6.5616

= 437.1401 ft^3 = 12.3785 m^3

Diameter bed,

Luas = π / 4 × D^2

66.6210 ft^2 = 0.7850 × D^2

D = 9.2124 ft

Direncanakan H/D = 1.5

H = 1.5 × D

= 1.5 × 9.2124 ft

= 13.8185 ft

Volume tangki

V = H × A

= 13.8185 ft × 66.6210 ft^2

= 920.6039 ft^3

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

Kandungan anion = 333.1048 gpm × 3

= 999.3145 grains/menit

= 59958.868 grains/jam

Hardness sebanyak = 12.3785 m^3 × 7000 g/m^3

= 86649.47694 gram

= 1337192.0580 grain

Umur Resin = $\frac{1337192.0580}{59958.8676}$ = 22.3018 jam

Jadi setelah 22.3018 jam, resin harus segera diregenerasi dengan menambahkan asam sulfat atau asam klorida.

Spesifikasi Anion Exchanger (D-210B) :

- Bahan konstruksi : Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316
- Tipe : Silinder tegak
- Diameter : 9.21235 ft
- Tinggi : 13.81853 ft
- Jumlah : 1

6. Bak Air Lunak (F-221)

Fungs : Menampung air lunak untuk didistribusikan ke air umpan boiler dan air pendingin.

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 71866.8895 kg/jam = 158437.7446 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3

Perhitungan :

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

$$= \frac{158437.7446 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 2548.9465 \text{ ft}^3\text{/jam}$$

$$= 72.1785 \text{ m}^3\text{/jam}$$

Waktu tinggal = 3 jam

Volume air = rate volumetrik × waktu tinggal

= 72.1785 × 3

= 216.5356 m^3

Volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{216.5356}{0.8}$$

= 270.6694 m^3

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

Panjang : Lebar : Tingg = 6 × 4 × 3

Volume bak = 6 m × 4 m × 3 m

= 72 m^3

Sehingga :

Volume bak = 72 x^3

270.6694 m^3 = 72 x^3

x = 1.5549 m

Jadi dimensi bak air bersih :

Panjang = 6 × 1.5549 m = 9.3294 ≈ 10 m

Lebar = 4 × 1.5549 m = 6.2196 ≈ 7 m

Tinggi = 3 × 1.5549 m = 4.6647 ≈ 5 m

Spesifikasi Bak Air Lunak (F-221) :

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 10 m
- Lebar : 7 m
- Tinggi : 5 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 Buah

7. Pompa Air Lunak (L-222)

Fungs : Untuk memompa air menuju deaerator dan bak air pendingin

Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 71866.8895 kg/jam
  = 158437.7446 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3
- Viskositas (μ) = 0.0005 lb/ft.detik
  = 1.9370 lb/ft.jam

Perhitungan :

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

$$= \frac{158437.7446 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$$

$= 2548.9465\ ft^3/jam$

$= 0.7080\ ft^3/detik$

$= 264.6353$ gpm

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

ID optimal = $3{,}9 \times Q^{0{,}45} \times \rho^{0{,}13}$ (Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)[23

ID optimal = $3.9 \times \left(0.7080 \right)^{0.45} \times \left(62.1581 \right)^{0.13}$

= 5.7114 in ≈ 10 in

Standarisasi ID = 12 in sch 40 (Brownell, page.389)[12]

Sehingga diperoleh :

OD = 10.7500 in = 0.8958 ft

ID = 10.0200 in = 0.8350 ft

A = 2.8100 ft^2

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

$$= \frac{0.7080 \text{ ft}^3\text{/detik}}{2.8100 \text{ ft}^2}$$

= 0.2520 ft/detik

= 907.0984 ft/jam

Cek jenis aliran fluida :

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

$$= \frac{0.8350 \times 0.2520 \times 62.1581}{0.000538}$$

= 24305.9709

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

Ditentukan bahan pipa adalah Commercial steel

Sehingga diperoleh :

ε = 4.6 × 10^{-5} m = 0.00015 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.00015}{0.8350} = 0.00018$$

f = 0.005 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

α = 1

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 150 ft

b. Elbow, 90° = 3 buah

Le/D = 35 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 35 ID
= 35 × 3 × 0.8350
= 87.6743 ft

c. Gate valve = 2 buah (wide open)

Le/D = 9 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 9 ID
= 9 × 2 × 0.8350
= 15.0299 ft

Panjang pipa total (L) = Pipa lurus + elbow 90° + gate valve
= 150 + 87.6743 + 15.0299
= 252.7041 ft
= 3032.4497 in

Menentukan Friksion Loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = 4f \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.6 Hal 89)[21]

$$= 4 \times 0.0050 \frac{252.7041}{0.8350} \times \frac{0.2520^2}{2 \times 32.174}$$

= 0.0060 lbf.ft/lbm

2. Kontraksi pada keluaran tangki

$$hc = Kc \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.16 Hal 93)[21]

$$= 0.55 \frac{0.2520^2}{2 \times 32.174}$$

= 0.0005 lbf.ft/lbm

3. Elbow 90°, 3 buah

K_f = 0.75 (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$$hf = Kf \frac{v^2}{2}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$$= 3 \times 0.75 \frac{0.2520^2}{2}$$

= 0.0714 lbf.ft/lbm

4. Ekspansi

$$K_{eks} = 1 - \frac{A_1}{A_2}^2$$

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

$$= 1$$

$$h_{eks} = K_{eks} \frac{v^2}{2\alpha}$$

$$= 1 \times \frac{0.2520^{\ 2}}{2 \times 1}$$

$$= 0.0317 \text{ lbf.ft/lbm}$$

5. Gate valve wide open, 2 buah

$K_f = 0.17$ (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$hf = 2Kf \frac{v^2}{2}$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$$= 2 \times 0.17 \frac{0.2520^{\ 2}}{2}$$

$$= 0.0108 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Sehingga :

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

$= 0.0060 + 0.0005 + 0.0822 + 0.0317$

$= 0.1205 \text{ ft.lb}_f/\text{lb}_m$

Menentukan Kesetimbangan Mekanik

Direncanakan :

$\Delta Z = 40$ ft

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

$v_1 = 0$ ft/s (karena fluida diam dalam tangki penampungan)

$v_2 = 0.2520$ ft/s

$\alpha = 1$ (aliran turbulen)

Sehingga kesetimbangan mekanik :

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2.\alpha.gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F = -Ws$$

$$\frac{0.0635 - 0}{2 \times 1 \times 32.174} + 40 \frac{32.174}{32.174} + \frac{0.0000}{62.1581} + 0.1205 = -Ws$$

$-Ws = 40.1215$ lbf.ft/lbm

Dari Fig. 14.37 "Petters & Timmerhause", hal 520[23], didapatkan :

Efisiensi pompa (η) = 82%

$Ws = -\ \eta\ Wp$

$40.1215 = -\ 82\%\ Wp$

$Wp = 48.9286$ ft.lbf/lbm

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

$= 0.7080 \times 62.1581$

= 44.0105 lbm/jam

= 0.0122 lbm/s

Pump horsepower = Wp × m × $\frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$

= 48.9286 × 0.0122 × $\frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$

= 0.0011 hp

Dari Fig.14.38 Hal.521, Petters &Timmerhause[23], didapatkan :

Efisiensi motor = 80%

Broken horsepower = $\frac{\text{pump horsepower}}{\eta}$

= $\frac{0.0011}{82\%}$

= 0.0013 ≈ 1 Hp

Daya = $\frac{\text{BHP}}{\text{Efisiensi Motor}}$

= $\frac{0.0013}{80\%}$

= 0.0017 Hp ≈ 1 Hp

Spesifikasi Alat Pompa Air Lunak (L-222) :

Fungsi	:	Untuk memompa air menuju deaerator dan bak air pendingin
Type	:	pompa sentrifugal
Bahan	:	Carbon Steel
Daya	:	1 Hp
Kapasitas	:	2548.9465 ft^3/jam
panjang pipa	:	3032.4497 in
Jumlah	:	1 buah

8. Deaerator (D-223)

Fungs : Untuk menghilangkan gas dalam air umpan boiler

Tipe : Silinder horizontal

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 3849.3947 kg/jam
  = 8486.3756 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3

Perhitungan :

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

= $\frac{8486.3756 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$

= 136.5288 ft^3/jam

= 3.8661 m^3/jam
Waktu tinggal = 1 jam
Volume air = rate volumetrik × waktu tinggal
= 136.5288 ft^3/jam × 1 jam
= 136.5288 ft^3

Direncanakan volume liquid 80% volume tangki, sehingga :

$$\text{Volume tangki} = \frac{136.5288\ ft^3}{0.80}$$

= 170.6610 ft^3

Menentukan dimensi tangki
Volume tangki = 1/4 p Di^2 Ls
Diasumsikan, Ls = 1.5 Di
Sehingga :
Volume tangki = $1/4\ \pi\ Di^2\ Ls$
170.6610 ft^3 = $1/4 \times 3.14 \times (Di)^2 \times 1.5\ Di$
170.6610 ft^3 = 1.1775 Di^3
Di^3 = 144.9350 ft^3
Di = 5.2528 ft

