

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN NERACA MASSA

LAMPIRAN A

PERHITUNGAN NERACA MASSA

Tabel A.1. Formulasi Bahan Baku Pembuatan Hand and Body Lotion^[10]

Bahan	Fungsi	Komposisi (%berat)
A. Continuous Phase		
Air	<i>solvent</i>	76,71
EDTA	<i>softener</i>	0,04
Propylene glycol	<i>humectant</i>	4,00
Carbomer	<i>thickener</i>	1,00
B. Dispersed Phase		
Mineral oil	<i>solvent</i>	3,50
Asam stearat	<i>emollient</i>	1,70
Cetyl alcohol	<i>emollient</i>	1,70
Isopropyl palmitate	<i>emollient</i>	2,80
Petrolatum	<i>emollient</i>	2,80
C. Emulsi		
PEG-40 stearate	<i>emulsifier</i>	1,60
Glyceryl monostearate	<i>emulsifier</i>	3,50
D. Bahan tambahan		
Parfum	pengawet	0,15
Tocopherol acetate		0,20
Bahan aktif		0,30
Total		100,00

Tabel A.2. Komposisi Bahan Aktif

Bahan	Fungsi	Komposisi (%berat)
Varian I. Anti UV^[11]		
Titanium dioxide	anti UV, infrared, dan <i>whitening</i>	0,30
Varian II. Complete Care^[11]		
Vitamin A	menghaluskan dan melembabkan kulit	0,15
Vitamin C	melembutkan dan menghaluskan kulit	0,15

Dari Tabel A.1, dapat dilihat formulasi bahan baku untuk pembuatan *hand and body lotion*. Kapasitas produksi total adalah 2.700 kg/hari. Sehingga jumlah kebutuhan bahan baku setiap harinya dapat diasumsi sebagai berikut:

Fase A (*Continuous Phase*)

1. Air $= 76,71\% \times 2.700 = 2.071,17 \text{ kg/hari}$
2. EDTA $= 0,04\% \times 2.700 = 1,08 \text{ kg/hari}$
3. Propylene glycol $= 4,00\% \times 2.700 = 108,00 \text{ kg/hari}$

Propylene glycol yang digunakan mengandung 99,5% propylene glycol dan 0,5% air.

- a. Propylene glycol $99,5\% \times 108,00 = 107,46 \text{ kg/hari}$
- b. Air $0,5\% \times 108,00 = 0,54 \text{ kg/hari}$
4. Carbomer $= 1,00\% \times 2.700 = 27,00 \text{ kg/hari}$

Carbomer yang digunakan mengandung 95,0% carbomer dan 5,0% air.

- a. Carbomer $95,0\% \times 27,00 = 25,65 \text{ kg/hari}$
- b. Air $5,0\% \times 27,00 = 1,35 \text{ kg/hari}$

Fase B (*Dispersed Phase*)

1. Mineral oil $= 3,50\% \times 2.700 = 94,50 \text{ kg/hari}$

Mineral oil yang digunakan mengandung 99,5% mineral oil dan 0,5% vitamin E.

- a. Mineral oil $99,5\% \times 94,50 = 94,03 \text{ kg/hari}$
- b. Vitamin E $0,5\% \times 94,50 = 0,47 \text{ kg/hari}$
2. Asam stearat $= 1,70\% \times 2.700 = 45,90 \text{ kg/hari}$

Asam stearat yang digunakan mengandung 95,0% asam stearat dan 5,0% asam palmitat.

- a. Asam stearat $95,0\% \times 45,90 = 43,61 \text{ kg/hari}$
- b. Asam palmitat $5,0\% \times 45,90 = 2,30 \text{ kg/hari}$
- 3. Cetyl alcohol $= 1,70\% \times 2.700 = 45,90 \text{ kg/hari}$

Cetyl alcohol yang digunakan mengandung 95,0% cetyl alcohol dan 5,0% myristil alcohol.

- a. Cetyl alcohol $95,0\% \times 45,90 = 43,61 \text{ kg/hari}$
- b. Myristil alcohol $5,0\% \times 45,90 = 2,30 \text{ kg/hari}$
- 4. Isopropyl palmitate $= 2,80\% \times 2.700 = 75,60 \text{ kg/hari}$

Isopropyl palmitate yang digunakan mengandung 90,0% isopropyl palmitate dan 10,0% asam palmitat.

- a. Isopropyl palmitate $90,0\% \times 75,60 = 68,04 \text{ kg/hari}$
- b. Asam palmitat $10,0\% \times 75,60 = 7,56 \text{ kg/hari}$
- 5. Petrolatum $= 2,80\% \times 2.700 = 75,60 \text{ kg/hari}$

Fase C (Emulsi)

- 1. PEG-40 stearate $= 1,60\% \times 2.700 = 43,20 \text{ kg/hari}$

PEG-40 stearate yang digunakan mengandung 90,0% PEG-40 stearate dan 10,0% PEG-350.

- a. PEG-40 stearate $90,0\% \times 43,20 = 38,88 \text{ kg/hari}$
- b. PEG-350 $10,0\% \times 43,20 = 4,32 \text{ kg/hari}$
- 2. Glyceryl monostearate $= 3,50\% \times 2.700 = 94,50 \text{ kg/hari}$

Fase D1 (Bahan tambahan untuk varian I, *anti UV*)

- 1. Parfum $= 0,15\% \times 2.700 = 4,05 \text{ kg/hari}$

Parfum yang digunakan mengandung 95,0% limonen dan 5,0% geraniol.

- a. Limonene $95,0\% \times 4,05 = 3,85 \text{ kg/hari}$

- b. Geraniol $5,0\% \times 4,05 = 0,20 \text{ kg/hari}$
2. Tocopherol acetate $= 0,20\% \times 2.700 = 5,40 \text{ kg/hari}$
- Tocopherol acetate yang digunakan mengandung 97,0% tocopherol acetate dan 3,0% vitamin E.
- a. Tocopherol acetate $97,0\% \times 5,40 = 5,24 \text{ kg/hari}$
- b. Vitamin E $3,0\% \times 5,40 = 0,16 \text{ kg/hari}$
3. Titanium dioxide $= 0,30\% \times 2.700 = 8,10 \text{ kg/hari}$

Fase D2 (Bahan tambahan untuk varian II, *complete care*)

1. Parfum $= 0,15\% \times 2.700 = 4,05 \text{ kg/hari}$
- a. Limonene $95,0\% \times 4,05 = 3,85 \text{ kg/hari}$
- b. Geraniol $5,0\% \times 4,05 = 0,20 \text{ kg/hari}$
2. Tocopherol acetate $= 0,20\% \times 2.700 = 5,40 \text{ kg/hari}$
- a. Tocopherol acetate $97,0\% \times 5,40 = 5,24 \text{ kg/hari}$
- b. Vitamin E $3,0\% \times 5,40 = 0,16 \text{ kg/hari}$
3. Vitamin A $= 0,15\% \times 2.700 = 4,05 \text{ kg/hari}$
4. Vitamin C $= 0,15\% \times 2.700 = 4,05 \text{ kg/hari}$

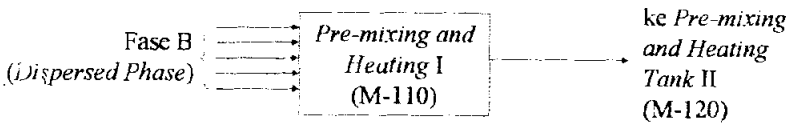
Sehingga kebutuhan bahan baku untuk pembuatan varian I dan varian II setiap harinya dapat dilihat pada Tabel A.3 berikut ini.

Tabel A.3. Kebutuhan Bahan Baku untuk Pembuatan Hand and Body Lotion

Bahan baku		Kebutuhan Bahan Baku (kg/hari)	
		Varian I	Varian II
Air		2.071,17	2.071,17
EDTA		1,08	1,08
Propylene glycol		108,00	108,00
Propylene glycol	107,46		
Air	0,54		
Carbomer		27,00	27,00
Carbomer	25,65		
Air	1,35		
Mineral oil		94,50	94,50
Mineral oil	94,03		
Vitamin E	0,47		
Asam stearat		45,90	45,90
Asam stearat	43,60		
Asam palmitat	2,30		
Cetyl alcohol		45,90	45,90
Cetyl alcohol	43,60		
Myristil alcohol	2,30		
Isopropyl palmitate		75,60	75,60
Isopropyl palmitate	68,04		
Asam palmitat	7,56		
Petrolatum		75,60	75,60
PEG-40 stearate		43,20	43,20
PEG-40 stearate	38,88		
PEG-350	4,32		
Glyceryl monostearate		94,50	94,50
Parfum		4,05	4,05
Limonene	3,85		
Geraniol	0,20		
Tocopherol acetate		5,40	5,40
Tocopherol acetate	5,24		
Vitamin E	0,16		
Titanium dioxide		8,10	-
Vitamin A		-	4,05
Vitamin C		-	4,05
Total		2.700,00	2.700,00

A.1. Pre-mixing and Heating Tank I (M-110)

Pada tangki M-110 ini, umpan masuk berupa fase D. Karena tidak terjadi reaksi atau generasi lainnya, maka massa komponen masuk sama dengan massa komponen keluar menuju ke *Pre-mixing and Heating Tank II* (M-120). Dengan mengacu pada Tabel A.3, neraca massa untuk *Pre-mixing and Heating I* dapat dilihat pada Tabel A.4.



Tabel A.4. Neraca Massa untuk *Pre-mixing and Heating I*

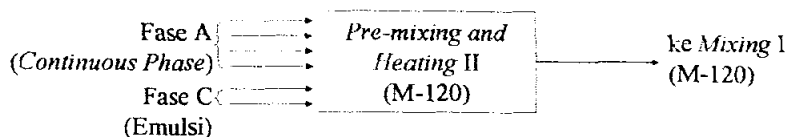
<i>Pre-mixing and Heating Tank I (M-110)</i>		
Komponen	Masuk (kg/hari)	Keluar (kg/hari)
	<i>Umpan fase B</i>	<i>Ke M-120</i>
Mineral oil	94,50	94,50
Mineral oil 94,03		
Vitamin E 0,47		
Asam stearat	45,90	45,90
Asam stearat 43,60		
Asam palmitat 2,30		
Cetyl alcohol	45,90	45,90
Cetyl alcohol 43,60		
Myristil alcohol 2,30		
Isopropyl palmitate	75,60	75,60
Isopropyl palmitate 68,04		
Asam palmitat 7,56		
Petrolatum	75,60	75,60
Total	337,50	337,50

A.2. Pre-mixing and Heating Tank II (M-120)

Pada *Pre-mixing and Heating Tank II* (M-120), umpan masuk berupa fase A dan C. Kemudian pada M-120 ini, juga terjadi pencampuran antara fase B dari M-110 dengan fase A dan C (*Mixing I*). Karena tidak terjadi reaksi atau generasi

lainnya, maka massa komponen masuk sama dengan massa komponen keluar menuju ke *Mixing and Cooling Tank* (M-130). Dengan mengacu pada Tabel A.3, neraca massa untuk *Pre-mixing and Heating II* dapat dilihat pada Tabel A.5, sedangkan neraca massa untuk *Mixing I* dapat dilihat pada Tabel A.6.

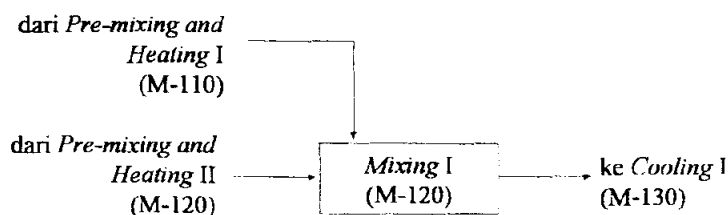
A.2.1. *Pre-mixing and Heating II*



Tabel A.5. Neraca Massa untuk *Pre-mixing and Heating II*

<i>Pre-mixing and Heating II</i> (M-120)		
Komponen	Masuk (kg/hari)	Keluar (kg/hari)
	<i>Umpan fase A</i>	<i>Ke Mixing I (M-120)</i>
Air	2.071,17	2.071,17
EDTA	1,08	1,08
Propylene glycol	108,00	108,00
Propylene glycol	107,46	
Air	0,54	
Carbomer	27,00	27,00
Carbomer	25,65	
Air	1,35	
	<i>Umpan fase C</i>	
PEG-40 stearate	43,20	43,20
PEG-40 stearate	38,88	
PEG-350	4,32	
Glyceryl monostearate	94,50	94,50
Total	2.344,95	2.344,95

A.2.2. *Mixing I*



Tabel A.6. Neraca Massa untuk *Mixing I*

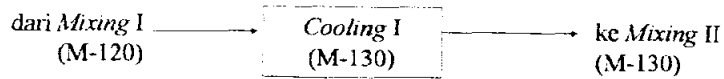
<i>Mixing I (M-120)</i>		
Komponen	Masuk (kg/hari)	Keluar (kg/hari)
	<i>Dari M-110</i>	<i>Ke M-130</i>
Mineral oil	94,50	94,50
Mineral oil 94,03		
Vitamin E 0,47		
Asam stearat	45,90	45,90
Asam stearat 43,60		
Asam palmitat 2,30		
Cetyl alcohol	45,90	45,90
Cetyl alcohol 43,60		
Myristil alcohol 2,30		
Isopropyl palmitate	75,60	75,60
Isopropyl palmitate 68,04		
Asam palmitat 7,56		
Petrolatum	75,60	75,60
	<i>Dari M-120</i>	
Air	2.071,17	2.071,17
EDTA 1,08		1,08
Propylene glycol	108,00	108,00
Propylene glycol 107,46		
Air 0,54		
Carbomer	27,00	27,00
Carbomer 25,65		
Air 1,35		
PEG-40 stearate	43,20	43,20
PEG-40 stearate 38,88		
PEG-350 4,32		
Glyceryl monostearate	94,50	94,50
Total	2.682,45	2.682,45

A.3. *Mixing and Cooling Tank (M-130)*

Pada *Mixing and Cooling Tank (M-130)*, komponen masuk berupa umpan fase D (D1 untuk varian I dan D2 untuk varian II), dan keluaran dari *Pre-mixing II, Mixing and Heating Tank II (M-120)*. Karena tidak terjadi reaksi atau generasi lainnya, maka massa komponen masuk sama dengan massa komponen keluar. Dengan mengacu pada Tabel A.3, neraca massa untuk *Cooling I* dapat dilihat pada Tabel A.7 dan *Mixing II* pada Tabel A.8 dan Tabel A.9. Pembuatan produk

varian I dan varian II dilakukan secara bergantian sesuai dengan jadwal yang ditetapkan.