Jadi, tinggi tangki adalah
Ls = 1.5 × Di
= 1.5 × 5.2528
= 7.8792 ft

Menentukan tinggi tutup (h)
h = 0.196 × Di
= 0.196 × 5.2528
= 1.0295 ft

Sehingga, total tinggi tangki ada = Ls + 2 × h
= 7.8792 + 2.0591
= 9.9383 ft

Spesifikasi Deaerator (D-223) :

Bahan	:	Carbon Steel SA 240 Grade M Type 316
Tipe	:	Silinder horizontal
Diameter	:	5.2528 ft
Tinggi	:	9.9383 ft
Jumlah	:	1 buah

9. Bak Air Umpan Boiler (F-224)

Fungs : Menampung air umpan boiler dari deaerator untuk didistribusikan ke bo

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 3849.3947 kg/jam = 8486.3756 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3

Perhitungan :

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

= $\dfrac{8486.3756 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$

= 136.5288 ft^3/jam

= 3.8661 m^3/jam

Waktu tinggal = 4 jam

Volume air = rate volumetrik × waktu tinggal

= 3.8661 × 4

= 15.4643 m^3

Volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

Volume bak = $\dfrac{15.4643}{0.8}$

= 19.3304 m^3

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

Panjang : Lebar : Tingg = 6 × 4 × 3

Volume bak = 6 m × 4 m × 3 m

= 72 m^3

Sehingga :

Volume bak = 72 x^3

19.3304 m^3 = 72 x^3

x = 0.6451 m

Jadi dimensi bak air bersih :

Panjang	=	6	×	0.6451	m	=	3.8707	≈	4	m
Lebar	=	4	×	0.6451	m	=	2.5805	≈	3	m
Tinggi	=	3	×	0.6451	m	=	1.9353	≈	2	m

Spesifikasi Bak Air Umpan Boiler (F-224) :

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 4 m
- Lebar : 3 m
- Tinggi : 2 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 Buah

10. Pompa Boiler (L-225)

Fungs : Untuk memompa air menuju boiler

Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 3849.3947 kg/jam

  = 8486.3756 lb/jam

- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3
- Viskositas (μ) = 0.0005 lb/ft.detik
  = 1.9370 lb/ft.jam

Perhitungan :

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

$$= \frac{8486.3756 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$$

= 136.5288 ft^3/jam

= 0.0379 ft^3/detik

= 14.1746 gpm

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

ID optimal = $3{,}9 \times Q^{0{,}45} \times \rho^{0{,}13}$ (Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)[23]

ID optimal = $3.9 \times (0.0379)^{0.45} \times (62.1581)^{0.13}$

= 1.5302 in ≈ 2 in

Standarisasi ID = 2 in sch 40 (Kern, Table 11 hal 844)[24]

Sehingga diperoleh :

OD = 2.3800 in = 0.1983 ft

ID = 2.0670 in = 0.1722 ft

A = 0.6220 ft^2

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

$$= \frac{0.0379 \text{ ft}^3\text{/detik}}{0.6220 \text{ ft}^2}$$

= 0.0610 ft/detik

= 219.4997 ft/jam

Cek jenis aliran fluida :

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

$$= \frac{0.1722 \times 0.0610 \times 62.1581}{0.000538}$$

= 1213.2918

Karena $N_{Re} < 2100$, maka jenis aliran fluida adalah laminar

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*

Sehingga diperoleh :

$\varepsilon = 4.6 \times 10^{-5}$ m = 0.00015 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

$$\frac{\varepsilon}{D} = \frac{0.00015}{0.1722} = 0.00088$$

f = 0.0125 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

α = 0.5

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 150 ft

b. Elbow, 90° = 3 buah

Le/D = 35 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 35 ID

= 35 × 3 × 0.1722

= 18.0861 ft

c. Gate valve = 2 buah (wide open)

Le/D = 9 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 9 ID

= 9 × 2 × 0.1722

= 3.1005 ft

Panjang pipa total (L) = Pipa lurus + elbow 90° + gate valve

= 150 + 18.0861 + 3.1005

= 171.1866 ft

= 2054.2389 in

Menentukan Friksion Loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = 4f \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.6 Hal 89)[21]

$$= 4 \times 0.0125 \frac{171.1866}{0.1722} \times \frac{0.0610^2}{2 \times 32.174}$$

$= 0.0029$ lbf.ft/lbm

2. Kontraksi pada keluaran tangki

$$hc = Kc \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.16 Hal 93)[21]

$$= 0.55 \frac{0.0610^2}{2 \times 32.174}$$

$= 0.0000$ lbf.ft/lbm

3. Elbow 90°, 3 buah

$K_f = 0.75$ (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$$hf = Kf \frac{v^2}{2}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$$= 3 \times 0.75 \frac{0.0610^2}{2}$$

$= 0.0042$ lbf.ft/lbm

4. Ekspansi

$$K_{eks} = 1 - \frac{A_1}{A_2}^2$$

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

$$= 1$$

$h_{eks} = K_{eks} \dfrac{v^2}{2\alpha}$

$= 1 \times \dfrac{0.0610^{\ 2}}{2 \times 0.5}$

$= 0.0037$ lbf.ft/lbm

5. Gate valve wide open, 2 buah

$K_f = 0.17$ (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$hf = 2Kf \dfrac{v^2}{2}$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$= 2 \times 0.17 \dfrac{0.0610^{\ 2}}{2}$

$= 0.0006$ lbf.ft/lbm

Sehingga :

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

(ΣF) $= 0.0029 + 0.0000 + 0.0048 + 0.0037$

$= 0.0114$ ft.lb_f/lb_m

Menentukan Kesetimbangan Mekanik

Direncanakan :

ΔZ = 40 ft

ΔP = 0 lb/ft^2 (karena $P_1 = P_2$)

v_1 = 0 ft/s (karena fluida diam dalam tangki penampungan)

v_2 = 0.0610 ft/s

α = 0.5

Sehingga kesetimbangan mekanik :

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2.\alpha.gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F = -Ws$$

$$\frac{0.0037 - 0}{2 \times 1 \times 32.174} + 40 \frac{32.174}{32.174} + \frac{0.0000}{62.1581} + 0.0114 = -Ws$$

-Ws = 40.0116 lbf.ft/lbm

Dari Fig. 14.37 "Petters & Timmerhause", hal 520[23], didapatkan :

Efisiensi pompa (η) = 60%

Ws = $- \ \eta$ Wp

40.0116 = - 60% Wp

Wp = 66.6859 ft.lbf/lbm

Mass flow rate (m) = Q $\times$ ρ

= 0.0379 $\times$ 62.1581

= 2.3573 lbm/jam

= 0.0007 lbm/s

Pump horsepower = Wp $\times$ m $\times \dfrac{1 \text{ hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$

$= 66.6859 \times 0.0007 \times \frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$

$= 0.00008$ hp

Dari Fig.14.38 Hal.521, Petters &Timmerhause[23], didapatkan :

Efisiensi motor = 80%

Broken horsepower $= \frac{\text{pump horsepower}}{\eta}$

$= \frac{0.00008}{60\%}$

$= 0.0001 \approx 1$ Hp

Daya $= \frac{\text{BHP}}{\text{Efisiensi Motor}}$

$= \frac{0.0001}{80\%}$

$= 0.0002$ Hp ≈ 1 Hp

Spesifikasi Alat Pompa Air Umpan Boiler (L-225) :

Fungsi	:	Untuk memompa air menuju boiler
Type	:	pompa sentrifugal
Bahan	:	Carbon Steel
Daya	:	1 Hp
Kapasitas	:	136.5288 ft^3/jam
panjang pipa	:	2054.2389 in
Jumlah	:	1 buah

11. Bak Air Pendingin (F-231)

Fungs : Menampung air pendingin untuk didistribusikan ke peralatan

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 68017.4948 kg/jam = 149951.3690 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3

Perhitungan :

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

$= \frac{149951.3690 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$

$= 2412.4176$ ft^3/jam

$= 68.3124$ m^3/jam

Waktu tinggal = 12 jam

Volume air = rate volumetrik × waktu tinggal

$= 68.3124 \times 12$

$= 819.7492$ m^3

Volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

Volume bak = $\frac{819.7492}{0.8}$

= 1024.6865 m^3

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

Panjang : Lebar : Tingg = 6 × 4 × 3

Volume bak = 6 m × 4 m × 3 m

= 72 m^3

Sehingga :

Volume bak = 72 x^3

1024.6865 m^3 = 72 x^3

x = 2.4234 m

Jadi dimensi bak air bersih :

Panjang	=	6	×	2.4234	m	=	14.5402	≈	15	m
Lebar	=	4	×	2.4234	m	=	9.6935	≈	10	m
Tinggi	=	3	×	2.4234	m	=	7.2701	≈	8	m

Spesifikasi Bak Air Pendingin (F-231) :

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 15 m
- Lebar : 10 m
- Tinggi : 8 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 Buah