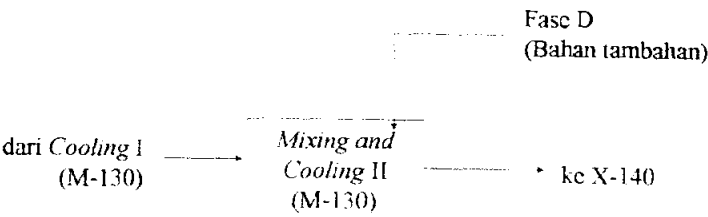
A.3.1. Cooling I



Tabel A.7. Neraca Massa untuk Cooling I

Cooling I (M-130)		
Komponen	Masuk (kg/hari)	Keluar (kg/hari)
	<i>Dari M-120</i>	<i>Ke Mixing II (M-130)</i>
Mineral oil	94,50	94,50
Mineral oil 94,03		
Vitamin E 0,47		
Asam stearat	45,90	45,90
Asam stearat 43,60		
Asam palmitat 2,30		
Cetyl alcohol	45,90	45,90
Cetyl alcohol 43,60		
Myristil alcohol 2,30		
Isopropyl palmitate	75,60	75,60
Isopropyl palmitate 68,04		
Asam palmitat 7,56		
Petrolatum	75,60	75,60
Air	2.071,17	2.071,17
EDTA	1,08	1,08
Propylene glycol	108,00	108,00
Propylene glycol 107,46		
Air 0,54		
Carbomer	27,00	27,00
Carbomer 25,65		
Air 1,35		
PEG-40 stearate	43,20	43,20
PEG-40 stearate 38,88		
PEG-350 4,32		
Glyceryl monostearate	94,50	94,50
Total	2.682,45	2.682,45

A.3.2. *Mixing II*



Tabel A.8. Neraca Massa untuk *Mixing II* untuk Varian I

<i>Mixing II (M-130) – varian I</i>		
Komponen	Masuk (kg/hari)	Keluar (kg/hari)
	<i>Dari Cooling I</i>	<i>Ke X-140</i>
	<i>(M-130)</i>	
Air	2.071,17	2.071,17
EDTA	1,08	1,08
Propylene glycol	108,00	108,00
Propylene glycol	107,46	
Air	0,54	
Carbomer	27,00	27,00
Carbomer	25,65	
Air	1,35	
PEG-40 stearate	43,20	43,20
PEG-40 stearate	38,88	
PEG-350	4,32	
Glyceryl monostearate	94,50	94,50
Mineral oil	94,50	94,50
Mineral oil	94,03	
Vitamin E	0,47	
Asam stearat	45,90	45,90
Asam stearat	43,60	
Asam palmitat	2,30	
Cetyl alcohol	45,90	45,90
Cetyl alcohol	43,60	
Myristil alcohol	2,30	
Isopropyl palmitate	75,60	75,60
Isopropyl palmitate	68,04	
Asam palmitat	7,56	
Petrolatum	75,60	75,60
	<i>Umpan fase D1</i>	
Parfum	4,05	4,05
Limonene	3,85	
Geraniol	0,20	
Tocopherol acetate	5,40	5,40
Tocopherol acetate	5,24	
Vitamin E	0,16	
Titanium dioxide	8,10	8,10
Total	2.700,00	2.700,00

Tabel A.9. Neraca Massa untuk *Mixing II* untuk Varian II

<i>Mixing II (M-130) – varian II</i>		
Komponen	Masuk (kg/hari)	Keluar (kg/hari)
	<i>Dari Cooling I (M-130)</i>	<i>Ke X-140</i>
Air	2.071,17	2.071,17
EDTA	1,08	1,08
Propylene glycol	108,00	108,00
Propylene glycol	107,46	
Air	0,54	
Carbomer	27,00	27,00
Carbomer	25,65	
Air	1,35	
PEG-40 stearate	43,20	43,20
PEG-40 stearate	38,88	
PEG-350	4,32	
Glyceryl monostearate	94,50	94,50
Mineral oil	94,50	94,50
Mineral oil	94,03	
Vitamin E	0,47	
Asam stearat	45,90	45,90
Asam stearat	43,60	
Asam palmitat	2,30	
Cetyl alcohol	45,90	45,90
Cetyl alcohol	43,60	
Myristil alcohol	2,30	
Isopropyl palmitate	75,60	75,60
Isopropyl palmitate	68,04	
Asam palmitat	7,56	
Petrolatum	75,60	75,60
	<i>Umpan fase D2</i>	
Parfum	4,05	4,05
Limonene	3,85	
Geraniol	0,20	
Tocopherol acetate	5,40	5,40
Tocopherol acetate	5,24	
Vitamin E	0,16	
Vitamin A	4,05	4,05
Vitamin C	4,05	8,10
Total	2.700,00	2.700,00

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

LAMPIRAN B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

Basis perhitungan : 1 hari
Satuan panas : Joule
Suhu referensi : 298,15 K

B.1. Data Termodinamika

B.1.1. Panas Peleburan Spesifik

Panas peleburan spesifik dapat dihitung dengan persamaan (B.1) sebagai berikut^[12]:

$$\begin{aligned}\Delta\tilde{H}_{fus} &= T_m \sum (n_i C_{si} \Delta_{si}), \text{ J/mol} \\ \Delta\hat{H}_{fus} &= T_m \sum (n_i C_{si} \Delta_{si}) \frac{1000}{\text{BM}}, \text{ J/kg}\end{aligned}\tag{B.1}$$

Keterangan:

$\Delta\tilde{H}_{fus}$: panas peleburan spesifik per satuan mol (J/mol)

$\Delta\hat{H}_{fus}$: panas peleburan spesifik per satuan massa (J/kg)

T_m : titik leleh (K)

n : jumlah ikatan, atom, atau molekul (-)

C_s : koefisien untuk gugus fungsi atau atom dalam molekul (-)

Δ_s : kontribusi gugus atom atau atom pada entropi peleburan (J/mol.K)

BM : berat molekul (gram/mol)

i : komponen i

Tabel B.1. Data Estimasi Panas Peleburan Spesifik^[12]

Ikatan	C _s	Δ _s
-CH ₃	1,00	18,33
-CH ₂ -	1,00	9,41
-CH<	0,69	-16,19
-OH	26,40	1,13
-COO-	1,00	3,68
-O-	1,00	1,09

Senyawa-senyawa yang memerlukan perhitungan panas peleburan spesifik dengan estimasi tersebut ditampilkan pada Tabel B.2.

Tabel B.2. Senyawa-senyawa yang Menggunakan Estimasi Panas Peleburan Spesifik

Senyawa	Titik leleh (K)	-CH ₃	-CH ₂ -	-CH<	-OH	-COO-	-O-
PEG-40 stearate	330,15	1	18	-	1	1	-
Glyceryl monostearate	330,15	1	18	1	2	1	-
PEG-350	336,15	-	908	-	2	-	453

Contoh perhitungan penentuan panas peleburan spesifik PEG-40 stearate

$$\begin{aligned} \Delta \hat{H}_{fus} &= T_m \sum (n_i C_{si} \Delta_{si}) \times 1000 / \text{BM} \\ &= 330,65 \text{ K} \times [(1 \times C_{s,-\text{CH}_3} \times \Delta_{s,-\text{CH}_3}) + (18 \times C_{s,-\text{CH}_2-} \times \Delta_{s,-\text{CH}_2-}) + \\ &\quad (1 \times C_{s,-\text{OH}} \times \Delta_{s,-\text{OH}}) + (1 \times C_{s,-\text{COO-}} \times \Delta_{s,-\text{COO-}})] \times 1000 / \text{BM} \\ &= 330,65 \text{ K} \times [(1 \times 1,00 \times 18,33) + (18 \times 1,00 \times 9,41) + (1 \times 26,40 \times 1,13) \\ &\quad + (1 \times 1,00 \times 3,68)] \times 1000 / 328,53 \\ &= 222.672 \text{ J/kg} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan panas pelelehan spesifik senyawa-senyawa pada Tabel B.2 dicantumkan pada Tabel B.9.

B.1.2. Panas Spesifik Cairan

Panas spesifik cairan dapat dihitung dengan menggunakan dua metode, yaitu dengan metode polinomial^[13] dan energi ikatan^[14].

Panas spesifik cairan dapat dihitung dengan metode polinomial dengan menggunakan persamaan (B.2) sebagai berikut^[13]:

$$\tilde{C}_p = A + BT + CT^2 + DT^3, \text{ J/mol.K}$$
$$\hat{C}_p = (A + BT + CT^2 + DT^3) \frac{1000}{BM}, \text{ J/kg.K}$$

(B.2)

Keterangan

- $\tilde{C}_p$: panas spesifik per satuan mol (J/mol.K)
- $\hat{C}_p$: panas spesifik per satuan massa (J/kg.K)
- T : suhu rata-rata perhitungan panas spesifik (K)
- $A, B, C, \text{ dan } D$: konstanta-konstanta persamaan polinomial.

Tabel B.3. Data Penentuan Panas Spesifik Cairan dengan Metode Polinomial^[13]

Komponen	A	B	C	D
Air	9,2053E+01	-3,9953E-02	-2,1103E-04	5,3469E-07
Carbomer	-1,8242E+01	1,2106E+00	-3,1160E-03	3,1409E-06
Propylene glycol	1,1861E+02	6,7283E-01	-1,8377E-03	2,1303E-06
Asam stearat	9,9012E+01	3,5874E+00	-7,2484E-03	5,9035E-06
Cetyl alcohol	7,1293E+01	3,2851E+00	-6,9805E-03	6,0298E-06
Myristil alcohol	7,8050E+01	2,9087E+00	-6,3668E-03	5,6761E-06
Asam palmitat	8,6290E+01	3,5237E+00	-7,3217E-03	5,2101E-06
Asam askorbat	5,3397E+02	5,1304E+00	-9,5422E-03	6,4843E-06

Contoh perhitungan panas spesifik air pada suhu rata-rata $(303,15 + 298,15)/2 = 300,65$ K dengan metode polinomial adalah sebagai berikut:

$\hat{C}_p$

$= (A + BT + CT^2 + DT^3) \times 1000 / BM$

Lampiran B. Perhitungan Neraca Panas

$$\begin{aligned} &= (9,9012 \times 10^1 - 3,9953 \times 10^{-2} \times (300,65) - 2,1103 \times 10^{-4} \times (300,65)^2 + \\ &\quad 5,3469 \times 10^{-7} \times (300,65)^3) \times 10^{-4} \times 1000/18,02 \\ &= 4.194,26 \text{ J/kg.K} \end{aligned}$$

Panas spesifik cairan juga dapat diperkirakan dengan energi ikatan dengan menggunakan persamaan (B.3) sebagai berikut^[14]:

$$\begin{aligned} \tilde{C}_p &= \sum (n_i \Delta_{C_{pi}}), \text{ J/mol.K} \\ \hat{C}_p &= \sum (n_i \Delta_{C_{pi}}) \frac{1000}{\text{BM}}, \text{ J/kg.K} \end{aligned} \tag{B.3}$$

di mana Δ_{C_p} adalah nilai kontribusi ikatan, gugus fungsi, atau atom pada panas spesifik (J/mol.K).

Tabel B.4. Data Energi Ikatan^[14]

Ikatan	Δ_{C_p} pada temperatur, K			
	273,15	298,15	323,15	348,15
-CH ₃	40,00	41,60	43,50	45,80
-CH ₂ -	27,60	28,20	29,10	29,90
-CH<	23,80	24,90	25,70	26,60
>C<	8,40	8,40	8,40	8,40
-O-	29,30	29,70	30,10	30,50
-CO- (keton)	42,70	43,50	44,40	45,20
-OH	33,50	43,90	52,30	61,70
-COO- (ester)	57,70	59,00	61,10	63,20
=CH ₂	21,80	21,80	21,80	21,80
=C<	15,90	15,90	15,90	15,90
=CH-	22,18	22,18	22,18	22,18

Senyawa-senyawa yang memerlukan perhitungan panas spesifik cairan dengan estimasi berdasarkan energi ikatan ditampilkan pada Tabel B.5.

Tabel B.5. Senyawa-senyawa yang Menggunakan Estimasi Panas Spesifik Cairan berdasarkan Energi Ikatan^[15]

Komponen	Jumlah										
	-CH ₃	-CH ₂ -	-CH<	>C<	-O-	-CO-	-OH	-COO-	=CH ₂	=C<	=CH-
Carbomer	-	70	70	-	-	70	70	-	-	-	-
Isopropyl palmitate	3	14	1	-	-	-	-	1	-	-	-
PEG-40 stearate	1	18	-	-	-	-	1	1	-	-	-
Glyceryl monostearate	1	18	1	-	-	-	2	1	-	-	-
PEG-350	-	908	-	-	453	-	2	-	-	-	-
Limonene	2	3	1	-	-	-	-	-	1	2	1
Geraniol	3	3	-	-	-	-	1	-	-	2	2
Vitamin E	8	11	3	1	1	-	1	-	-	6	-
Tocopherol acetate	9	11	3	1	1	-	-	1	-	6	-

Contoh perhitungan panas spesifik isopropyl palmitate pada suhu rata-rata (303,15 + 298,15)/2 = 300,65 K dengan menggunakan interpolasi adalah sebagai berikut:

$$\hat{C}_p = \sum (n_i \Delta_{C_{pi}}) \times 1000 / BM$$
$$= [(3 \times \Delta_{C_p} -CH_3) + (14 \times \Delta_{C_p} -CH_2-) + (1 \times \Delta_{C_p} -CH<) + (1 \times \Delta_{C_p} -COO-)] \times 1000 / 298,50$$
$$= [(3 \times 41,79) + (14 \times 28,29) + (1 \times 24,98) + (1 \times 59,21)] \times 1000 / 298,50$$
$$= 2.032,28 \text{ J/kg.K}$$

B.1.3. Panas Spesifik Padatan

Panas spesifik padatan dapat dihitung dengan menggunakan dua metode, yaitu dengan metode Kopp^[16] dan polinomial^[13].

Panas spesifik padatan dapat diperkirakan dengan metode Kopp dengan menggunakan persamaan (B.4) sebagai berikut^[16]:

$$\tilde{C}_p = \sum (n_i \Delta_{Ei}), \text{ J/mol.K}$$

$$\hat{C}_p = \sum (n_i \Delta_{Ei}) \frac{1000}{BM}, \text{ J/kg.K} \tag{B.4}$$

di mana Δ_E adalah nilai kontribusi atom atau molekul pada panas spesifik (J/mol.K).

Tabel B.6. Data Estimasi Panas Spesifik Padatan dengan Metode Kopp^[16]

Komponen	Δ_E pada temperatur, K			
	283	311	339	366
Karbon (C)	9,0219	40,4522	11,6364	12,6462
Hidrogen (H ₂)	28,6640	28,7582	28,8524	28,9465
Oksigen (O ₂)	25,1074	26,8123	28,1222	29,1521
Nitrogen (N ₂)	28,3869	28,5031	28,6194	28,7356
Titanium (Ti)	16,2635	20,2600	23,3450	25,7842

Senyawa-senyawa yang memerlukan perhitungan panas spesifik padatan dengan estimasi tersebut ditampilkan pada Tabel B.7.

Tabel B.7. Senyawa-senyawa yang Menggunakan Estimasi Panas Spesifik Padatan

Komponen	Rumus Molekul	BM	Jumlah				
			C	H ₂	O ₂	N ₂	Ti
EDTA	C ₁₀ H ₁₆ O ₈ N ₂	292,24	10	8	4	1	-
PEG-40 stearate	C ₂₀ H ₄₀ O ₃	328,53	20	20	1,5	-	-
Glyceryl monostearate	C ₂₁ H ₄₂ O ₄	358,56	21	21	2	-	-
PEG-350	H(OC ₂ H ₄) _n OH	20.000,00	908	909	227,5	-	-
Titanium dioxide	TiO ₂	79,87	-	-	1	-	1
Vitamin A	C ₂₀ H ₃₀ O	286,44	20	15	0,5	-	-

Contoh perhitungan panas spesifik TiO₂ pada suhu rata-rata (303,15 + 298,15)/2 = 300,65 K dengan menggunakan interpolasi adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\hat{C}_p &= \sum (n_i \Delta_{Ei}) \times 1000 / \text{BM} \\ &= [(1 \times \Delta_E \text{ Ti}) + (1 \times \Delta_E \text{ O}_2)] \times 1000 / 79,87 \\ &= [(1 \times 18,7827) + (1 \times 26,1821)] \times 1000 / 79,87 \\ &= 562,98 \text{ J/kg.K}\end{aligned}$$

Panas spesifik padatan juga dapat dihitung dengan metode polinomial dengan menggunakan persamaan (B.5) sebagai berikut^[13]:

$$\begin{aligned}\tilde{C}_p &= A + BT + CT^2, \text{ J/mol.K} \\ \hat{C}_p &= (A + BT + CT^2) \frac{1000}{\text{BM}}, \text{ J/kg.K}\end{aligned}\tag{B.5}$$

Tabel B.8. Data Penentuan Panas Spesifik Padatan dengan Metode Polinomial^[13]

Komponen	A	B	C
Asam stearat	-1,1877E+02	1,9795E+00	0,0000E+00
Cetyl alcohol	9,6620E+01	5,8352E-01	2,0967E-03
Myristil alcohol	-9,0798E+01	1,7083E+00	0,0000E+00
Asam palmitat	1,3037E+01	1,5351E+00	1,6129E-05
Asam askorbat	-4,9562E+01	9,3250E-01	0,0000E+00

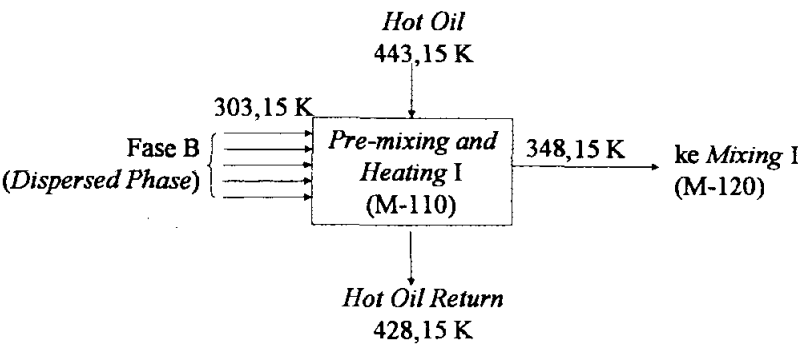
Untuk perhitungan-perhitungan selanjutnya, diperlukan beberapa data termodinamika, baik yang diperoleh dari literatur, maupun yang dihitung dengan menggunakan estimasi. Data-data termodinamika tersebut dapat dilihat pada Tabel B.9 berikut ini.

Tabel B.9. Data-data Termodinamika

Komponen	Rumus Molekul	BM	Fase	$\hat{C}_p$ (J/kg.K)	Titik leleh (K)	$\Delta\hat{H}_{fus}$ (J/kg)
Air	H ₂ O	18,02	cair	polinomial	273,15 ^[13]	-
EDTA	C ₁₀ H ₁₆ O ₈ N ₂	292,24	padat	kopp	513,15	-
Propylene Glycol	C ₃ H ₈ O ₂	76,09	cair	polinomial	213,15 ^[13]	-
Carbomer	(C ₃ H ₄ O ₂) ₇₀	5040,00	cair	ikatan	286,65	-
Mineral oil	-	-	cair	1.670 ^[17]		-
Asam stearat	C ₁₈ H ₃₆ O ₂	284,48	padat	polinomial	342,75 ^[13]	215.159 ^[13]
			cair	polinomial		
Asam palmitat	C ₁₆ H ₃₂ O ₂	335,95	padat	polinomial	335,95 ^[13]	209.458 ^[13]
			cair	polinomial		
Cetyl alcohol	C ₁₆ H ₃₄ O	242,44	padat	polinomial	322,35 ^[13]	240.797 ^[13]
			cair	polinomial		
Myristil alcohol	C ₁₄ H ₃₀ O	214,39	padat	polinomial	310,65 ^[13]	230.932 ^[13]
			cair	polinomial		
Isopropyl palmitate	C ₁₉ H ₃₈ O ₂	298,50	cair	Ikatan	284,15 ^[13]	-
Petrolatum	-	-	padat	2.937 ^[17]	329,15	146.538
			cair	2.973 ^[17]		
PEG-40 stearate	C ₂₀ H ₄₀ O ₃	328,53	padat	Kopp	330,15	222.672*
			cair	Ikatan		
Glyceryl monostearate	C ₂₁ H ₄₂ O ₄	358,56	padat	Kopp	330,15	221.222*
			cair	Ikatan		
PEG-350	H(OC ₂ H ₄) _n OH	20000,00	padat	Kopp	336,15	152.956*
			cair	Ikatan		
Limonene	C ₁₀ H ₁₆	136,23	cair	Ikatan	184,12	-
Geraniol	C ₁₀ H ₁₈ O	154,25	cair	Ikatan	258,15	-
Tocopherol	C ₂₉ H ₅₀ O ₂	430,71	cair	Ikatan	275,15	-
Tocopherol acetate	C ₃₁ H ₅₂ O ₃	472,73	cair	Ikatan	245,65	-
Titanium dioxide	TiO ₂	79,87	padat	Kopp	2128,00	-
Vitamin A	C ₂₀ H ₃₀ O	286,44	padat	Kopp	334,15	-
Vitamin C	C ₆ H ₈ O ₆	176,13	padat	Polynomial	465,15 ^[13]	-

(*) Hasil estimasi

B.2. Pre-mixing and Heating Tank I (M-110)



B.2.1. Komponen Masuk

Kapasitas panas spesifik yang dihitung pada suhu rata-rata (T_{av}) antara T_1 dan T_2 komponen masuk ke dalam *Pre-mixing and Heating Tank I* (M-110) dapat dilihat pada Tabel B.10.

Tabel B.10. Kapasitas Panas Spesifik Komponen Masuk ke M-110

Komponen	Fase	T_1 (K)	T_2 (K)	T_{av} (K)	$\hat{C}_p$ (J/kg.K)	Metode	Ref
Mineral oil	l	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	1.670,00	-	[17]
Vitamin E	l	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	2.090,07	I	[14]
Asam stearat	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	1.677,35	P	[13]
Asam palmitat	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	1.856,35	P	[13]
Cetyl alcohol	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	1.907,34	P	[13]
Myristil alcohol	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	1.972,12	P	[13]
Isopropyl palmitate	l	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	2.032,28	I	[14]
Petrolatum	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	2.931,00	-	[17]

Keterangan untuk Tabel B.10, Tabel B.12, Tabel B.15, Tabel B.17, Tabel B.21, Tabel B.24, dan Tabel B.28.

- [†] : suhu referensi (T_{ref})
- P : polinomial
- l : cair
- [‡] : suhu masuk (T_{in})
- I : energi ikatan
- f : peleburan
- [§] : suhu keluar (T_{out})
- K : kopp
- [°] : titik leleh (T_m)
- s : padu...

1. Mineral Oil

a. Mineral Oil

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 94,03\text{g} \times 1.670,00 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 785.151 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Vitamin E

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 0,47 \times 2.090,07 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 4.912 \text{ J}\end{aligned}$$

2. Asam Stearat (C₁₈H₃₆O₂)

a. Asam Stearat

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 43,60 \times 1.677,35 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 365.704 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Asam palmitat

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 2,30 \times 1.856,35 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 21.302 \text{ J}\end{aligned}$$

3. Cetyl Alcohol (C₁₆H₃₄O)

a. Cetyl Alcohol

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 43,60 \times 1.907,34 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 415.848 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Myristil Alcohol

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 2,60 \times 1.972,12 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 22.630 \text{ J}\end{aligned}$$

4. Isopropyl Palmitate ($\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$)

a. Isopropyl Palmitate

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 68,04 \times 2.032,38 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 691.382 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Asam palmitat

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 7,56 \times 1.856,35 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 70.170 \text{ J}\end{aligned}$$

5. Petrolatum

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 75,60 \text{ kg} \times 2.931,00 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 1.107.918 \text{ J}\end{aligned}$$

Rangkuman panas komponen masuk ke *Pre-mixing and Heating Tank 1* (M-110)

dapat dilihat pada Tabel B.11 berikut ini

Tabel B.11. Panas Komponen Masuk ke M-110

Komponen	Panas Masuk (J)
Mineral oil	
Mineral oil	785.151
Vitamin E	4.912
Asam stearat	
Asam stearat	365.704
Asam palmitat	21.302
Cetyl alcohol	
Cetyl alcohol	415.848
Myristil alcohol	22.630
Isopropyl palmitate	
Isopropyl palmitate	691.382
Asam palmitat	70.170
Petrolatum	1.107.918
Total	3.485.016

B.2.2. Komponen Keluar

Kapasitas panas spesifik yang dihitung pada suhu rata-rata (T_{av}) antara T_1 dan T_2 komponen keluar dari *Pre-mixing and Heating Tank I* (M-110) dapat dilihat pada Tabel B.12.

Tabel B.12. Kapasitas Panas Spesifik Komponen Keluar dari M-110

Komponen	Fase	T_1 (K)	T_2 (K)	T_{av} (K)	$\hat{C}_p$ (J/kg.K)	Metode	Ref
Mineral oil	l	298,15 [†]	348,15 [§]	323,15	1.670,00	-	[17]
Vitamin E	l	298,15 [†]	348,15 [§]	323,15	2.166,05	I	[14]
Asam stearat	s	298,15 [†]	342,75 [°]	320,45	1.815,35	P	[13]
	l	342,75 [°]	348,15 [§]	345,45	2.523,43	P	[13]
Asam palmitat	s	298,15 [†]	335,95 [°]	317,05	1.955,16	P	[13]
	l	335,95 [°]	348,15 [§]	342,05	2.509,26	P	[13]
Cetyl alcohol	s	298,15 [†]	322,35 [°]	310,25	1.981,30	P	[13]
	l	322,35 [°]	348,15 [§]	335,25	2.542,43	P	[13]
Myristil alcohol	s	298,15 [†]	310,65 [°]	304,40	2.002,00	P	[13]
	l	310,65 [°]	348,15 [§]	329,40	2.557,12	P	[13]
Isopropyl palmitate	l	298,15 [†]	348,15 [§]	323,15	2.096,31	I	[14]
Petrolatum	s	298,15 [†]	329,15 [°]	313,65	2.931,00	-	[17]
	l	329,15 [°]	348,15 [§]	338,65	2.973,00	-	[17]

1. Mineral Oil

a. Mineral Oil

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 94,03 \text{ kg} \times 1.670,00 \text{ J/kg.K} \times (348,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 7.851.505 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Vitamin E

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 0,47 \text{ kg} \times 2.166,05 \text{ J/kg.K} \times (348,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 50.902 \text{ J}\end{aligned}$$

2. Asam Stearat (C₁₈H₃₆O₂)

a. Asam Stearat

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times [\hat{C}_{pS} \times (T_m - T_{ref}) + \Delta \hat{H}_{fus} + \hat{C}_{pL} (T_{out} - T_m)] \\ &= 43,60 \times [1.815,35 \text{ J/kg.K} \times (342,75 - 298,15) \text{ K} + 215.159 \text{ J/kg} + 2.523,43 \times \\ &\quad (348,15 - 342,75)] \\ &= 13.506.665 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Asam Palmitat

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times [\hat{C}_{pS} \times (T_m - T_{ref}) + \Delta \hat{H}_{fus} + \hat{C}_{pL} (T_{out} - T_m)] \\ &= 2,30 \text{ kg} \times [1.955,16 \text{ J/kg.K} \times (335,95 - 298,15) \text{ K} + 209.458 \text{ J/kg} + 2.509,26 \\ &\quad \times (348,15 - 335,95)] \\ &= 720.575 \text{ J}\end{aligned}$$