12. Pompa Air Pendingin (F-231)

Fungs : Untuk memompa air pendingin menuju ke peralatan

Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 68017.4948 kg/jam
  = 149951.3690 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3
- Viskositas (μ) = 0.0005 lb/ft.detik
  = 1.9370 lb/ft.jam

Perhitungan :

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

= $\frac{149951.3690 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$

= 2412.4176 ft^3/jam

= 0.6701 ft^3/detik

= 250.4607 gpm

Aliran turbulen (N_{Re} > 2100), maka :

ID optimal = $3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13}$ (Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)[23

ID optimal = $3.9 \times \left(0.6701 \right)^{0.45} \times \left(62.1581 \right)^{0.13}$

= 5.5717 in ≈ 10 in

Standarisasi ID = 12 in sch 40 (Brownell, page.389)[12]

Sehingga diperoleh :

OD = 10.7500 in = 0.8958 ft

ID = 10.0200 in = 0.8350 ft

A = 2.8100 ft^2

Laju aliran fluida (V = $\dfrac{Q}{A}$

$= \dfrac{0.6701 \ ft^3/detik}{2.8100 \ ft^2}$

= 0.2385 ft/detik

= 858.5116 ft/jam

Cek jenis aliran fluida :

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

$= \dfrac{0.8350 \times 0.2385 \times 62.1581}{0.000538}$

= 23004.0741

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

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*

Sehingga diperoleh :

$\varepsilon = 4.6 \times 10^{-5}$ m = 0.00015 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

$\dfrac{\varepsilon}{D} = \dfrac{0.00015}{0.8350} = 0.00018$

f = 0.005 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

α = 1

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 150 ft

b. Elbow, 90° = 3 buah

Le/D = 35 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 35 ID

= 35 × 3 × 0.8350

= 87.6743 ft

c. Gate valve = 2 buah (wide open)

Le/D = 9 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 9 ID

= 9 × 2 × 0.8350

= 15.0299 ft

Panjang pipa total (L) = Pipa lurus + elbow 90^o + gate valve

= 150 + 87.6743 + 15.0299

= 252.7041 ft

= 3032.4497 in

Menentukan Friksion Loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = 4f \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.6 Hal 89)[21]

$$= 4 \times 0.0050 \frac{252.7041}{0.8350} \times \frac{0.2385^2}{2 \times 32.174}$$

$$= 0.0053 \text{ lbf.ft/lbm}$$

2. Kontraksi pada keluaran tangki

$$hc = Kc \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.16 Hal 93)[21]

$$= 0.55 \frac{0.2385^2}{2 \times 32.174}$$

$$= 0.0005 \text{ lbf.ft/lbm}$$

3. Elbow 90°, 3 buah

K_f = 0.75 (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$$hf = Kf \frac{v^2}{2}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$$= 3 \times 0.75 \frac{0.2385^2}{2}$$

$$= 0.0640 \text{ lbf.ft/lbm}$$

4. Ekspansi

$$K_{eks} = 1 - \frac{A_1}{A_2}^2$$

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

$$= 1$$

$$h_{eks} = K_{eks} \frac{v^2}{2\alpha}$$

$$= 1 \times \frac{0.2385^2}{2 \times 1}$$

$$= 0.0284 \text{ lbf.ft/lbm}$$

5. Gate valve wide open, 2 buah

K_f = 0.17 (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$$hf = 2Kf \frac{v^2}{2}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$$= 2 \times 0.17 \frac{0.2385^2}{2}$$

= 0.0097 lbf.ft/lbm

Sehingga :

Total friksi (ΣF) = F_f + h_c + Σh_f + h_{ex}

= 0.0053 + 0.0005 + 0.0736 + 0.0284

= 0.1079 $ft.lb_f/lb_m$

Menentukan Kesetimbangan Mekanik

Direncanakan :

ΔZ = 40 ft

ΔP = 0 lb/ft^2 (karena $P_1 = P_2$)

v_1 = 0 ft/s (karena fluida diam dalam tangki penampungan)

v_2 = 0.2385 ft/s

α = 1

Sehingga kesetimbangan mekanik :

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2.\alpha.gc} + \Delta Z\frac{g}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F = -Ws$$

$$\frac{0.0569 - 0}{2 \times 1 \times 32.174} + 40\frac{32.174}{32.174} + \frac{0.0000}{62.1581} + 0.1079 = -Ws$$

-Ws = 40.1088 lbf.ft/lbm

Dari Fig. 14.37 "Petters & Timmerhause"[23], hal 520, didapatkan :

Efisiensi pompa (η) = 85%

Ws = - η Wp

40.1088 = - 85% Wp

Wp = 47.1868 ft.lbf/lbm

Mass flow rate (m) = Q × ρ

= 0.6701 × 62.1581

= 41.6532 lbm/jam

= 0.0116 lbm/s

Pump horsepower = Wp × m × $\frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$

= 47.1868 × 0.0116 × $\frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$

= 0.00099 hp

Dari Fig.14.38 Hal.521, Petters &Timmerhause[23], didapatkan :

Efisiensi motor = 80%

Broken horsepowe = $\frac{\text{pump horsepower}}{\eta}$

= $\frac{0.0010}{85\%}$

= 0.0012 ≈ 1 Hp

Daya = $\frac{\text{BHP}}{\text{Efisiensi Motor}}$

$$= \frac{0.0012}{80\%}$$

$= 0.0015$ Hp ≈ 1 Hp

Spesifikasi Alat Pompa Air Pendingin (L-232) :

Fungsi	:	Untuk memompa air pendingin menuju ke peralatan
Type	:	pompa sentrifugal
Bahan	:	Carbon Steel
Daya	:	1 Hp
Kapasitas	:	2412.4176 ft^3/jam
panjang pipa	:	3032.4497 in
Jumlah	:	1 buah

13. Cooling Tower Water (P-230)

Fungs : Untuk mendinginkan air yang akan digunakan untuk peralatan

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 68017.4948 kg/jam
  = 149951.3690 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3

Perhitungan :

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

$$= \frac{149951.3690 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$$

$= 2412.4176$ ft^3/jam

$= 0.6701$ ft^3/detik

$= 250.4607$ gpm

- Suhu wet bulb udara = 25 °C = 77 °F
- Suhu air masuk tower = 95 °C = 203 °F
- Suhu air pendingin = 30 °C = 86 °F

Dari Perry's 7th ed, fig 12-14, hal. 12-16[7], didapatkan konsentrasi 3.0 gal/m.ft^2

Sehingga luas yang dibutuhkan adalah :

$$A = \frac{250.4607}{3}$$

$= 83.4869$ ft^2

Menghitung diameter :

Luas = $\pi/4 \times d^2$

83.4869 = $0.7850 \times d^2$

$d^2 = 106.3527$ ft^2

$d = 10.3127$ ft ≈ 11 ft

Menghitung volume :

Direncanakan tinggi tower = 3d

Maka, L = 3 × 10.3127
= 30.9382 ft ≈ 31 ft

Volume = π/4 × d^2 × L
= 0.785 × 106.3527 × 30.9382
= 2582.9377 ft^3

Dari Perry's 7th ed, fig 12-15, hal. 12-17[7], didapatkan :
Standar Power Perfomance adalah 90%, maka:

$$\frac{\text{Hp fan}}{\text{Luas area tower } (ft^2)} = 0.030 \ Hp/ft^2$$

Sehingga,
Hp fan = 0.030 × Luas
= 0.030 × 83.4869
= 2.5046 Hp ≈ 3 Hp

Spesifikasi Cooling Tower Water (P-230) :

Tipe	:	Induced Draft Tower
Diameter	:	11 ft
Tinggi	:	31 ft
Daya	:	3 Hp
Jumlah	:	1 buah

14. Bak Klorinasi (F-241)

Fungs : Sebagai tempat air bersih dan desinfektan bercampur sebelum digunakan sebagai air sanitasi

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 2310.4754 kg/jam = 5093.6742 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3

Perhitungan :

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

$$= \frac{5093.6742 \ lb/jam}{62.1581 \ lb/ft^3}$$

= 81.9470 ft^3/jam
= 2.3205 m^3/jam

Waktu tinggal = 12 jam
Volume air = rate volumetrik × waktu tinggal
= 2.3205 × 12
= 27.8459 m^3

Volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

$$\text{Volume bak} = \frac{27.8459}{0.8}$$

= 34.8074 m^3

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

Panjang : Lebar : Tingg	=	6		×	4		×	3
Volume bak	=	6	m	×	4	m	×	3 m
	=	72	m^3					

Sehingga :

Volume bak	=	72	x^3
34.8074 m^3	=	72	x^3
x	=	0.7848	m

Jadi dimensi bak air bersih :

Panjang	=	6	×	0.7848	m	=	4.7090	≈	5	m
Lebar	=	4	×	0.7848	m	=	3.1393	≈	4	m
Tinggi	=	3	×	0.7848	m	=	2.3545	≈	3	m

Perhitungan kebutuhan gas klorin

Klorin tidak hanya diperuntukkan sebagai desinfektan untuk membunuh kuman, al
tetapi dapat digunakan juga sebagai oksidan dan pengontrol warna dan bau dari ai
Klorin yang digunakan dengan dosis penggunaan 0.5 - 1 mg/L.