3. Cetyl Alcohol (C₁₆H₃₄O)

a. Cetyl Alcohol

$$\Delta H = m \times [\hat{C}_{pS} \times (T_m - T_{ref}) + \Delta \hat{H}_{fus} + \hat{C}_{pL} (T_{out} - T_m)]$$

$$\begin{aligned} &= 43,60 \text{ kg} \times [1.981,30 \text{ J/kg.K} \times (322,35 - 298,15) \text{ K} + 240.797 \text{ J/kg} + \\ &\quad 2.542,43 \times (348,15 - 322,35)] \\ &= 15.450.956 \text{ J} \end{aligned}$$

b. Myristil Alcohol

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \times [\hat{C}p_S \times (T_m - T_{ref}) + \Delta\hat{H}_{fus} + \hat{C}p_L (T_{out} - T_m)] \\ &= 2,30 \text{ kg} \times [2.002,00 \text{ J/kg.K} \times (310,65 - 298,15) \text{ K} + 230.932 \text{ J/kg} + 2.557,12 \\ &\quad \times (348,15 - 310,65)] \\ &= 807.494 \text{ J} \end{aligned}$$

4. Isopropyl Palmitate ($\text{C}_{19}\text{H}_{38}\text{O}_2$)

a. Isopropyl Palmitate

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \times \hat{C}p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 68,04 \text{ kg} \times 2.096,31 \text{ J/kg.K} \times (348,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 7.131.642 \text{ J} \end{aligned}$$

b. Asam Palmitat

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \times [\hat{C}p_S \times (T_m - T_{ref}) + \Delta\hat{H}_{fus} + \hat{C}p_L (T_{out} - T_m)] \\ &= 7,56 \text{ kg} \times [1.955,16 \text{ J/kg.K} \times (335,95 - 298,15) \text{ K} + 209.458 \text{ J/kg} + 2.509,26 \\ &\quad \times (348,15 - 335,95)] \\ &= 2.373.659 \text{ J} \end{aligned}$$

5. Petrolatum

$$\begin{aligned} \Delta H &= m \times [\hat{C}p_S \times (T_m - T_{ref}) + \Delta\hat{H}_{fus} + \hat{C}p_L (T_{out} - T_m)] \\ &= 75,60 \text{ kg} \times [2.931,00 \text{ J/kg.K} \times (329,15 - 298,15) \text{ K} + 146.538 \text{ J/kg} + \\ &\quad 2.973,00 \times (348,15 - 329,15)] \\ &= 22.217.782 \text{ J} \end{aligned}$$

Rangkuman panas komponen keluar dari *Pre-mixing and Heating Tank* I dapat dilihat pada Tabel B.13 berikut ini

Tabel B.13. Panas Komponen Keluar dari M-110

Komponen	Panas Keluar (J)
Mineral oil	
Mineral oil	7.851.505
Vitamin E	50.902
Asam stearat	
Asam stearat	13.506.665
Asam palmitat	720.575
Cetyl alcohol	
Cetyl alcohol	15.450.956
Myristil alcohol	807.494
Isopropyl palmitate	
Isopropyl palmitate	7.131.642
Asam palmitat	2.373.659
Petrolatum	22.217.782
Total	70.111.180

Panas yang hilang (Q_{loss}) diasumsi sebesar 5% dari panas yang disuplai (Q_{supply}) sehingga:

$$\begin{aligned}\Delta H_{in} + Q_{supply} &= \Delta H_{out} + Q_{loss} \\ \Delta H_{in} + Q_{supply} &= \Delta H_{out} + 5\% \cdot Q_{supply} \\ 3.485.016 \text{ J} + 95\% \cdot Q_{supply} &= 70.11.180 \text{ J} \\ Q_{supply} &= 70.132.804 \text{ J}\end{aligned}$$

Jadi panas yang disuplai ke *Pre-mixing and Heating Tank* I sebesar 70.132.804 J

$$\begin{aligned}Q_{loss} &= 5\% \cdot Q_{supply} \\ Q_{loss} &= 5\% \times 70.132.804 \text{ J} \\ Q_{loss} &= 3.506.640 \text{ J}\end{aligned}$$

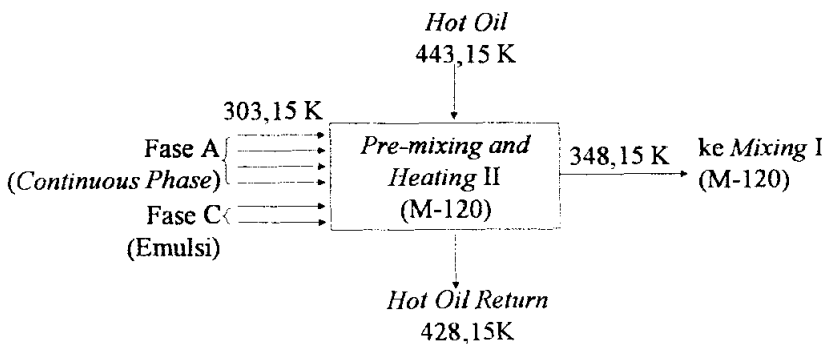
Jadi panas yang hilang dari *Pre-mixing and Heating Tank* I sebesar 3.506.640 J

Sehingga neraca panas untuk *Pre-mixing and Heating Tank I* (M-110) dapat dilihat pada Tabel B.14 berikut ini.

Tabel B.14. Neraca Panas pada *Pre-mixing and Heating I* (M-110)

<i>Pre-mixing and Heating I</i> (M-110)		
Komponen	Panas Masuk (J)	Panas Keluar (J)
	<i>Umpan Fase B</i>	<i>Ke Mixing I (M-120)</i>
Mineral oil		
Mineral oil	785.151	7.851.505
Vitamin E	4.912	50.902
Asam stearat		
Asam stearat	365.704	13.506.665
Asam palmitat	21.302	70.575
Cetyl alcohol		
Cetyl alcohol	415.848	15.450.956
Myristil alcohol	22.630	807.494
Isopropyl palmitate		
Isopropyl palmitate	691.382	7.131.642
Asam palmitat	70.170	2.373.659
Petrolatum	1.107.918	22.217.782
Panas yang disuplai	70.132.804	
Panas yang hilang		3.506.640
Total	73.617.820	73.617.820

B.3. *Pre-mixing and Heating II* (M-120)



B.3.1. Komponen Masuk

Kapasitas panas spesifik yang dihitung pada suhu rata-rata (T_{av}) antara T_1 dan T_2 komponen masuk ke dalam *Pre-mixing and Heating Tank II* (M-120) dapat dilihat pada Tabel B.15.

Tabel B.15. Kapasitas Panas Spesifik Komponen Masuk ke *Pre-mixing and Heating II (M-120)*

Komponen	Fase	T_1 (K)	T_2 (K)	T_{av} (K)	$\hat{C}_p$ (J/kg.K)	Metode	Ref
Air	l	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	4.194,26	P	[13]
EDTA	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	1.582,91	K	[16]
Propylene glycol	l	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	2.798,46	P	[13]
Carbomer	l	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	1.966,67	I	[14]
PEG-40 stearate	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	2.476,25	K	[16]
PEG-350	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	2.054,44	K	[16]
Glyceryl monostearate	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	2.413,27	K	[16]

1. Air (H₂O)

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 2.071,17 \text{ kg} \times 4.194,26 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 43.435.145 \text{ J}\end{aligned}$$

2. EDTA (C₁₀H₁₆O₈N₂)

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 1,08 \text{ kg} \times 1.582,91 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 8.548 \text{ J}\end{aligned}$$

3. Propylene Glycol (C₃H₈O₂)

a. Propylene glycol

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 107,46 \text{ kg} \times 2.798,46 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 1.503.610 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Air

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 0,54 \text{ kg} \times 4.194.26 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K}\end{aligned}$$

$$= 11.325 \text{ J}$$

4. Carbomer (C₃H₄O₂)

a. Carbomer

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times Cp \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 25,65 \text{ kg} \times 1.966,67 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 252.225 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Air

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{Cp} \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 1,35 \text{ kg} \times 4.194,26 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 28.311 \text{ J}\end{aligned}$$

5. PEG-40 Stearate (C₂₀H₄₀O₃)

a. PEG-40 stearate

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{Cp} \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 38,88 \text{ kg} \times 2.476,25 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 481.384 \text{ J}\end{aligned}$$

b. PEG-350

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{Cp} \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 4,32 \text{ kg} \times 2.054,44 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 44.376 \text{ J}\end{aligned}$$

6. Glyceryl Monostearate (C₂₁H₄₂O₄)

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{Cp} \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 94,50 \text{ kg} \times 2.413,27 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 1.140.268 \text{ J}\end{aligned}$$

Rangkuman panas komponen masuk ke *Pre-mixing and Heating Tank II* (M-120) dapat dilihat pada Tabel B.16 berikut ini

Tabel B.16. Panas Komponen Masuk ke M-120

Komponen	Panas Masuk (J)
Air	43.435.145
EDTA	8.548
Propylene glycol	
Propylene glycol	1.503.610
Air	11.325
Carbomer	
Carbomer	252.225
Air	28.311
PEG-40 stearate	
PEG-40 stearate	481.384
PEG-350	44.376
Glyceryl monostearate	1.140.268
Total	46.905.192

B.3.2. Komponen Keluar

Kapasitas panas spesifik yang dihitung pada suhu rata-rata (T_{av}) antara T_1 dan T_2 komponen keluar dari *Pre-mixing and Heating Tank II* (M-120) dapat dilihat pada Tabel B.17.

Tabel B.17. Kapasitas Panas Spesifik Komponen Keluar dari M-120

Komponen	Fase	T_1 (K)	T_2 (K)	T_{av} (K)	$\hat{C}_p$ (J/kg.K)	Metode	Ref
Air	l	298,15 [†]	348,15 [§]	323,15	4174,91	P	[13]
EDTA	s	298,15 [†]	348,15 [§]	323,15	1637,43	K	[16]
Propylene glycol	l	298,15 [†]	348,15 [§]	323,15	2842,41	P	[13]
Carbomer	l	298,15 [†]	348,15 [§]	323,15	2104,17	I	[14]
PEG-40 stearate	s	298,15 [†]	330,15 [°]	314,15	2522,94	K	[16]
	l	330,15 [°]	348,15 [§]	339,15	2131,11	I	[14]
PEG-350	s	298,15 [†]	336,15 [°]	317,15	2095,41	K	[16]
	l	336,15 [°]	348,15 [§]	342,15	2047,33	I	[14]
Glyceryl monostearate	s	298,15 [†]	330,15 [°]	314,15	2459,10	K	[16]
	l	330,15 [°]	348,15 [§]	339,15	2186,85	I	[14]

1. **Air (H₂O)**

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 2.071,17 \text{ kg} \times 4.174,91 \text{ J/kg.K} \times (348,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 432.347.684 \text{ J}\end{aligned}$$

2. **EDTA (C₁₀H₁₆O₈N₂)**

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 1,08 \text{ kg} \times 1.637,43 \text{ J/kg.K} \times (348,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 88.421 \text{ J}\end{aligned}$$

3. **Propylene Glycol (C₃H₈O₂)**

a. Propylene glycol

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 107,46 \text{ kg} \times 2.842,41 \text{ J/kg.K} \times (348,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 15.272.256 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Air

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 0,54 \text{ kg} \times 4.174,91 \text{ J/kg.K} \times (348,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 112.723 \text{ J}\end{aligned}$$

4. **Carbomer (C₃H₄O₂)**

a. Carbomer

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 25,65 \text{ kg} \times 2.104,17 \text{ J/kg.K} \times (348,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 2.698.594 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Air

$$\Delta H = m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref})$$

$$= 1,35 \text{ kg} \times 4.174,91 \text{ J/kg.K} \times (348,15 - 298,15) \text{ K}$$

$$= 281.807 \text{ J}$$

5. PEG-40 Stearate (C₂₀H₄₀O₃)

a. PEG-40 stearate

$$\Delta H = m \times [\hat{C}p_S \times (T_m - T_{ref}) + \Delta\hat{H}_{fus} + \hat{C}p_L (T_{out} - T_m)]$$

$$= 38,88 \text{ kg} \times [2.522,94 \text{ J/kg.K} \times (330,15 - 298,15) \text{ K} + 222.672 \text{ J/kg} +$$

$$2.131,11 \times (348,15 - 330,15)]$$

$$= 13.287.863 \text{ J}$$

b. PEG-350

$$\Delta H = m \times [\hat{C}p_S \times (T_m - T_{ref}) + \Delta\hat{H}_{fus} + \hat{C}p_L (T_{out} - T_m)]$$

$$= 4,32 \text{ kg} \times [2.095,41 \text{ J/kg.K} \times (336,15 - 298,15) \text{ K} + 152.956 \text{ J/kg} + 2.047,33$$

$$\times (348,15 - 336,15)]$$

$$= 1.110.887 \text{ J}$$

6. Glyceryl Monostearate (C₂₁H₄₂O₄)

$$\Delta H = m \times [\hat{C}p_S \times (T_m - T_{ref}) + \Delta\hat{H}_{fus} + \hat{C}p_L (T_{out} - T_m)]$$

$$= 94,50 \text{ kg} \times [2.459,10 \text{ J/kg.K} \times (330,15 - 298,15) \text{ K} + 221.222 \text{ J/kg} +$$

$$2.186,85 \times (348,15 - 330,15)]$$

$$= 32.061.629 \text{ J}$$

Rangkuman panas komponen keluar dari *Pre-mixing and Heating II* (M-120) dapat dilihat pada Tabel B.18 berikut ini.