Volume air sanitasi	=	2.3205	m^3/jam		
	=	2320.4941	L/jam		
Cl_2 yang dibutuhkan	=	1 mg/L	×	2320.4941	L/jam
	=	2320.4941	mg/jam		
	=	0.0023	kg/jam		
Kebutuhan Cl_2 per hari	=	0.0023	×	24	jam
	=	0.0557	kg/hari		

Spesifikasi Bak Klorinasi (F-241) :

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 5 m
- Lebar : 4 m
- Tinggi : 3 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 Buah

15. Pompa Klorinasi (L-242)

Fungs : Untuk memompa air dari bak klorinasi ke bak air sanitasi

Tipe : *Centrifugal Pump*

Dasar perencanaan :

- Rate aliran	=	2310.4754	kg/jam
	=	5093.6742	lb/jam
- Densitas (ρ) air	=	62.1581	lb/ft^3
- Viskositas (μ)	=	0.0005	lb/ft.detik

= 1.9370 lb/ft.jam

Perhitungan :

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

$= \dfrac{5093.6742 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$

$= 81.9470 \text{ ft}^3\text{/jam}$

$= 0.0228 \text{ ft}^3\text{/detik}$

$= 8.5079 \text{ gpm}$

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

ID optimal = $3{,}9 \times Q^{0{,}45} \times \rho^{0{,}13}$ (Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)[23]

ID optimal = $3.9 \times (0.0228)^{0.45} \times (62.1581)^{0.13}$

= 1.2161 in ≈ 2 in

Standarisasi ID = 2 in sch 40 (Kern, Table 11 hal 844)[24]

Sehingga diperoleh :

OD = 2.3800 in = 0.1983 ft

ID = 2.0670 in = 0.1722 ft

A = 0.6220 ft^2

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

$= \dfrac{0.0228 \text{ ft}^3\text{/detik}}{0.6220 \text{ ft}^2}$

= 0.0366 ft/detik

= 131.7476 ft/jam

Cek jenis aliran fluida :

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

$= \dfrac{0.1722 \times 0.0366 \times 62.1581}{0.000538}$

= 728.2394

Karena $N_{Re} < 2100$, maka jenis aliran fluida adalah laminar

Ditentukan bahan pipa adalah *Commercial steel*

Sehingga diperoleh :

$\varepsilon = 4.6 \times 10^{-5}$ m = 0.00015 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

$\dfrac{\varepsilon}{D} = \dfrac{0.00015}{0.1722} = 0.00088$

f = 0.025 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

$\alpha = 0.5$

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 150 ft

b. Elbow, 90° = 3 buah

Le/D = 35 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]
L elbow = 35 ID
= 35 × 3 × 0.1722
= 18.0861 ft

c. Gate valve = 2 buah (wide open)
Le/D = 9 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]
L elbow = 9 ID
= 9 × 2 × 0.1722
= 3.1005 ft

Panjang pipa total (L) = Pipa lurus + elbow 90° + gate valve
= 150 + 18.0861 + 3.1005
= 171.1866 ft
= 2054.2389 in

Menentukan Friksion Loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = 4f \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.6 Hal 89)[21]

$$= 4 \times 0.0250 \frac{171.1866}{0.1722} \times \frac{0.0366^2}{2 \times 32.174}$$

$$= 0.0021 \text{ lbf.ft/lbm}$$

2. Kontraksi pada keluaran tangki

$$hc = Kc \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.16 Hal 93)[21]

$$= 0.55 \frac{0.0366^2}{2 \times 32.174}$$

$$= 0.00001 \text{ lbf.ft/lbm}$$

3. Elbow 90°, 3 buah

K_f = 0.75 (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$$hf = Kf \frac{v^2}{2}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$$= 3 \times 0.75 \frac{0.0366^2}{2}$$

$$= 0.0015 \text{ lbf.ft/lbm}$$

4. Ekspansi

$$K_{eks} = 1 - \frac{A_1}{A_2}^2$$

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

$$= 1$$

$$h_{eks} = K_{eks} \frac{v^2}{2\alpha}$$

$= 1 \times \frac{0.0366^2}{2 \times 0.5}$

$= 0.0013$ lbf.ft/lbm

5. Gate valve wide open, 2 buah

$K_f = 0.17$ (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)

$hf = 2Kf \frac{v^2}{2}$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)

$= 2 \times 0.17 \frac{0.0366^2}{2}$

$= 0.0002$ lbf.ft/lbm

Sehingga :

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

$(\Sigma F) = 0.0021 + 0.00001 + 0.0017 + 0.0013$

$= 0.0052$ ft.lb_f/lb_m

Menentukan Kesetimbangan Mekanik

Direncanakan :

$\Delta Z = 40$ ft

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

$v_1 = 0$ ft/s (karena fluida diam dalam tangki penampungan)

$v_2 = 0.0366$ ft/s

$\alpha = 0.5$

Sehingga kesetimbangan mekanik :

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2.\alpha.gc} + \Delta Z \frac{g}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F = -Ws$$

$$\frac{0.0013 - 0}{2 \times 0.5 \times 32.174} + 40 \frac{32.174}{32.174} + \frac{0.0000}{62.1581} + 0.0052 = -Ws$$

$-Ws = 40.0052$ lbf.ft/lbm

Dari Fig. 14.37 "Petters & Timmerhause", hal 520[23], didapatkan :

Efisiensi pompa $(\eta) = 45\%$

$Ws = -\ \eta\ Wp$

$40.0052 = -\ 45\%\ Wp$

$Wp = 88.9004$ ft.lbf/lbm

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

$= 0.0228 \times 62.1581$

$= 1.4149$ lbm/jam

$= 0.0004$ lbm/s

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

$= 88.9004 \times 0.0004 \times \frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$

$= 0.00006$ hp

Dari Fig.14.38 Hal.521, Petters &Timmerhause[23], didapatkan :

Efisiensi motor = 80%

Broken horsepower $= \frac{\text{pump horsepower}}{\eta}$

$= \frac{0.0001}{45\%}$

= 0.0001 ≈ 1 Hp

Daya $= \frac{\text{BHP}}{\text{Efisiensi Motor}}$

$= \frac{0.0001}{80\%}$

= 0.0002 Hp ≈ 1 Hp

Spesifikasi Alat Pompa Klorinasi (L-242) :

Fungsi	:	Untuk memompa air dari bak klorinasi ke bak air sanitasi
Type	:	pompa sentrifugal
Bahan	:	Carbon Steel
Daya	:	1 Hp
Kapasitas	:	81.9470 ft^3/jam
panjang pipa	:	2054.2389 in
Jumlah	:	1 buah

16. **Bak Air Sanitasi (F-240)**

Fungs : Menampung air sanitasi

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 2310.4754 kg/jam = 5093.6742 lb/jam
- Densitas (ρ) air = 62.1581 lb/ft^3

Perhitungan :

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

$= \frac{5093.6742 \text{ lb/jam}}{62.1581 \text{ lb/ft}^3}$

= 81.9470 ft^3/jam

= 2.3205 m^3/jam

Waktu tinggal = 12 jam

Volume air = rate volumetrik × waktu tinggal

= 2.3205 × 12

= 27.8459 m^3

Volume liquid = 80% volume bak, sehingga :

Volume bak $= \frac{27.8459}{0.8}$

= 34.8074 m^3

Bak berbentuk persegi panjang dengan ratio :

Panjang : Lebar : Tingg = 6 × 4 × 3

Volume bak = 6 m × 4 m × 3 m

= 72 m^3

Sehingga :

Volume bak = 72 x^3

34.8074 m^3 = 72 x^3

x = 0.7848 m

Jadi dimensi bak air bersih :

Panjang = 6 × 0.7848 m = 4.7090 ≈ 5 m

Lebar = 4 × 0.7848 m = 3.1393 ≈ 4 m

Tinggi = 3 × 0.7848 m = 2.3545 ≈ 3 m

Spesifikasi Bak Air Sanitasi (F-240) :

- Bentuk : Persegi Panjang
- Panjang : 5 m
- Lebar : 4 m
- Tinggi : 3 m
- Bahan : Beton bertulang
- Jumlah : 1 Buah

D.2. Unit Penyediaan Karbon Tetrafluorida

Karbon tetrafluorida digunakan sebagai pendingin. Adapun kebutuhan karbon tetrafluorida adalah sebagai berikut :

Tabel D.2.1. Total Kebutuhan Karbon Tetrafluorida

Kode Alat	Nama Alat	Kebutuhan (Kg/jam)
F-116	Storage Etilena	108.8399

Direncanakan banyaknya karbon tetrafluorida yang di suplay adalah exc 20%

kebutuhan = 1.20 × 108.8399

= 130.6079 Kg/jam

Make up untuk kebutuhan karbon tetrafluorida direncanaka 20% excess, maka :

make up karbon tetrafluorida = 1.20 × 130.6079

= 156.7294 Kg/jam

1. Tangki Karbon Tetrafluorida (F-251)

Fungsi : Untuk menyimpan karbon tetrafluorida yang akan digunakan sebagai pen

Direncanakan :

Bahan konstruksi : Carbon Steel SA-240 Grade A Type 410

Allowable stress (f) : 16250

Tipe pengelasan (E : 0.8

Faktor korosi (C) : 1/16 = 0.0625 in

Jumlah storage : 6 buah

Kondisi operasi :

Suhu = -90 ℃ = -130 ℉ = 183.15 K

Tekanan = 1 atm = 14.696 Psia

Waktu tinggal = 12 jam

Perhitungan :

A. Menentukan Volume Tangki

Rate feed masuk = 156.7294 kg/jam

= 345.5257 lb/jam

ρ = 0.2322 lb/ft^3

$$\text{Volume liquid} = \frac{\text{Rate feed masuk}}{\rho v} \times \text{waktu tinggal}$$

$$= \frac{345.5257}{0.2322} \times 12$$

$= 17856.6265\ ft^3$

Volume fluida = 80% volume total

$$\text{Volume total} = \frac{\text{Volume fluida}}{80\%}$$

$$= \frac{17856.6265}{80\%}$$

$= 22320.7831\ ft^3$

Direncanakan menggunakan 6 buah tangki, sehingga volume per tangki :

$$\text{Volume 1 tangki} = \frac{22320.7831}{6}$$

$= 3720.1305\ ft^3$

B. Menentukan Dimensi Tangki

Asumsi Ls = 1.5 di

$V\ total = V_{Ls} + V_{tutup}$

$$3720.1305 = \frac{\pi}{4} Di^2\ Ls + 2\left(0.0847\ d^3\right)$$

$3720.1305 = 1.1775\ di^3 + 0.1694\ d^3$

$3720.1305 = 1.3469\ di^3$

$di^3 = 2761.9946$

di = 14.0305 ft

= 168.36644 in

C. Menghitung Tinggi Tangki

H = 1.5 Di

= 1.5 × 14.0305 ft

= 21.0458 ft = 252.5 in

D. Menentukan Tekanan Design (Pi)

$$P_{hidrostatik} = \frac{\rho\ (H-1)}{144}$$

$$= \frac{0.2322 \times 21.0458 - 1}{144}$$

$$= 0.0323 \text{ psia}$$

$$P_{design} = P_{operasi} + P_{hidrostatik}$$

$$= 14.6960 + 0.0323$$

$$= 14.7283 \text{ Psia} = 0.0283 \text{ Psig}$$

E. Menghitung Tebal Silinder (ts)

$$\text{Tebal silinder (ts)} = \frac{Pi.di}{2\ (f.E - 0.6Pi)} + C$$

$$= \frac{0.0283 \times 168.3664}{2\left(16250 \times 0.8 - 0.6 \times 0.0283\right)} + 0.063$$

$$= 0.0627 \times \frac{16}{16}$$

$$= \frac{1.00293}{16} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

$$do = di + 2\ ts$$

$$= 168.366 + 0.375$$

$$= 168.741 \text{ in}$$

berdasarkan "Brownel and Young" tabel 5.7 hal 89[12], didapatkan :

do_s = 180 in

icr = 11

r = 170

ts = 5/8 in

$$di_{baru} = do_s - 2\ ts$$

$$= 180 - 1.25$$

$$= 178.750 \text{ in}$$

$$= 14.8958 \text{ ft}$$

F. Menghitung Dimensi Tutup Atas Dan Tutup Bawah

Bentuk tutup atas dan tutup bawah adalah standart dished, sehingga :

r = di

$$\text{Tebal tutup (tha/thb)} = \frac{0.855 \times Pi.\ r}{(f.E - 0.1\ Pi)} + C$$

$$= \frac{0.855 \times 0.0283 \times 178.7500}{16250 \times 0.8 - 0.1 \times 0.0283} + 0.063$$

$$= 0.0628 \times \frac{16}{16}$$

$$= \frac{1.0053}{16} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

Tinggi tutup (ha/hb = 0.169 × di
= 0.169 × 178.7500
= 30.2088 in
= 2.5174 ft

G. Menghitung Tinggi Storage

Tinggi storage (H) = tinggi silinder + tinggi tutup atas + tinggi tutup bawah
= 252.5 + 30.2088 + 30.2088
= 312.9672 in
= 26.0806 ft

Spesifikasi Storage Karbon Tetrafluorida (H-251) :

Fungsi	:	Untuk menyimpan media pendingin
Jumlah tangki	:	6 buah
Bahan konstruksi	:	Carbon Steel SA-240 Grade A Type 410
Volume tangki	:	3720.1305 ft^3
Diameter dalam (di)	:	178.7500 in
Diameter luar (do)	:	180 in
Tebal silinder (ts)	:	5/8 in
Tinggi silinder (L)	:	252.5 in
Tinggi tangki (H)	:	312.9672 in
Tebal tutup atas (tha)	:	3/16 in
Tinggi tutup atas (ha)	:	30.2088 in
Tebal tutup bawah (thb)	:	3/16 in
Tinggi tutup bawah (hb)	:	30.2088 in

2. Pompa (L-252)

Fungsi : Memompa refrigerant ke peralatan

Tipe : *Centrifugal pump*

Dasar perencanaan :

- Rate aliran = 156.7294 kg/jam
  = 345.5257 lb/jam
- Densitas (ρ) = 182.0149 lb/ft^3
- Viskositas (μ) = 99.00 lb/ft.detik
  = 0.0275 lb/ft.jam

Perhitungan :

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

$$= \frac{345.5257 \text{ lb/jam}}{182.0149 \text{ lb/ft}^3}$$

= 1488.0522 ft^3/jam

= 0.4133 ft^3/detik

= 154.4917 gpm

Aliran turbulen (N_{Re} > 2100), maka :

ID optimal = $3,9 \times Q^{0,45} \times \rho^{0,13}$ (Pers. 15, Timmerhauss, hal. 496)[23

ID optimal = $3.9 \times \left(0.4133 \right)^{0.45} \times \left(182.0149 \right)^{0.13}$

= 5.1549 in ≈ 6 in

Standarisasi ID = 6 in sch 40 (Brownell, page.387)[12]

Sehingga diperoleh :

OD = 6.6250 in = 0.5521 ft

ID = 6.0650 in = 0.5054 ft

A = 1.734 ft^2

Laju aliran fluida (V = $\dfrac{Q}{A}$

$= \dfrac{0.4133 \quad ft^3/detik}{1.7340 \quad ft^2}$

= 0.2384 ft/detik

= 858.1616 ft/jam

Cek jenis aliran fluida :

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

$= \dfrac{0.5054 \times 0.2384 \times 182.0149}{0.027500}$

= 797.4193

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

Ditentukan bahan pipa adalah Commercial steel

Sehingga diperoleh :

$\varepsilon = 4.6 \times 10^{-5}$ m = 0.00015 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

$\dfrac{\varepsilon}{D} = \dfrac{0.00015}{0.5054} = 0.00030$

f = 0.01 (Geankoplis, fig. 2.10-3 hal. 88)[21]

α = 0.5

Direncanakan :

a. Panjang pipa lurus = 150 ft

b. Elbow, 90° = 3 buah

Le/D = 35 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 35 ID

= 35 × 3 × 0.5054

= 53.0683 ft

c. Gate valve = 2 buah (wide open)

Le/D = 9 (Tabel 2.10-1, Geankoplis, hal. 93)[21]

L elbow = 9 ID

= 9 × 2 × 0.5054

= 9.0974 ft

Panjang pipa total = Pipa lurus + elbow 90° + gate valve

pipa total (L) = 150 + 53.0683 + 9.0974
= 212.1657 ft
= 2545.9888 in

Menentukan Friksion Loss

1. Friksi pada pipa lurus

$$F_f = 4f \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.6 Hal 89)[21]

$$= 4 \times 0.0100 \; \frac{212.1657}{0.5054} \times \frac{0.2384^2}{2 \times 32.174}$$

$$= 0.0148 \text{ lbf.ft/lbm}$$

2. Kontraksi pada keluaran tangki

$$hc = Kc \frac{v^2}{2g_c}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.16 Hal 93)[21]

$$= 0.55 \frac{0.2384^2}{2 \times 32.174}$$

$$= 0.0005 \text{ lbf.ft/lbm}$$

3. Elbow 90°, 3 buah

$K_f = 0.75$ (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$$hf = Kf \frac{v^2}{2}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$$= 3 \times 0.75 \frac{0.2384^2}{2}$$

$$= 0.0639 \text{ lbf.ft/lbm}$$

4. Ekspansi

$$K_{eks} = 1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2$$

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

$$= 1$$

$$h_{eks} = K_{eks} \frac{v^2}{2\alpha}$$

$$= 1 \times \frac{0.2384^2}{2 \times 1}$$

$$= 0.0568 \text{ lbf.ft/lbm}$$

5. Gate valve wide open, 2 buah

$K_f = 0.17$ (Geankoplis, Tabel 2.10-1 Hal. 93)[21]

$$hf = 2Kf \frac{v^2}{2}$$ (Geankoplis, Pers.2-10.17 Hal 94)[21]

$$= 2 \times 0.17 \frac{0.2384^2}{2}$$

$$= 0.0097 \text{ lbf.ft/lbm}$$

Sehingga :