Tabel B.18. Panas Komponen Keluar dari *Pre-mixing and Heating* II (M-120)

Komponen	Panas Keluar (J)
Air	432.347.684
EDTA	88.421
Propylene glycol	
Propylene glycol	15.272.256
Air	11.723
Carbomer	
Carbomer	2.698.594
Air	281.807
PEG-40 stearate	
PEG-40 stearate	13.287.863
PEG-350	1.110.887
Glyceryl monostearate	32.061.629
Total	497.261.862

Panas yang hilang (Q_{loss}) diasumsi sebesar 5% dari panas yang disuplai (Q_{supply}) sehingga:

$$\Delta H_{\text{in}} + Q_{\text{supply}} = \Delta H_{\text{out}} + Q_{\text{loss}}$$

$$\Delta H_{\text{in}} + Q_{\text{supply}} = \Delta H_{\text{out}} + 5\% \cdot Q_{\text{supply}}$$

$$46.905.192 \text{ J} + 95\% \cdot Q_{\text{supply}} = 497.261.862 \text{ J}$$

$$Q_{\text{supply}} = 474.059.653 \text{ J}$$

Jadi panas yang disuplai ke *Pre-mixing and Heating Tank* II sebesar 474.059.653 J

$$Q_{\text{loss}} = 5\% \cdot Q_{\text{supply}}$$

$$Q_{\text{loss}} = 5\% \times 474.059.653 \text{ J}$$

$$Q_{\text{loss}} = 23.702.983 \text{ J}$$

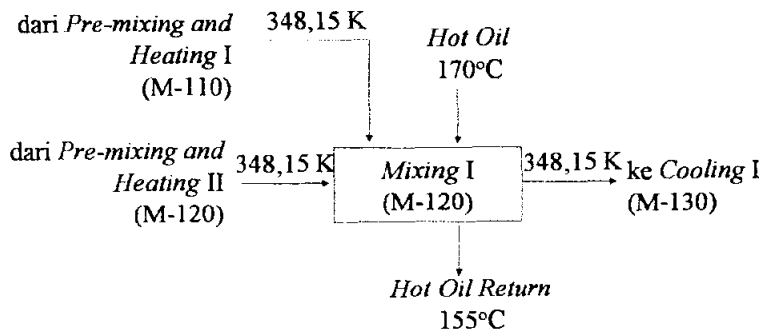
Jadi panas yang hilang dari *Pre-mixing and Heating Tank* II sebesar 23.702.983 J

Sehingga neraca panas untuk *Pre-mixing and Heating Tank* II (M-120) dapat dilihat pada Tabel B.19 berikut ini.

Tabel B.19. Neraca Panas pada *Pre-mixing and Heating II* (M-120)

<i>Pre-mixing and Heating II</i> (M-120)		
Komponen	Panas Masuk (J)	Panas Keluar (J)
	<i>Umpan Fase A</i>	<i>Ke M-130</i>
Air	43.345.145	432.347.684
EDTA	8.548	88.421
Propylene glycol		
Propylene glycol	1.503.610	15.272.256
Air	11.325	11.723
Carbomer		
Carbomer	252.225	2.698.594
Air	28.311	281.807
	<i>Umpan Fase C</i>	
PEG-40 stearate		
PEG-40 stearate	481.384	13.287.863
PEG-350	44.376	1.110.887
Glyceryl monostearate	1.140.268	32.061.629
Panas yang disuplai	474.059.653	
Panas yang hilang		23.702.983
Total	520.964.845	520.964.845

B.4. *Mixing I* (M-120)



Pada proses ini hanya terjadi pencampuran antara fase A dan C dari M-120 dengan fase B dari M-110 pada suhu 75°C (348,15 K). Oleh karena itu panas komponen masuk akan sama dengan panas komponen keluar. Dengan demikian, neraca panas untuk proses pencampuran ini dapat dibuat dengan mengacu pada Tabel B.13 dan Tabel B.18.

Perhitungan panas untuk menjaga suhu pencampuran pada 75°C (348,15 K)

Dari Lampiran C diperoleh data-data sebagai berikut:

Tinggi cairan total $H_L = 6,61 \text{ ft} = 2,01 \text{ m}$

Diameter dalam tangki $D_i = 1,10 \text{ m}$

Diameter luar tangki $D_o = 1,10 \text{ m} + 2 \times 3 \text{ mm} \times 0,001 \text{ m/mm} = 1,106 \text{ m}$

Diameter dalam nozzle $D_{ni} = 0,10 \text{ m}$

Diameter luar nozzle $D_{no} = 0,10 \text{ m} + 2 \times 1 \text{ mm} \times 0,003 \text{ m/mm} = 0,106 \text{ m}$

Koefisien perpindahan panas lotion $h_i = 3.297,83 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$

$s = 1,102 \text{ m}$

$a = 0,102 \text{ m}$

Konduktivitas termal stainless steel $k_m = 16,3 \text{ W/m.K}$

[18], App. A.3-16

$$\begin{aligned} A_i &= \pi D_i H_{L,shell} + \pi \frac{D_i}{2} s - \pi \frac{D_{ni}}{2} a \\ &= \pi \times 1,10 \text{ m} \times 1,15 \text{ m} + \pi \frac{1,10 \text{ m}}{2} \times 1,10 \text{ m} - \pi \times \frac{0,10 \text{ m}}{2} \times 0,10 \text{ m} \\ &= 5,88 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_o &= \pi D_o H_{L,shell} + \pi \frac{D_o}{2} s - \pi \frac{D_{no}}{2} a \\ &= \pi \times 1,106 \text{ m} \times 1,15 \text{ m} + \pi \frac{1,106 \text{ m}}{2} \times 1,10 \text{ m} - \pi \times \frac{0,106 \text{ m}}{2} \times 0,10 \text{ m} \\ &= 5,89 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Menghitung h_o , untuk menjaga suhu pencampuran pada 75°C

$$T_f = \frac{T_{lingkungan} + T_{dinding \text{ luar}}}{2} = \frac{30^\circ\text{C} + 75^\circ\text{C}}{2} = 52,5^\circ\text{C} = 325,65 \text{ K}$$

Pada suhu 325,65 K, $g.\beta.\rho^2/\mu^2 = 0,9382 \times 10^8 \text{ 1/m.K}$

[18], App. A.3

$k_{udara} = 0,0282 \text{ W/m.K}$

[18], App. A.3

$$N_{Gr} = H_L^3 \frac{g\beta\rho^2}{\mu^2} (T_{\text{dinding luar}} - T_{\text{lingkungan}})$$

$$= (2,01 \text{ m})^3 \times 0,9382 \times 10^8 \text{ 1/m}^3 \cdot \text{K} \times (348,15 - 303,15) \text{ K}$$

$$= 3,4284 \times 10^{10}$$

$$N_{Pr} = 0,7034 \quad [18], \text{ App. A.3}$$

$$N_{Gr} \cdot N_{Pr} = 3,4284 \times 10^{10} \times 0,7034 = 2,4116 \times 10^{10}$$

$$\text{Untuk } N_{Gr} \cdot N_{Pr} > 10^9, \alpha = 0,13 \text{ dan } m = 1/3 \quad [18], \text{ Tabel 4.7-1}$$

$$\frac{h_o \cdot H_L}{k_{\text{udara}}} = a(N_{Gr} \cdot N_{Pr})^m \quad [18], \text{ Eq 4.7-4}$$

$$h_o = \frac{0,0282 \text{ W/m.K}}{2,01 \text{ m}} \times 0,13 \times (2,4116 \times 10^{10})^{1/3}$$

$$h_o = \frac{0,0282 \text{ W/m.K}}{2,06 \text{ m}} \times 0,13 \times (2,5960 \times 10^{10})^{1/3} = 5,27 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Menghitung U untuk menjaga suhu pencampuran pada 75°C

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_i (A_i / A_o)} + \frac{2,3 D_o}{2 k_m} \log \frac{D_o}{D_i} + \frac{1}{h_o} \quad [19], \text{ Eq. 5.2}$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{3.297,83 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} (5,88 \text{ m}^2 / 5,89 \text{ m}^2)} + \frac{2,3 \times 1,106 \text{ m}}{2 \times 16,3 \text{ W/m.K}} \log \frac{1,106 \text{ m}}{1,10 \text{ m}} + \frac{1}{5,27 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}}$$

$$U = 5,26 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Sehingga, untuk menjaga suhu pencampuran pada 75°C, diperlukan panas sebesar

$$Q = U \times A_o \times \text{LMTD}$$

Karena suhu lotion maupun suhu lingkungan keduanya konstan, maka LMTD dapat dihitung sebagai $T_{\text{dinding luar}} - T_{\text{lingkungan}}$, dan karena konduktivitas termal dinding tangki yang cukup besar, maka suhu dinding luar tangki dapat dianggap sama dengan suhu lotion, yaitu 348,15 K.

$$\begin{aligned}Q_{\text{loss}} &= U \times A_o \times (T_{\text{dinding luar}} - T_{\text{lingkungan}}) \\&= 5,26 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 5,89 \text{ m}^2 \times (348,15 \text{ K} - 303,15 \text{ K}) \\&= 1.394,16 \text{ W} = 1.394,16 \text{ J/s}\end{aligned}$$

Untuk proses pencampuran I selama 30 menit (1.800 s), diperlukan panas sebanyak:

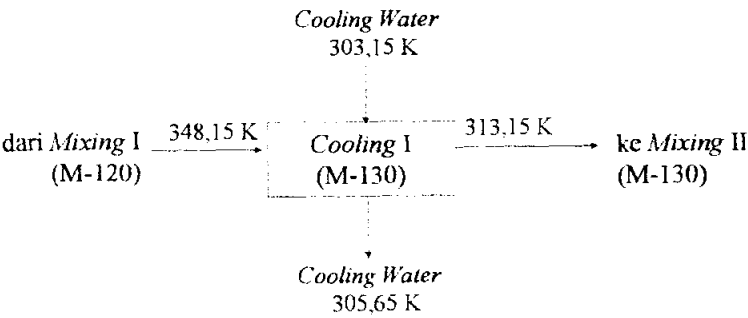
$$Q_{\text{loss}} = 2 \text{ batch/hari} \times 1.394,16 \text{ J/s} \times 1.800 \text{ s/batch} = 5.018.987 \text{ J/hari}$$

Jadi, untuk menjaga suhu pencampuran pada 75°C, diperlukan suplai panas sebesar 5.018.987 J/hari, sehingga, neraca panas untuk proses pencampuran I ini dapat dilihat pada Tabel B.20.

Tabel B.20. Neraca Panas *Mixing* I (M-120)

<i>Mixing</i> I (M-120)		
Komponen	Panas Masuk (J)	Panas Keluar (J)
	<i>Dari Pre-mixing and Heating II (M-120)</i>	<i>Ke Cooling I (M-130)</i>
Air	432.347.684	432.347.684
EDTA	88.421	88.421
Propylene glycol		
Propylene glycol	15.272.256	15.272.256
Air	11.723	11.723
Carbomer		
Carbomer	2.698.594	2.698.594
Air	281.807	281.807
PEG-40 stearate		
PEG-40 stearate	13.287.863	13.287.863
PEG-350	1.110.887	1.110.887
Glyceryl monostearate	32.061.629	32.061.629
	<i>Dari M-110</i>	
Mineral oil		
Mineral oil	7.851.505	7.851.505
Vitamin E	50.902	50.902
Asam stearat		
Asam stearat	13.506.665	13.506.665
Asam palmitat	720.575	720.575
Cetyl alcohol		
Cetyl alcohol	15.450.956	15.450.956
Myristil alcohol	807.494	807.494
Isopropyl palmitate		
Isopropyl palmitate	7.131.642	7.131.642
Asam palmitat	2.373.659	2.373.659
Petrolatum	22.217.782	22.217.782
Panas yang disuplai	5.018.987	
Panas yang hilang		5.018.987
Total	572.509.599	572.509.599

B.5. Pendinginan I pada *Mixing and Cooling Tank* (M-130)



B.5.1. Komponen Masuk

Panas masuk untuk proses pendinginan I ini akan sama dengan panas keluar dari proses pencampuran I (Tabel B.20).

B.5.2. Komponen Keluar

Kapasitas panas spesifik yang dihitung pada suhu rata-rata (T_{av}) antara T_1 dan T_2 komponen keluar dari proses pendinginan I pada *Mixing and Cooling Tank* (M-130) dapat dilihat pada Tabel B.21.

Tabel B.21. Kapasitas Panas Spesifik Komponen Keluar dari Pendinginan I pada M-130

Komponen	Fase	T_1 (K)	T_2 (K)	T_{av} (K)	$\hat{C}_p$ (J/kg.K)	Metode	Ref
Air	l	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	4.188,57	P	[13]
EDTA	s	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	1.596,36	K	[16]
Propylene glycol	l	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	2.808,06	P	[13]
Carbomer	l	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	1.997,22	I	[14]
PEG-40 stearate	s	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	2.494,24	K	[16]
PEG-350	s	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	2.070,27	K	[16]
Glyceryl monostearate	s	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	2.430,93	K	[16]
Mineral oil	l	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	1.670,00	-	[17]
Vitamin E	l	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	2.106,95	I	[14]
Asam stearat	s	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	1.712,20	P	[13]
Asam palmitat	s	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	1.886,47	P	[13]
Cetyl alcohol	s	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	1.945,66	P	[13]
Myristil alcohol	s	298,15 [†]	310,65 [‡]	304,40	2.002,00	P	[13]
	l	310,65 [‡]	313,15 [§]	311,90	2.510,03	P	[13]
Isopropyl palmitate	l	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	2.046,51	I	[14]
Petrolatum	s	298,15 [†]	313,15 [§]	305,65	2.931,00	-	[17]

1. Air (H₂O)

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 2.071,17 \text{ kg} \times 4.188,57 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 130.128.668 \text{ J}\end{aligned}$$

2. EDTA (C₁₀H₁₆O₈N₂)

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 1,08 \text{ kg} \times 1.596,36 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 25,861 \text{ J}\end{aligned}$$

3. Propylene Glycol (C₃H₈O₂)

a. Propylene Glycol

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 107,46 \text{ kg} \times 2.808,06 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 4.526.310 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Air

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 0,54 \text{ kg} \times 4.188,57 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 33.927 \text{ J}\end{aligned}$$

4. Carbomer (C₃H₄O₂)

a. Carbomer

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 25,65 \text{ kg} \times 1.997,22 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 768.431 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Air

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 1,35 \text{ kg} \times 4.188,57 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 84.819 \text{ J}\end{aligned}$$

5. PEG-40 Stearate (C₂₀H₄₀O₃)

a. PEG-40 Stearate

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 38,88 \text{ kg} \times 2.494,24 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 1.454.643 \text{ J}\end{aligned}$$

b. PEG-350

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 4,32 \text{ kg} \times 2.070,27 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 134.153 \text{ J}\end{aligned}$$