Total friksi (ΣF) = F_f + h_c + Σh_f + h_{ex}

= 0.0148 + 0.0005 + 0.0736 + 0.0568

= 0.1457 $ft.lb_f/lb_m$

Menentukan Kesetimbangan Mekanik

Direncanakan :

ΔZ = 40 ft

ΔP = 0 lb/ft^2 (karena $P_1 = P_2$)

v_1 = 0 ft/s (karena fluida diam dalam tangki penampungan)

v_2 = 0.2384 ft/s

α = 0.5 (aliran laminar)

Sehingga kesetimbangan mekanik :

$$\frac{V_2^2 - V_1^2}{2.\alpha.gc} + \Delta Z\frac{g}{gc} + \frac{\Delta P}{\rho} + \sum F = -Ws$$

$$\frac{0.0568 - 0}{2 \times 1 \times 32.174} + 40 \frac{32.174}{32.174} + \frac{0.0000}{182.015} + 0.1457 = -Ws$$

-Ws = 40.1475 lbf.ft/lbm

Dari Fig. 14.37 "Petters & Timmerhause", hal 520[23], didapatkan :

Efisiensi pompa (η) = 65%

Ws = - η Wp

40.1475 = - 65% Wp

Wp = 61.7654 ft.lbf/lbm

Mass flow rate (m) = Q × ρ

= 0.4133 × 182.0149

= 75.2355 lbm/jam

= 0.0209 lbm/s

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

$$= 61.7654 \times 0.0209 \times \frac{1 \text{ hp}}{550 \text{ ft.lbf/s}}$$

= 0.0023 hp

Dari Fig.14.38 Hal.521, Petters &Timmerhause, didapatkan :

Efisiensi motor = 80%

$$\text{Broken horsepower} = \frac{\text{pump horsepower}}{\eta}$$

$$= \frac{0.0023}{65\%}$$

= 0.0036 ≈ 1 Hp

$$\text{Daya} = \frac{\text{BHP}}{\text{Efisiensi Motor}}$$

$$= \frac{0.0036}{80\%}$$

= 0.0045 Hp ≈ 1 Hp

Spesifikasi Alat Pompa (L-252) :

Fungsi	:	Memompakan media pendingin ke peralatan
Type	:	pompa sentrifugal
Bahan	:	Carbon Steel
Daya	:	1 Hp
Kapasitas	:	1488.0522 ft^3/jam
panjang pipa	:	2545.9888 in
Jumlah	:	1 buah

3. Cooler Refrigerant (E-253)

Fungsi : Mendinginkan refrigerant dari keluaran peralatan

Tipe : *Shell and Tube*

Direncanakan :

- faktor kekotoran gabungan minimum (Rd) = 0.001 jam.ft^2.°F/Btu
- penurunan tekanan aliran maksimum (Δp) = 10 psi
- Δp maksimum aliran air pendingin = 2.5 psi
- Digunakan pipa ukuran 1 in OD, BWG 12, L = 20 ft, P_T = 1,25 in
- susunan segitiga (triangular)

Kondisi operasi :

- Massa bahan masuk (W) = 156.7294 kg/jam
  = 345.5289 lb/jam
- Suhu bahan masuk (T_1) = -90.00 °C = -130.00 °F = 183.15 K
- Suhu bahan keluar (T_2) = -120.00 °C = -184.00 °F = 153.15 K
- Kebutuhan air pendingin (= 108.8399 kg/jam
  = 239.951 lb/jam
- Panas yang diserap (Q) = 152084.06 Kkal/jam
  = 603115.2 Btu/jam
- Suhu pendingin masuk (t_1 = -125 °C = -193 °F
- Suhu pendingin keluar (t_2 = -100 °C = -148 °F

Density = $A \times B^{-(1-T/Tc)^n}$ T = -90.00 °C = 183.15 K

Komponen	A	B	n	Tc	$(1-T/Tc)^n$
CF_4	0.62949	0.28390	0.29095	227.50	0.6214

(Pers. *Carls and Yaws Density of Liquid*)

Komponen	Massa (Kg/jam)	xi (massa)	ρ (Kg/m^3)	ρ (lb/ft^3)	ρixi
CF_4	156.7294	1.0000	1376.6208	85.9397	85.9397

$$\rho = \frac{\sum xi.\rho i}{\sum xi}$$

$= \frac{85.9397}{1.0000} = 85.9397$ lb/ft^3 = 1376.5767 kg/m^3

$\log 10\ \mu = A+B/T+CT+DT^2$

Komponen	μ (*Centripoise*)			
	A	B	C	D
CF_4	-8.1062	478.7100	0.0510	-0.0001338

(Yaws and Carl Viscosity of Liquid

Komponen	Massa (Kg/jam)	xi (massa)	μ (Cp)	μ (lb/ft.s)	xi.μi
CF_4	156.7294	1.0000	0.2280	0.0002	0.0001532

$\mu = \frac{\sum xi.\mu i}{\sum xi}$

$= \frac{0.0002}{1.0000} = 0.0002$ lb/ft.s = 0.5516 lb/ft.jam

Menentukan C_p

$C_p = A + B\ T + C\ T^2 + DT^3$

Komponen	A	B	C	D
CF_4	25.395	0.98067	-0.00707	2.124.E-05

(Yaws and Carl Heat Capacity of Liquid)

Komponen	Massa (Kg/jam)	xi (massa)	Cp (Joule/kg.	Cp (Btu/lb.°F)	Cp .xi
H_2O	156.7294	1.0000	98.228	0.023	0.0235

$Cp = \frac{\sum xi.Cp}{\sum xi}$

$= \frac{0.0235}{1.0000} = 0.0235$ Btu/lb.°F

$\log_{10} k_{liq} = A + B\ (1\text{-}T/C)^{\wedge(2/7)}$

Komponen	A	B	C	$(1\text{-}T/C)^{2/7}$
CF_4	-1.7559	0.989	227.50	0.0609

(Yaws and Carl Thermal Conductivity of Liquid)

Komponen	Massa (Kg/jam)	xi (massa)	k (W/mK)	k (Btu/jam.ft^2	k.xi
$C_4H_6O_2$	156.7294	1.0000	0.0202	0.0116	0.01165

$k = \frac{\sum xi.k}{\sum xi}$

$= \frac{0.0116}{1.0000} = 0.0116$ Btu/jam/ft^2.°F/ft

Perhitungan :

A. Menghitung Δt

Δ_{t1} = T_1 - t_2 = 18 °F

Δ_{t2} = T_2 - t_1 = 9 °F

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta_{t1} - \Delta_{t2}}{\ln \frac{\Delta_{t1}}{\Delta_{t2}}} = \frac{18 - 9}{\ln \frac{18}{9}} = \frac{9.0}{0.69315} \text{ °F}$$

= 12.9843 °F

$$R = \frac{T_1 - T_2}{t_2 - t_1} = \frac{-130 - -184}{-148 - -193} = 1.2 \text{ °F}$$

$$S = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} = \frac{-148 - -193}{-130 - -193} = 0.7 \text{ °F}$$

Dari Kern fig.20, hal.830 didapatkan harga Ft yang cocok adalah :

Ft = 0.75 (dipilih tipe HE : 3-6)

Jadi :

Δt = Ft × ΔT_{LMTD}

= 0.75 × 12.9843

= 9.7382 °F

B. Menghitung suhu kalorik (Tc dan tc)

$$Tc = \frac{(T_1 + T_2)}{2} = \frac{\#\#\#\#\#\#\# + -184.00}{2} = 157.000 \text{ °F}$$

$$tc = \frac{(t_1 + t_2)}{2} = \frac{-193.0 + -148.0}{2} = 170.500 \text{ °F}$$

C. Trial UD

Dari tabel 8 "Kern" hal. 840, range $U_{D\ (light\ organics)}$ = 40 - 100 Btu/jam.ft^2.°F

Dicoba UD = 100 Btu/jam.ft^2.°F

$$A = \frac{Q}{UD \times \Delta t}$$

$$= \frac{603115.2037}{100 \times 9.7382}$$

= 619.3298 ft^2

dengan

$d_{o\ tube}$ = 1.00

BWG = 12

L = 20 ft

Pt = 1.25 in

Dari Kern, tabel 10 hal 843, sehingga diperoleh harga a 0.2618 ft^2

$$Nt = \frac{A}{a''\ L}$$

$= \dfrac{619.3298}{0.2618 \times 20}$

= 118.283 buah

Dari Kern, tabel 9 Hal 842, diperoleh

IDs = 17 1/4 in

n = 2

Nt = 118 buah

$U_D \text{ koreksi} = \dfrac{Nt}{Nt \text{ standar}} \times U_D \text{ trial}$

$= \dfrac{118.2830}{118} \times 100$

= 100.2398 Btu/jam.ft^2.°F

Dari Kern, tabel 28, hal. 838, diperoleh :

de = 0.72 in

D. Trial ukuran SHE

Type HE 3-6	
Bagian *Shell*	Bagian *Tube*
ID_S = 17.25 in	do = 1.00 in BWG = 12
n' = 1	L = 20 ft Nt = 118
B = 3.45 in	Susunan segitiga, n = 2
Pt = 1.25 in	a' = 0.4790 in^2
de = 0.72 in	a" = 0.2618 ft^2/ft
= 0.06 ft	di = 0.7820 in
C" = 0.25	= 0.0652 ft