6. Glyceryl Monostearate (C₂₁H₄₂O₄)

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 94,50 \text{ kg} \times 2.430,93 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 3.445.848 \text{ J}\end{aligned}$$

7. Mineral Oil

a. Mineral Oil

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 94,03 \text{ kg} \times 1.670,00 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 2.355.452 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Vitamin E

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 0,47 \text{ kg} \times 2.106,95 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 14.854 \text{ J}\end{aligned}$$

8. Asam Stearat (C₁₈H₃₆O₂)

a. Asam Stearat

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 43,60 \text{ kg} \times 1.712,20 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 1.119.906 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Asam Palmitat

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 2,30 \text{ kg} \times 1.886,47 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 64.942 \text{ J}\end{aligned}$$

9. Cetyl Alcohol (C₁₆H₃₄O)

a. Cetyl Alcohol

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 43,60 \text{ kg} \times 1.945,66 \text{ J/kg.K} \times (313,35 - 298,15) \text{ K} \\ &= 1.272.610 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Myristil Alcohol

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times [\hat{C}_{pS} \times (T_m - T_{ref}) + \Delta\hat{H}_{fus} + \hat{C}_{pL} (T_{out} - T_m)] \\ &= 2,30 \text{ kg} \times [2.002,00 \text{ J/kg.K} \times (310,65 - 298,15) \text{ K} + 230.932 \text{ J/kg} + 2.510,03 \\ &\quad \times (313,15 - 310,65)] \\ &= 601.823 \text{ J}\end{aligned}$$

10. Isopropyl Palmitate (C₁₉H₃₈O₂)

a. Isopropyl Palmitate

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref}) \\ &= 68,04 \text{ kg} \times 2.046,51 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 2.088.668 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Asam Palmitat

$$\Delta H = m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref})$$
$$= 7,56 \text{ kg} \times 1.886,47 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K}$$
$$= 213.926 \text{ J}$$

11. Petrolatum

$$\Delta H = m \times \hat{C}_p \times (T_{out} - T_{ref})$$
$$= 75,60 \text{ kg} \times 2.931,00 \text{ J/kg.K} \times (313,15 - 298,15) \text{ K}$$
$$= 3.323.754 \text{ J}$$

Rangkuman panas komponen keluar dari pendinginan I pada M-130 dapat dilihat pada Tabel B.22 berikut ini.

Tabel B.22. Panas Komponen Keluar dari Pendinginan I pada M-130

Komponen	Panas Keluar (J)
Air	130.128.668
EDTA	25.861
Propylene glycol	
Propylene glycol	4.526.310
Air	33.927
Carbomer	
Carbomer	768.431
Air	84.819
PEG-40 stearate	
PEG-40 stearate	1.454.643
PEG-350	134.153
Glyceryl monostearate	3.445.848
Mineral oil	
Mineral oil	2.355.452
Vitamin E	14.854
Asam stearat	
Asam stearat	1.119.906
Asam palmitat	64.942
Cetyl alcohol	
Cetyl alcohol	1.272.610
Myristil alcohol	601.823
Isopropyl palmitate	
Isopropyl palmitate	2.088.668
Asam palmitat	213.926
Petrolatum	3.323.754
Total	151.658.594

Panas yang hilang (Q_{loss}) selama proses pendinginan I pada M-130 dapat dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{in}} &= \Delta H_{\text{out}} + Q_{\text{pendingin}} \\ 567.373.042 \text{ J} &= 151.658.594 \text{ J} + Q_{\text{pendingin}} \\ Q_{\text{pendingin}} &= 415.714.448 \text{ J}\end{aligned}$$

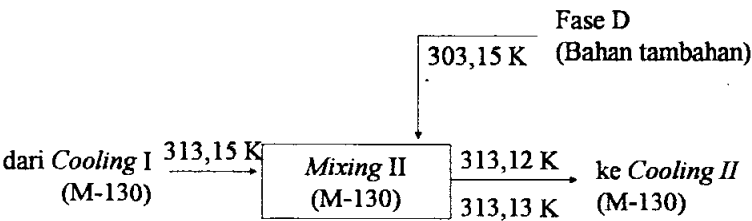
Jadi panas yang hilang dari M-130 selama proses pendinginan I adalah 415.714.448 J. Sehingga neraca panas untuk *Mixing and Cooling Tank* I pada proses pendinginan fase A, B, dan C dapat dilihat pada Tabel B.23 berikut ini.

Tabel B.23. Neraca Panas Pendinginan I pada *Mixing and Cooling Tank* (M-130)

Pendinginan I pada <i>Mixing and Cooling Tank</i> (M-130)		
Komponen	Panas Masuk (J)	Panas Keluar (J)
	Dari	Ke
	<i>Pencampuran I</i>	<i>Pencampuran II</i>
	<i>pada M-130</i>	<i>pada M-130</i>
Air	432.347.684	130.128.668
EDTA	88.421	25.861
Propylene glycol		
Propylene glycol	15.272.256	4.526.310
Air	11.723	33.927
Carbomer		
Carbomer	2.698.594	768.431
Air	281.807	84.819
PEG-40 stearate		
PEG-40 stearate	13.287.863	1.454.643
PEG-350	1.110.887	134.153
Glyceryl monostearate	32.061.629	3.445.848
Mineral oil		
Mineral oil	7.851.505	2.355.452
Vitamin E	50.902	14.854
Asam stearat		
Asam stearat	13.506.665	1.119.906
Asam palmitat	720.575	64.942
Cetyl alcohol		
Cetyl alcohol	15.450.956	1.272.610
Myristil alcohol	807.494	601.823
Isopropyl palmitate		
Isopropyl palmitate	7.131.642	2.088.668
Asam palmitat	2.373.659	213.926
Petrolatum	22.217.782	3.323.754

Panas yang dilepas		415.714.448
Total	563.373.042	563.373.042

B.6. Pencampuran II pada *Mixing and Cooling Tank (M-130)*



Suhu liquid pada pencampuran II ini akan mengalami sedikit penurunan karena adanya beberapa bahan fase D yang masuk pada suhu 303,15 K sehingga suhu campuran dapat dihitung sebagai berikut:

$Q_{lepas} = Q_{terima}$

$\sum (m_i \times Cp_i) \times (313,15 - T) = \sum (m_i \times Cp_i) \times (T - 303,15)$

Bahan-bahan yang melepas panas terdiri dari bahan-bahan fase A, B, dan C. Sedangkan bahan-bahan yang menerima panas terdiri dari bahan-bahan fase D. Dari perhitungan diperoleh suhu campuran keluar adalah sekitar 313,13 K untuk varian I dan 313,12 K untuk varian II (hampir tidak ada penurunan dari 313,15 K).

Panas masuk untuk proses pendinginan I ini akan sama dengan panas keluar dari proses pendinginan I (Tabel B.22) ditambah dengan panas komponen fase D masuk pada proses pencampuran II ini. Komponen keluar menuju *filling machine (X-140)*.

B.6.1. Komponen Masuk

Tabel B.24. Kapasitas Panas Spesifik Fase D Masuk ke Pencampuran II pada M-130

Komponen	Fase	T ₁ (K)	T ₂ (K)	T _{av} (K)	$\hat{C}_p$ (J/kg.K)	Mctode	Ref
Limonene	1	298,15 ⁺	303,15 ⁺	300,65	1.989,93	1	[14]
Geraniol	1	298,15 ⁺	303,15 ⁺	300,65	2.172,08	1	[14]
Tocopherol acetate	1	298,15 ⁺	303,15 ⁺	300,65	2.036,80	1	[14]

Vitamin E	l	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	2.106,95	I	[14]
Titanium dioxide	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	575,72	K	[16]
Vitamin A	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	2.265,47	K	[16]
Vitamin C	s	298,15 [†]	303,15 [‡]	300,65	1.337,82	P	[13]

1. **Parfum**

a. Limonene

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 3,85 \text{ kg} \times 1.989,93 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 38.306 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Geraniol

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 0,20 \text{ kg} \times 2.172,08 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 2.172 \text{ J}\end{aligned}$$

2. **Tocopherol Acetate (C₃₁H₅₂O₃)**

a. Tocopherol acetate

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 5,24 \text{ kg} \times 2.036,80 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 53.364 \text{ J}\end{aligned}$$

b. Vitamin E

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 0,16 \text{ kg} \times 2.106,95 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 1.686 \text{ J}\end{aligned}$$

3. **Titanium Dioxide (TiO₂)**

$$\begin{aligned}\Delta H &= m \times \hat{C}_p \times (T_{in} - T_{ref}) \\ &= 8,10 \text{ kg} \times 575,72 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K} \\ &= 23.317 \text{ J}\end{aligned}$$

4. Vitamin A (C₂₀H₃₀O)

$$\Delta H = m \times \hat{C}p \times (T_{in} - T_{ref})$$
$$= 4,05 \text{ kg} \times 2.265,47 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K}$$
$$= 45.876 \text{ J}$$

5. Vitamin C (C₆H₈O₆)

$$\Delta H = m \times \hat{C}p \times (T_{in} - T_{ref})$$
$$= 4,05 \text{ kg} \times 1.337,82 \text{ J/kg.K} \times (303,15 - 298,15) \text{ K}$$
$$= 27.091 \text{ J}$$

B.6.2. Komponen Keluar

Tabel B.25. Kapasitas Panas Spesifik Komponen Keluar dari Pencampuran II pada M-130

Komponen	Fase	T ₁ (K)	T ₂ (K)	T _{av} (K)	$\hat{C}p$ (J/kg.K)	Metode	Ref
Air	l	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	4.188,57	P	[13]
EDTA	s	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	1.596,36	K	[16]
Propylene glycol	l	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	2.808,06	P	[13]
Carbomer	l	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	1.997,22	I	[14]
PEG-40 stearate	s	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	2.494,24	K	[16]
PEG-350	s	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	2.070,27	K	[16]
Glyceryl monostearate	s	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	2.430,93	K	[16]
Mineral oil	l	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	1.670,00	-	[17]
Vitamin E	l	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	2.106,95	I	[14]
Asam stearat	s	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	1.712,20	P	[13]
Asam palmitat	s	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	1.886,47	P	[13]
Cetyl alcohol	s	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	1.945,66	P	[13]
Myristil alcohol	s	298,15 [†]	310,65 [◊]	304,40	2.002,00	P	[13]
	l	310,65 [◊]	313,12 [§]	311,89	2.510,03	P	[13]
Isopropyl palmitate	l	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	2.046,51	I	[14]
Petrolatum	s	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	2.931,00	-	[17]
Limonene	l	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	1.989,93	I	[14]
Geraniol	l	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	2.172,08	I	[14]
Tocopherol acetate	l	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	2.036,80	I	[14]
Vitamin E	l	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	2.106,95	I	[14]
Titanium dioxide	s	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	575,72	K	[16]

Lampiran B. Perhitungan Neraca Panas

Vitamin A	s	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	2.265,47	K	[16]
Vitamin C	s	298,15 [†]	313,12 [§]	305,64	1.337,82	P	[13]

Neraca panas untuk proses pencampuran II ini dapat dilihat pada Tabel B.26 dan Tabel B.27, masing-masing untuk varian I dan varian II.

Tabel B.26. Neraca Panas Pencampuran II pada *Mixing and Cooling Tank* (M-130) untuk Varian I

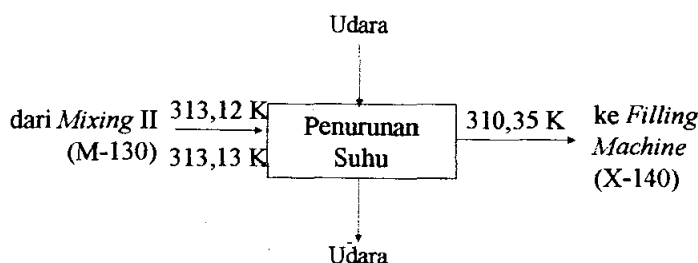
Pencampuran II pada <i>Mixing and Cooling Tank</i> (M-130) untuk Varian I		
Komponen	Panas Masuk (J)	Panas Keluar (J)
	<i>Dari</i>	<i>Ke</i>
	<i>Pendinginan I</i>	<i>Pendinginan II</i>
	<i>pada M-130</i>	<i>pada pipa</i>
Air	130.128.668	129.924.508
EDTA	25.861	25.820
Propylene glycol		
Propylene glycol	4.526.310	4.519.209
Air	33.927	33.874
Carbomer		
Carbomer	768.431	767.225
Air	84.819	84.686
PEG-40 stearate		
PEG-40 stearate	1.454.643	1.450.948
PEG-350	134.153	134.130
Glyceryl monostearate	3.445.848	3.444.091
Mineral oil		
Mineral oil	2.355.452	2.355.350
Vitamin E	14.854	12.857
Asam stearat		
Asam stearat	1.119.906	1.119.770
Asam palmitat	64.942	61.665
Cetyl alcohol		
Cetyl alcohol	1.272.610	1.272.274
Myristil alcohol	601.823	596.608
Isopropyl palmitate		
Isopropyl palmitate	2.088.668	2.086.386
Asam palmitat	213.926	213.716
Petrolatum	3.323.754	3.318.348
	<i>Umpan Fase D1</i>	
Parfum		
Limonene	38.306	114.738
Geraniol	2.172	6.506
Tocopherol acetate		
Tocopherol acetate	53.364	159.841
Vitamin E	1.686	5.049

Titanium dioxide	23.317	69.841
Total	151.777.440	151.777.40

Tabel B.27. Neraca Panas Pencampuran II pada *Mixing and Cooling Tank* (M-130) untuk Varian II

Pencampuran II pada <i>Mixing and Cooling Tank</i> (M-130) untuk Varian II		
Komponen	Panas Masuk (J)	Panas Keluar (J)
	<i>Dari Pendinginan I pada M-130</i>	<i>Ke Pendinginan II pada M-130</i>
Air	130.128.668	129.839.500
EDTA	25.861	25.804
Propylene glycol		
Propylene glycol	4.526.310	4,516,252
Air	33.927	33,852
Carbomer		
Carbomer	768.431	766,723
Air	84.819	84,631
PEG-40 stearate		
PEG-40 stearate	1.454.643	1,449,409
PEG-350	134.153	134,120
Glyceryl monostearate	3.445.848	3.443.359
Mineral oil		
Mineral oil	2.355.452	2,355,308
Vitamin E	14.854	12,026
Asam stearat		
Asam stearat	1.119.906	1,119,714
Asam palmitat	64.942	60,301
Cetyl alcohol		
Cetyl alcohol	1.272.610	1,272,135
Myristil alcohol	601.823	594,437
Isopropyl palmitate		
Isopropyl palmitate	2.088.668	2,085,436
Asam palmitat	213.926	213,628
Petrolatum	3.323.754	3.316.097
	<i>Umpan Fase D1</i>	
Parfum		
Limonene	114.918	114,663
Geraniol	6.516	6,502
Tocopherol acetate		
Tocopherol acetate	160.093	159,737
Vitamin E	5.057	5,046
Vitamin A	137.627	91,583
Vitamin C	81.273	54,082
Total	151.754.342	151.754.342

B.7. Penurunan Suhu pada Pipa antara M-130 dan X-140



B.7.1. Komponen Masuk

Panas masuk ke pipa ini akan sama dengan panas keluar dari proses pencampuran II (Tabel B.26 dan Tabel B.27).

B.7.2. Komponen Keluar

Produk akan keluar dari pipa pada suhu 37,2°C (310,35 K) sesuai dengan perhitungan berikut ini. Dari tangki M-130, lotion dialirkan melalui pipa sepanjang 10 m dengan menggunakan pompa L-131. Penurunan suhu di sepanjang pipa dapat dihitung dengan prinsip konduksi *unsteady state* sebagai berikut.

Diameter pipa 4 in, D = 0,1023 m [18], App. A.5-1

Panjang pipa, L = 10,0 m [Lampiran C]

Konduktivitas termal lotion, k = 0,7955 W/m.K [Lampiran C]

Kapasitas panas lotion = $\sum (x_i C_{p_i})$ = 3.757 J/kg.K

Viskositas lotion = 30 Pa.s [Lampiran C]

Laju alir lotion:

$$\begin{aligned}
 v &= \frac{m}{\rho \times \theta} \times \frac{1}{\frac{1}{4} \pi D^2} \\
 &= \frac{1.350 \text{ kg}}{982,83 \text{ kg/m}^3 \times 1800 \text{ s}} \times \frac{1}{\frac{1}{4} \times \pi \times (0,1023 \text{ m})^2} \\
 &= 0,0928 \text{ m/s}
 \end{aligned}$$

$$N_{\text{Re}} = \frac{Dv\rho}{\mu} = \frac{0,1023 \text{ m} \times 0,0928 \text{ m/s} \times 982,83 \text{ kg/m}^3}{30 \text{ Pa.s}} = 0,3112$$

$$N_{Pr} = \frac{Cp\mu}{k} = \frac{3.757 \text{ J/kg.K} \times 30 \text{ Pa.s}}{0,7955 \text{ W/m.K}} = 141.684$$

Untuk aliran laminar, harga koefisien perpindahan panas (h) dapat dihitung sebagai berikut:

$$\frac{hD}{k} = 1,86 \left(N_{\text{Re}} \cdot N_{\text{Pr}} \frac{D}{L} \right)^{1/3} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{0,14} \quad [18], \text{Eq. 4.5-4}$$

$$h = \frac{0,7955 \text{ W/m.K}}{0,1023 \text{ m}} \times 1,86 \times \left(0,3112 \times 141.684 \times \frac{0,1023 \text{ m}}{10,0 \text{ m}} \right)^{1/3} \times (1)^{0,14} = 110,92 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Perhitungan dilakukan dengan menganggap pipa sebagai silinder pendek, sehingga terjadi perpindahan panas pada arah radial dan arah aksial.

Arah radial (x)

- $x_1 = \frac{D}{2} = \frac{102,3 \text{ mm}}{2} = 51,15 \text{ mm} = 0,05115 \text{ m}$

$$\bullet \quad n = \frac{x}{x_1} = \frac{0}{x_1} = 0$$

$$\bullet \quad \alpha = \frac{k}{\rho \cdot C_p} = \frac{0,7955 \text{ W/m.K}}{982,83 \text{ kg/m}^3 \times 3.757 \text{ J/kg.K}} = 2,15 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$\bullet \quad m = \frac{k}{hx_1} = \frac{0,7955 \text{ W/m.K}}{110,92 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 0,05115 \text{ m}} = 0,1402$$

$$\bullet \quad X = \frac{\alpha t}{x_1^2} = \frac{2,15 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \times 1800 \text{ s}}{(0,05115 \text{ m})^2} = 0,1482$$

- $Y_1 = 0,8$

[18], Fig. 5.3-8

Arah aksial (x)

- $y_1 = \frac{L}{2} = \frac{10 \text{ m}}{2} = 5 \text{ m}$
- $n = \frac{y}{y_1} = \frac{0}{y_1} = 0$
- $\alpha = \frac{k}{\rho \cdot Cp} = \frac{0,7955 \text{ W/m.K}}{982,83 \text{ kg/m}^3 \times 3.757 \text{ J/kg.K}} = 2,15 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$
- $m = \frac{k}{hy_1} = \frac{0,7955 \text{ W/m.K}}{110,92 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 5 \text{ m}} = 0,0014$
- $X = \frac{\alpha t}{y_1^2} = \frac{2,15 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s} \times 1800 \text{ s}}{(5 \text{ m})^2} = 1,55 \times 10^{-5}$
- $Y_x = 0,9$

[18], Fig. 5.3-6

Total penurunan suhu dapat dihitung sebagai berikut:

$$Y_{x,y} = Y_x \times Y_y = 0,8 \times 0,9 = 0,72$$

$$Y_{x,y} = \frac{T_1 - T}{T_1 - T_0}$$

$$0,72 = \frac{(30,00 - T)^\circ\text{C}}{(30,00 - 39,97)^\circ\text{C}}$$

$$T = 37,2^\circ\text{C} = 310,35 \text{ K}$$

Di mana T_1 = suhu lingkungan

T_0 = suhu liquid mula-mula

T = suhu liquid akhir

Jadi, suhu liquid masuk ke dalam tangki penampungan sementara (F-140) adalah $37,2^\circ\text{C}$ (310,35 K).

Panas spesifik komponen masuk pendinginan II akan sama dengan panas komponen keluar dari pencampuran II. Untuk perhitungan panas komponen keluar pada suhu

310,65 K tersebut, kapasitas panas komponen keluar pendinginan II dapat dilihat pada Tabel B.28.

Tabel B.28. Kapasitas Panas Spesifik Komponen Keluar Pipa

Komponen	Fase	T_1 (K)	T_2 (K)	T_{av} (K)	$\hat{C}_p$ (J/kg.K)	Metode	Ref
Air	l	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	4.190,09	P	[13]
EDTA	s	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	1.596,36	K	[16]
Propylene glycol	l	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.802,05	P	[13]
Carbomer	l	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.084,73	I	[14]
PEG-40 stearate	S	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.494,24	K	[16]
PEG-350	S	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.070,27	K	[16]
Glyceryl monostearate	S	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.430,93	K	[16]
Mineral oil	L	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	1.670,00	-	[17]
Vitamin E	L	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.106,95	I	[14]
Asam stearat	S	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	1.699,57	P	[13]
Asam palmitat	s	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	1.878,03	P	[13]
Cetyl alcohol	s	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	1.931,38	P	[13]
Myristil alcohol	s	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.000,80	P	[13]
Isopropyl palmitate	l	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.046,51	I	[14]
Petrolatum	s	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.931,00	-	[17]
Limonene	l	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	1.989,93	I	[14]
Geraniol	l	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.172,08	I	[14]
Tocopherol acetate	l	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.036,80	I	[14]
Vitamin E	l	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.106,95	I	[14]
Titanium dioxide	s	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	575,72	K	[16]
Vitamin A	s	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	2.265,47	K	[16]
Vitamin C	s	298,15 [†]	310,35 [§]	304,25	1.337,82	P	[13]

Rangkuman panas komponen keluar dari pendinginan II pada M-130 dapat dilihat pada Tabel B.29 berikut ini.

Tabel B.29. Panas Komponen Keluar dari Pipa

Komponen	Panas Varian I Keluar (J)	Panas Varian II Keluar (J)
Air	105.876.342	105.876.342
EDTA	21.034	21.034
Propylene glycol		
Propylene glycol	3.673.521	3.673.521
Air	27.604	27.604
Carbomer		
Carbomer	652.375	652.375
Air	69.011	69.011
PEG-40 stearate		
PEG-40 stearate	1.183.108	1.183.108
PEG-350	109.112	109.112
Glyceryl monostearate	2.802.619	2.802.619
Mineral oil		
Mineral oil	1.915.767	1.915.767
Vitamin E	12.081	12.081
Asam stearat		
Asam stearat	904.139	904.139
Asam palmitat	52.583	52.583
Cetyl alcohol		
Cetyl alcohol	1.027.457	1.027.457
Myristil alcohol	56.020	56.020
Isopropyl palmitate		
Isopropyl palmitate	1.698.783	1.698.783
Asam palmitat	173.214	173.214
Petrolatum	2.703.320	2.703.320
Parfum		
Limonene	93.467	93.467
Geraniol	5.300	5.300
Tocopherol acetate		
Tocopherol acetate	130.209	130.209
Vitamin E	4.113	4.113
Titanium dioxide	56.893	-
Vitamin A	-	111.937
Vitamin C	-	66.102
Total	123.248.072	123.369.218

Panas yang dilepas ($Q_{\text{pendingin}}$) selama proses pendinginan II pada M-130 dapat dihitung sebagai berikut:

Untuk Varian I

$$\Delta H_{\text{in}} = \Delta H_{\text{out}} + Q_{\text{pendingin}}$$

$$151.777.440 \text{ J} = 123.248.072 \text{ J} + Q_{\text{pendingin}}$$

$$Q_{\text{pendingin}} = 28.529.368 \text{ J}$$

Untuk Varian II

$$\Delta H_{\text{in}} = \Delta H_{\text{out}} + Q_{\text{pendingin}}$$

$$151.754.342 \text{ J} = 123.369.218 \text{ J} + Q_{\text{pendingin}}$$

$$Q_{\text{pendingin}} = 28.385.124 \text{ J}$$

Jadi panas yang hilang dari lotion di dalam pipa pada varian I dan II masing-masing adalah 28.529.368 J dan 28.385.124 J.

Neraca panas selama penurunan suhu ini dapat dilihat pada Tabel B.30 dan Tabel B.31

Tabel B.30, masing-masing untuk varian I dan varian II.

Tabel B.30. Neraca Panas selama Penurunan Suhu untuk Varian I

Penurunan Suhu untuk Varian I		
Komponen	Panas Masuk (J)	Panas Keluar (J)
	<i>Dari</i>	<i>Ke X-140</i>
	<i>Pencampuran II</i>	
	<i>pada M-130</i>	
Air	129.924.508	105.876.342
EDTA	25.820	21.034
Propylene glycol		
Propylene glycol	4.519.209	3.673.521
Air	33.874	27.604
Carbomer		
Carbomer	767.225	652.375
Air	84.686	69.011
PEG-40 stearate		
PEG-40 stearate	1.450.948	1.183.108
PEG-350	134.130	109.112
Glyceryl monostearate	3.444.091	2.802.619
Mineral oil		
Mineral oil	2.355.350	1.915.767
Vitamin E	12.857	12.081
Asam stearat		
Asam stearat	1.119.770	904.139
Asam palmitat	61.665	52.583
Cetyl alcohol		
Cetyl alcohol	1.272.274	1.027.457
Myristil alcohol	596.608	56.020
Isopropyl palmitate		
Isopropyl palmitate	2.086.386	1.698.783
Asam palmitat	213.716	173.214
Petrolatum	3.318.348	2.703.320
Parfum		
Limonene	114.738	93.467
Geraniol	6.506	5.300
Tocopherol acetate		
Tocopherol acetate	159.841	130.209
Vitamin E	5.049	4.113
Titanium dioxide	69.841	56.893
Panas yang dilepas		28.529.368
Total	151.777.440	151.777.440

Tabel B.31. Neraca Panas selama Penurunan Suhu untuk Varian II

Penurunan Suhu untuk Varian II		
Komponen	Panas Masuk (J)	Panas Keluar (J)
	<i>Dari</i>	<i>Ke X-140</i>
	<i>Pencampuran II</i>	
	<i>pada M-130</i>	
Air	129.839.500	105.876.342
EDTA	25.804	21.034
Propylene glycol		
Propylene glycol	4,516,252	3.673.521
Air	33,852	27.604
Carbomer		
Carbomer	766,723	652.375
Air	84,631	69.011
PEG-40 stearate		
PEG-40 stearate	1,449,409	1.183.108
PEG-350	134,120	109.112
Glyceryl monostearate	3.443.359	2.802.619
Mineral oil		
Mineral oil	2,355,308	1.915.767
Vitamin E	12,026	12.081
Asam stearat		
Asam stearat	1,119,714	904.139
Asam palmitat	60,301	52.583
Cetyl alcohol		
Cetyl alcohol	1,272,135	1.027.457
Myristil alcohol	594,437	56.020
Isopropyl palmitate		
Isopropyl palmitate	2,085,436	1.698.783
Asam palmitat	213,628	173.214
Petrolatum	3.316.097	2.703.320
Parfum		
Limonene	114,663	93.467
Geraniol	6,502	5.300
Tocopherol acetate		
Tocopherol acetate	159,737	130.209
Vitamin E	5,046	4.113
Vitamin A	91,583	111.937
Vitamin C	54,082	66.102
Panas yang dilepas		28.385.124
Total	151.754.342	151.754.342

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN

LAMPIRAN C

PERHITUNGAN SPESIFIKASI PERALATAN

1. GUDANG BAHAN BAKU PADAT DAN CAIR (F-101)

Fungsi : - Menampung bahan-bahan padatan yaitu polyethylene glycol 40 (PEG-40) stearat, glyceryl monosterarat, asam stearat, cetyl alcohol, petrolatum, Vitamin C, Vitamin A, Titanium dioxide (TiO_2) dan EDTA