Evaluasi Perpindahan Panas	
Bagian *Shell* (Bahan)	Bagian *Tube* (Air Pendingin)
1. Menghitung N_{Re}	1'. Menghitung N_{Re}
$a_s = \dfrac{IDs \times C \times B}{n \times Pt \times 144}$	$a_t = \dfrac{Nt \times a'}{n \times 144}$
$= \dfrac{17.25 \times 1/4 \times 3\ 4/9}{1 \times 1.25 \times 144}$	$= \dfrac{118.00 \times 0.48}{2 \times 144}$
= 0.0827	= 0.1963
$G_s = \dfrac{W}{a_s}$	$G_t = \dfrac{m}{at}$
$= \dfrac{345.5289}{0.0827}$	$= \dfrac{239.951}{0.1963}$
= 4180.3113 lb/jam.ft^2	= 1222.6349 lb/jam.ft^2
μ = 0.2280 cP	μ = 0.2280 Cp
= 0.5516 lb/ft.jam	= 0.5516 ft.jam

$N_{Re_s} = \dfrac{Gs \times de}{\mu \times 2.42}$	$N_{Re_p} = \dfrac{Gt \times di}{\mu \times 2.42}$
= 187.8907	= 59.6876
2. Mencari faktor panas (J_H)	2'. Mencari faktor panas (J_H)
J_H = -	J_H = -
3. Menghitung harga koefisien film trial ho maksimal 300 Btu/jam.ft^2 ^{o}F	3'. Menghitung harga koefisien film untuk pendingin
Trial ho = 150 Btu/jam.ft^{2o}F	ρ = 85.94 lbm/ft^3
$tw = tc + \dfrac{ho}{ho + hio}\left(tc\text{-}Tc\right)$	$v = \dfrac{Gt}{3600.\ \rho}$
$= 171 + \dfrac{150}{150 + 225}$ - 14	$= \dfrac{1222.6349}{3600 \times 85.94}$
= 175.897 ^{o}F	= 0.0040 ft/s
Δt = tc-tw = 5.40 ^{o}F	("Kern", hal.835)
	faktor koreksi = 0.96
Dari Kern, fig.15.11hal.474 didapatkan:	(fig.25 "Kern", hal.835)
hs = 30 Btu/ft^2.jam^{0}F	hi = 300 Btu/jam.ft^2.^{o}F
hv = 62 Btu/ft^2.jam^{0}F	hi = 300 × 0.96
Dari App. B didapatkan:	= 288.0 Btu/jam.ft^2.^{o}F
Q1 = 4331744.8 kkal/jam	hio = hi x (di/do)
= 17178556 btu/jam	= 225.216 Btu/jam.ft^2.^{o}F
Q2 = 3515727.5 kkal/jam	
= 13942447 btu/jam	
$ho = \dfrac{Q}{\dfrac{Q1}{hs} + \dfrac{Q2}{hv}}$	
$= \dfrac{31121003.53}{\dfrac{17,178,556}{30} + \dfrac{13,942,447}{62}}$	
= 390.2336	

E. Mencari tahanan panas pipa bersih

$$Uc = \frac{ho \times hio}{ho + hio}$$

$$Uc = \frac{390.2336 \times 225}{390.2336 + 225}$$

= 142.8011 Btu/jam.ft^2.^{o}F

F. Mencari dirty faktor (faktor kekotoran) pipa terpakai

$$Rd = \frac{Uc - U_D}{Uc \times U_D}$$

$$= \frac{142.801 - 100.240}{142.801 \times 100.240}$$

= 0.00297

Karena harga Rd hitung > Rd tetapan, maka rancangan HE memenuhi

Evaluasi Δp	
Bagian *Shell* (Bahan)	Bagian *Tube* (Pendingin)
1. Menghitung N_{re} dan friksi Nre_s = 187.8907 *Kern fig.29, hal.839* *f* = 0.0018	1. Menghitung N_{re} dan friksi Nre_t = 59.6876 *Kern fig.26, hal.836* *f* = 0.00025 sg = 1
2. Mencari ΔPs ρ = 85.940 lb/ft^3 BM = 88 S = $\frac{144 \times \rho \times BM}{1545 \times (460+T) \times 62.5}$ = 0.0245185 N+1 = (12 x L)/B = 69.6 φs = $\left[\frac{\mu}{\mu_w}\right]^{0,14}$ = 0.92 ΔP_1 = $\frac{f \times Gs^2 \times ID \times (N+1)}{2 \times 5{,}22.10^{10} \times de \times sg \times \varphi}$ ΔP_1 = 0.00658 psi ΔP_1 < ΔP_{allow} 0.0066 < 10 psi (memenuhi syarat)	2. Mencari ΔP karena panjang pipa $\Delta P_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{f.Gt^2.L.n}{5{,}22 \times 10^{10}.di.sg.\phi}$ $= \frac{0.00025 \times 1222.6^2 \times 20 \times 2}{2 \times 5{,}22.10^{10} \times 0.065 \times 1 \times 1}$ = 2.4E-06 psi ΔP karena tube passes Dari Kern,fig. 27 hal.837,diperoleh: $\left[\frac{v^2}{2gc}\right]\frac{\rho}{144}$ = 0.065 , sehingga $\Delta Pn = \frac{4n}{sg}\left[\frac{v^2}{2gc}\right]\frac{\rho}{144}$ $= \frac{4 \times 2}{1} \times 0.065$ = 0.052 psi sehingga, ΔPt total = 2.4E-06 + 0.052 = 0.05 psi < 2.5 psi *desain memenuhi*

Spesifikasi Alat Cooler (E-253) :

Fungsi	:	Mendinginkan kembali refrigerant dari peralatan
Tipe	:	*Shell and Tube*
Bahan konstruksi	:	Stainless Steel SA 167 Grade 3 Type 304
Media pendingin	:	karbon tetrafluorida
Kapasitas	:	156.7294 kg/jam
Rate pendingin	:	108.8399 kg/jam
Dimensi	:	Bagian *Shell* — Bagian *Tube*
		ID_S = 17.25 in — do = 1.00 in BWG = 12

n'	=	1.00		L = 20.00 ft	Nt	=	118		
B	=	3.45	in	Susunan segitiga, n		=	2		
Pt	=	1.25	in	a' =	0.6390	in^2			
de	=	0.72	in	a" =	0.2618	ft^2/ft			
	=	0.06	ft	di =	0.7820	in			
C"	=	0.25		=	0.0652	ft			

Jumlah : 1 buah

D.3. Unit Penyediaan Listrik

Kebutuhan tenaga listrik pada Pra-Rencana Pabrik Vinil Asetat ini direncanaka dan disediakan oleh PLN dan Generator set. Tenaga listrik yang dipergunakan untuk motor penggerak, penerangan, instrumentasi dan lainnya.

Perincian kebutuhan listrik terbagi menjadi :

A. Peralatan Proses Produksi

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

Tabel D.3.1. Pemakaian Listrik Pada Peralatan Proses Produksi

No.	Kode Alat	Nama Alat	Jumlah	Daya (Hp)
1.	L-112	Pompa Asam Asetat	1	1
2.	G-114	Kompresor Asam Asetat	1	1
3.	G-114A	Kompresor Etilena	1	1
4.	G-114B	Kompresor Udara	1	1
5.	G-121	Expander	1	7
6.	L-123	Pompa Produk Flash Drum	1	1
TOTAL			**6**	**12**

B. Unit Pengolahan Air

Pemakaian listrik untuk peralatan pada unit pengolahan air, ditunjukkan pada tabe berikut.

Tabel D.3.2. Pemakaian Listrik Pada Peralatan Unit 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-222	Pompa Air Lunak	1	1
4.	L-225	Pompa Boiler	1	1
5.	L-232	Pompa Air Pendingin	1	1
6.	P-230	Cooling Tower Water	1	3
7.	L-242	Pompa Klorinasi	1	1
8.	L-252	Pompa Refrigerant	1	1
TOTAL			**8**	**10**

Jadi, kebutuhan total untuk motor penggerak sebesar :

= 12 + 10 Hp = 22 Hp

= 22 Hp × 0.7457 kWH/Hp = 16.4054 kWH

C. Listrik Untuk Penerangan

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

$$L = \frac{A \times F}{U \times D}$$ (Pers. 8-3 Kusnarjo, hal. 113)[9]

L : lumen outlet (jumlah total cahaya yg terpancar pada suatu sumber)
F : foot candle
U : koefisien utilitas = 0.8
D : effisiensi penerangan rata-ra = 0.75
A : luas daerah

Tabel D.3.3. Pemakaian Listrik Untuk Penerangan

No	Lokasi	Luas		F	Lumen
		m^2	ft^2		
1	Pos Keamanan	20	215.3	10	3587.9667
2	Taman	300	3229.2	5	26909.7500
3	Tempat Ibadah	150	1614.6	5	13454.8750
4	Laboratorium	90	968.8	10	16145.8500
5	Parkir Depan	200	2152.8	5	17939.8333
6	Gedung Serbaguna	200	2152.8	10	35879.6667
7	Kantor Pusat	300	3229.2	25	134548.7500
8	Poliklinik	30	322.9	10	5381.9500
9	Kantin	80	861.1	5	7175.9333
10	Toilet	30	322.9	5	2690.9750
11	Toilet	30	322.9	5	2690.9750
12	Utilitas	500	5382.0	10	89699.1667
13	Departemen Teknik	90	968.8	10	16145.8500
14	Area Bahan Baku	300	3229.2	10	53819.5000
15	Ruang Instrumentasi	200	2152.8	10	35879.6667
16	Power Plant	150	1614.6	10	26909.7500
17	Parkir Belakang	200	2152.8	5	17939.8333
18	Pengolahan Limbah	200	2152.8	1	3587.9667
19	Area Produksi	1600	17222.2	30	861112.0000
20	Gudang Peralatan	200	2152.8	10	35879.6667
21	Gudang Produk	300	3229.2	10	53819.5000
22	Area Perluasan	800	8611.1	5	71759.3333
23	Tanah Sisa dan Jalan	2500	26909.8	5	224247.9167
JUMLAH		8470	91170.2	211	1757206.6750

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

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

Total lumen = jumlah lumen - lumen jalan + luman taman
= 1757206.6750 - 224247.9167 + 26909.7500

= 1506049.0083 lumen

Tenaga listrik yang dibutuhka = $\frac{1506049.0083 \text{ lumen}}{49 \text{ lumen/watt}}$

= 30735.69405 watt

Jumlah lampu yang dibutuhk = $\frac{30735.69405 \text{ watt}}{40 \text{ watt}}$

= 768.3924 ≈ 769 buah

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

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

Total lumen = lumen jalan + luman taman

= 224247.9167 + 26909.7500

= 251157.6667 lumen

Tenaga listrik yang dibutuhka = $\frac{251157.6667 \text{ lumen}}{30 \text{ lumen/watt}}$

= 8371.922222 watt

Jumlah lampu yang dibutuhk = $\frac{8371.922222 \text{ watt}}{100 \text{ watt}}$

= 83.7192 ≈ 84 buah

Dari perhitungan diatas didapatkan :

- Lampu Fluorescent = 30735.69405
- Lampu Mercury = 8371.9222
- Peralatan bengkel = 2000
- Peralatan laboratorium = 1500
- Keperluan lain-lain = 1250 +

Total = 43857.61627 Watt = 43.8576 kWH

Total kebutuhan listrik = Listrik untuk penerangan + Listrik untuk proses

= 43.8576 + 16.4054

= 60.2630 kWH

Generator digunakan sebagai *emergency* jika *supply* listrik mati.

Power faktor untuk generator = 0.8

Sehingga,

Power yang dibangkitkan oleh generator = $\frac{60.2630 \text{ kW}}{0.8}$

= 75.3288 kW ≈ 75 kW

= 75 kV.A

Spesifikasi Generator

Tipe : AC Generator 3 Phase

Kapasitas : 75 kV.A, 380/220 Volt

Frekuensi : 50/60 Hz

Jumlah : 2 buah (1 Cadangan)

D.4. Unit Penyediaan Bahan Bakar

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

A. Kebutuhan bahan bakar pada Boiler

Kebutuhan bahan bakan boiler sebesar 57.7709 kg/jam dan digunakan jenis Diesel oil.

ρ = 55 lb/ft^3 = 880.98671 kg/m^3

Jadi,

$$\text{Volume Diesell Oil} = \frac{57.7709 \text{ kg/jam}}{880.98671 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 0.06558 \text{ m}^3/\text{jam} = 1573.81 \text{ L/hari}$$

B. Kebutuhan bahan bakar untuk generator set

Tenaga Generator set = 75 kW = 6168800.9284 Btu/hari

Bahan bakar yang digunakan adalah Diesell Oil,

- Heating Value (H_v = 19200 Btu/lb
- Densitas (ρ) = 55 lb/ft^3 = 880.98671 kg/m^3
- Efisiensi (η) = 80.0% (Perry's ed 7 hal 27-10)[7]

$$\text{Kebutuhan bahan bakar} = \frac{6168800.9284 \text{ Btu/hari}}{19200 \text{ Btu/lb} \times 80.0\% \times 55 \text{ lb/ft}^3}$$

$$= 7.3021 \text{ ft}^3/\text{hari}$$

$$= 206.773 \text{ L/hari}$$

Sehingga kebutuhan total bahan bakar sebesar,

= 1573.8063 + 206.7731 L/hari

= 1780.5794 L/hari

Spesifikasi tangki bahan bakar untuk boiler dan generator

Fungsi : Untuk menyimpan bahan bakar yang akan digunakan

Dasar Perencanaan :

- Volume bahan bakar = 1780.5794 L/hari = 62.8802 ft^3/hari
- Kondisi operasi
  - Tekanan = 14.7 psi
  - Suhu = 30 ℃
  - Waktu penyimpanan = 7 hari
- Volume bahan bakar dianggap menempati 80% volume tangki
- Direncanakan menggunakan 1 buah tangki

Perhitungan :

$$\text{Volume bahan bakar} = 62.8802 \text{ ft}^3/\text{hari} \times 7 \text{ hari}$$

$$= 440.1616 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume bahan bakar tiap tangki} = \frac{440.1616 \text{ ft}^3}{1} = 440.16 \text{ ft}^3$$

Volume tangki $= \dfrac{440.16 \ ft^3}{80\%}$

$= 550.2020 \ ft^3$

Menghitung diameter tangki :

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

Dianggap H = 1,5 D, maka :

$550.2020 \ ft^3 = 0.7850 \ D^2 \times 1.5 \ D$

$D^3 = 467.2628 \ ft^3$

$D = 7.7599 \ ft = 93.1183 \ in$

Menghitung tinggi tangki :

$H = 1,5 \ D$

$= 1.5 \times 93.1183 \ in$

$= 139.677 \ in$

Menghitung tebal tangki

Bahan : HAS SA 240 Grade A Type 410

- fallowable (f) = 16250 psi (Brownel & Young, hal. 342)[12]
- faktor korosi (C) = 1/16 in = 0.0625 in
- tipe pengelasan = Double welded butt joint E = 0.8

(Brownel & Young, hal. 254)[12]

Tebal silinder (ts) $= \dfrac{Pi.di}{2\,(f.E - 0.6Pi)} + C$

$= \dfrac{14.7000 \times 93.1183}{2\left(16250 \times 0.8 - 0.6 \times 14.7000\right)} + 0.0625$

$= 0.1152 \times \dfrac{16}{16}$

$= \dfrac{1.84293}{16} \approx \dfrac{5}{16} \ in$

Standarisasi do & di

$do = di + 2 \ ts$

$= 93.1183 + 0.6250$

$= 93.7433 \ in$

berdasarkan "Brownel and Young" tabel 5.7 hal 89[12], didapatkan :

$do_s = 90 \ in$

$icr = 5 \ 1/2$

$r = 90$

$ts = 0.31 \ in$

$di_{baru} = do_s - 2 \ ts$

$= 90 - 0.6250$

$= 89.3750 \ in$

$= 7.4479 \ ft$

Menentukan tebal tutup atas (standar dished)

$$tha = \frac{0.855 \times Pi.\ r}{(f.E - 0.1\ Pi)} + C$$

$$= \frac{0.855 \times 14.7000 \times 89.3750}{16250 \times 0.8 - 0.1 \times 14.7000} + 0.0625$$

$$= 0.1489 \times \frac{16}{16}$$

$$= \frac{2.3827}{16} \approx \frac{3}{16}\ \text{in}$$

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

$$thb = \frac{P_i \times D}{2\ (\ f \times E - 0{,}6\ Pi\ )\ \cos 60°} + C$$

$$= \frac{14.7000 \times 89.3750}{2\ (\ 16250 \times 0.8 - 0.6 \times 14.7000\ )\ 1} + \frac{1}{16}$$

$$= 0.1636 \times \frac{16}{16}$$

$$= \frac{2.6181}{16} \approx \frac{3}{16}\ \text{in}$$

Spesifikasi Tangki Bahan Bakar

Tipe	:	Silinder dengan tutup atas standart dished dan tutup bawah conical.								
Bahan konstruksi	:	HAS SA 240 Grade A Type 410								
Dimensi	:	Di	=	89.3750	in	ts	=	3/16	in
		H	=	139.677	in	tha	=	3/16	in
						thb	=	3/16	in
Jumlah	:	1								