- Menampung bahan-bahan cair yaitu tocopherol acetate dan pewangi (fragrance)

Tipe : Gedung dengan konstruksi beton

Kondisi Operasi

P_{operasi} : 1 atm

T_{operasi} : 30 °C

Perhitungan gudang bahan baku padat

Waktu penyimpanan : 75 hari

Kapasitas : PEG-40 stearat, glyceryl monosterarat, asam stearat, cetyl alcohol, petrolatum, dan EDTA selama 90 hari
sedangkan Vitamin C, Vitamin A, dan Titanium dioxide (TiO_2) selama 45 hari

Ditetapkan :

- Penyimpanan PEG-40 stearat, glyceryl monosterarat, asam stearat, cetyl alcohol, petrolatum dalam zak dengan dimensi :

- panjang = 1 m
- lebar = 0,4 m
- tinggi = 0,15 m

Sedangkan penyimpanan EDTA, vitamin A dan C serta TiO_2 dalam botol, dengan dimensi :

- diameter = 0,2 m
- tinggi = 0,4 m

- Tinggi gudang = 3 m

Dalam perhitungan digunakan tiap zak bahan massanya 50 kg, sedangkan botol untuk 10 kg. Hasil perhitungan ditampilkan sebagai berikut :

Bahan	Kebutuhan (kg/hari)		Kebutuhan total (kg)	Jumlah zak/botol
	37,5 hari	75 hari		
PEG-40 sterat	-	43,20	3240	65
Glyceryl monostearat	-	94,50	7807,5	157
Asam stearat	-	45,90	3442,5	69
Cetyl alcohol	-	45,90	3442,5	69
Petrolatum	-	75,60	5670	114
Vitamin C	4,05	-	151,875	16
Vitamin A	4,05	-	151,875	16
TiO_2	8,10	-	303,75	31
EDTA	-	1,08	81	9
			24.291	546

Sebagai contoh perhitungan, digunakan data untuk menghitung jumlah zak PEG-40 stearat,

Kebutuhan total = kebutuhan/hari × waktu penyimpanan

= 43,20 kg/hari × 75 hari

= 3240 kg

Jumlah zak = $\frac{\text{kebutuhan total}}{\text{massa 1 zak}} = \frac{3240}{50} = 64,8 \approx 65 \text{ zak}$

Dengan cara perhitungan yang sama, didapatkan jumlah zak/botol untuk berbagai bahan baku padat sesuai dengan kapasitas penyimpanan.

Perhitungan gudang bahan baku cair

Waktu penyimpanan : 75 hari

Ditetapkan dimensi 1 botol : - diameter = 0,2 m

- tinggi = 0,4 m

Dalam perhitungan digunakan asumsi tiap botol massanya 10 kg. Hasil perhitungan ditampilkan sebagai berikut :

Bahan	Kebutuhan (kg/hari)		Kebutuhan total (kg)	Jumlah botol
	37,5 hari	75 hari		
Tocopherol acetate	-	5,40	405	41
Fragance	-	4,05	303,75	31
			708,75	72

Sebagai contoh perhitungan, digunakan data untuk menghitung jumlah botol tocopherol acetate,

Kebutuhan total = kebutuhan/hari × waktu penyimpanan

= 5,40 kg/hari × 75 hari

= 405 kg

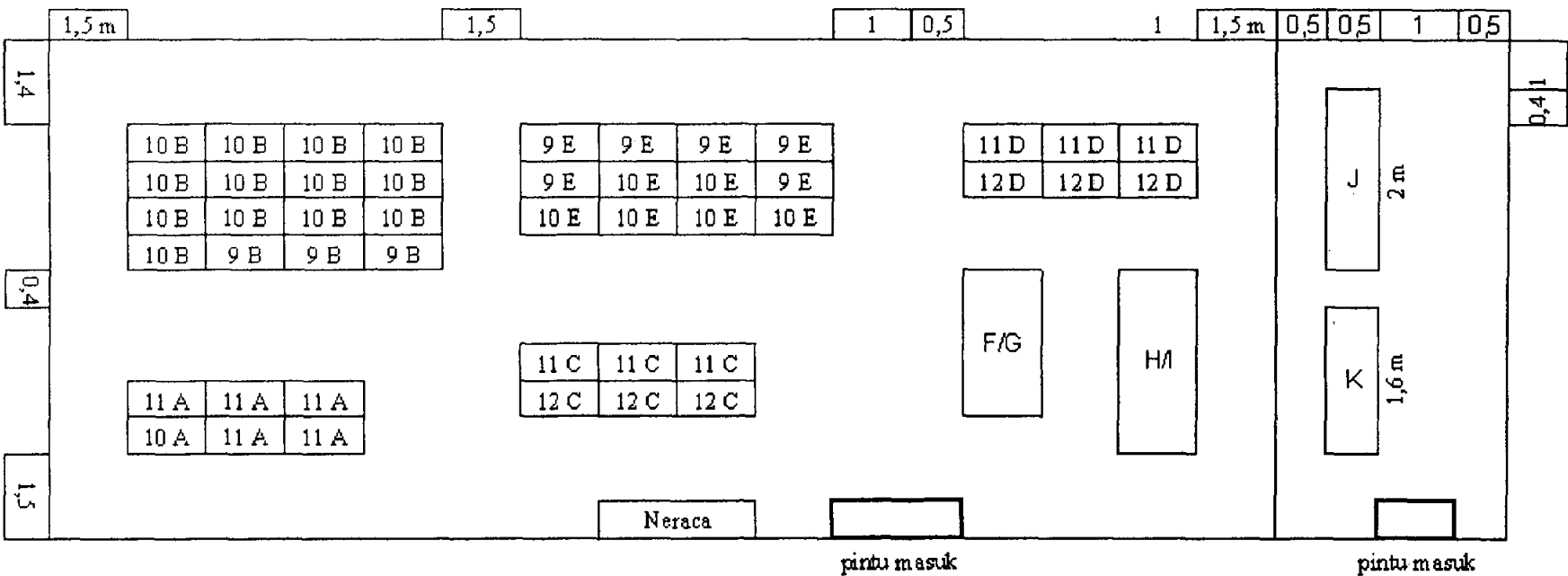
$$\text{Jumlah botol} = \frac{\text{kebutuhan total}}{\text{massa 1 botol}} = \frac{405}{10} = 40,5 \approx 41 \text{ botol}$$

Dengan cara perhitungan yang sama, didapatkan jumlah botol untuk berbagai bahan baku cair sesuai dengan kapasitas penyimpanan.

Untuk menentukan spesifikasi gudang bahan baku padat dan cair ditetapkan bahwa penyimpanan bahan baku dalam bentuk zak dilakukan dengan menumpuk zak bahan-bahan baku antara 9-12 zak dalam satu tumpuk, sedangkan penyimpanan bahan baku dalam botol dilakukan dengan menata botol-botol penyimpanan dalam rak dengan 4 level tingkatan. Untuk rak dengan panjang 2 m, lebar 0,5 m dan tinggi 2 m dapat menampung 10-12 botol tiap level, sedangkan untuk rak dengan panjang 1,6 m, lebar 0,5 m dan tinggi 2 m dapat menampung 8-10 botol tiap level. Tata letak bahan baku padat dan cair sebagai berikut :

Keterangan :

- | | |
|----------------------------|--------------------------|
| • A = PEG-40 stearat | • G = Vitamin C |
| • B = Glyceryl monostearat | • H = TiO ₂ |
| • C = Asam stearat | • I = EDTA |
| • D = Cetyl alcohol | • J = Tocopherol acetate |
| • E = Petrolatum | • K = Fragrance |
| • F = Vitamin A | |



Perhitungan dimensi gudang

- Panjang gudang : $(4 \times 1,5 \text{ m}) + (11 \times 1 \text{ m}) + (3 \times 0,5 \text{ m}) + 1 \text{ m} = 19,5 \text{ m}$
- Lebar gudang : $1,5 \text{ m} + (9 \times 0,4 \text{ m}) + 1,4 \text{ m} = 6,5 \text{ m}$

SPEKIFIKASI :

Nama : Gudang bahan baku padat dan cair

Tipe : Gedung dengan konstruksi beton

Panjang : 19,5 m

Lebar : 6,5 m

Tinggi : 3 m

Jumlah : 1 buah

2. TANGKI PENYIMPAN PROPYLENE GLYCOL (F-102)

Fungsi : Menyimpan bahan baku liquid (propylene glycol)

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertikal dengan tutup atas berbentuk flat dan tutup bawah berbentuk *torispherical*.

Bahan : *Stainless Steel SA-240* tipe 304

Kondisi Operasi

P_{operasi} : 1 atm

Waktu penyimpanan : 75 hari

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi : *Stainless steel SA-240* tipe 304

[20], pp. 496

- *Allowable stress value* (f) dari SA-240 : 20.000 lb/in² [21], UG-32
- Las yang digunakan adalah *double welded butt joint* dengan efisiensi
(E) = 0,70 [21], Table UW-12
- $\frac{H}{ID} = 1,5$ [22], *rule of thumb*

Perhitungan:

$$\rho (25^{\circ}\text{C}) = 1036 \text{ kg/m}^3 = 64,6752 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Massa yang dibutuhkan/hari} = 108 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Volume liquid} = \frac{108 \text{ kg/hari} \times 75 \text{ hari}}{1036 \text{ kg/m}^3} = 7,82 \text{ m}^3 = 276,10 \text{ ft}^3$$

$$\text{Ditetapkan : } V_L = 80 \% V_{\text{tangki}}$$

$$V_{\text{tangki}} = 276,10 \text{ ft}^3 \times \frac{100}{80}$$

$$= 345,12 \text{ ft}^3$$

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$345,12 = \frac{\pi}{4} (ID)^2 H + 0,000049 (12 \times ID)^3$$

$$= \frac{\pi}{4} 1,5 (ID)^3 + 0,000049 (1728) \times (ID)^3$$

$$ID = 6,49 \text{ ft}$$

$$H = 1,5 \cdot ID$$

$$= 1,5 \cdot 6,49$$

$$= 9,74 \text{ ft}$$

Digunakan 2 *course* 5 ft, sehingga $H = 10 \text{ ft} \approx 3,05 \text{ m}$

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$\begin{aligned}
 345,12 &= \pi/4 (ID)^2 H + 0,000049 (12 \times ID)^3 \\
 &= \pi/4 (ID)^2 \cdot 10 + 0,000049 (1728) \times (ID)^3 \\
 ID &= 6,41 \text{ ft} \approx 1,95 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Menghitung tebal *shell* untuk *course* 1 (hingga 5 ft dari dasar):

$$\begin{aligned}
 V_L &= V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}} \\
 276,10 &= \pi/4 (ID)^2 H + 0,000049 (12 \times ID)^3 \\
 &= \pi/4 (6,41)^2 H + 0,000049 (12 \times 6,41)^3 \\
 H_L &= 7,87 \text{ ft} \\
 P_{\text{hidrostatik}} &= \rho \cdot H_L / 144 \quad [23], \text{ Eq. 3.17} \\
 &= 64,6752 \cdot 7,87 / 144 \\
 &= 3,54 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\
 &= 3,54 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\
 &= 18,24 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{\text{shell}} &= \frac{P \times ID}{2(fE - 0.6P)} \quad [23], \text{ Eq. 13.1} \\
 &= \frac{18,24 \times 6,41 \times 12}{2(20000 \times 0,70 - 0,6 \times 18,24)} \\
 &= 0,0501 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm.

Menghitung tebal *shell* untuk *course* 2 (5 ft hingga 10 ft dari dasar):

$$H_L = 7,87 \text{ ft} - 5 \text{ ft} = 2,87 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{hidrostatik}} &= \rho \cdot H_L / 144 & [23], \text{Eq. 3.17} \\ &= 64,6752 \cdot 2,87 / 144 \\ &= 1,29 \text{ psi} \end{aligned}$$

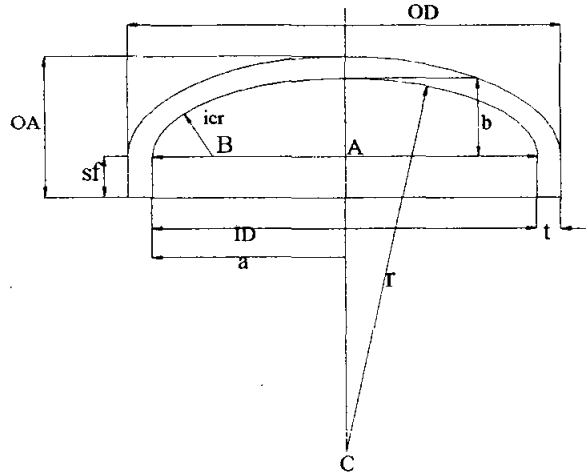
$$\begin{aligned} P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\ &= 1,29 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\ &= 15,99 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{shell}} &= \frac{P \times ID}{2(fE - 0.6P)} & [23], \text{Eq. 13.1} \\ &= \frac{15,99 \times 6,41 \times 12}{2(20000 \times 0,70 - 0,6 \times 15,99)} \\ &= 0,0440 \text{ inch} \end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm.

Perhitungan Torispherical

Tutup tangki bagian bawah didesain berbentuk *torispherical* dengan *radius of curvature* sama dengan diameter dalam tangki dan *radius of knuckle* sebesar 10% dari *radius of curvature*.



$$\text{crown radius } (r_c) = ID = 6,41 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 88}$$

$$\begin{aligned} \text{radius of knuckle } (r_k/icr) &= 10\% \times ID \\ &= 10\% \times 6,41 \text{ ft} \\ &= 0,64 \text{ ft} \end{aligned} \quad [23], \text{ pp. 88}$$

$$BC = r_c - icr = 6,41 \text{ ft} - 0,64 \text{ ft} = 5,77 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \frac{6,41 \text{ ft}}{2} - 0,64 \text{ ft} = 2,57 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$\begin{aligned} \text{Kedalaman head } (b) &= r_c - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} \\ &= 6,41 \text{ ft} - \sqrt{(5,77 \text{ ft})^2 - (2,57 \text{ ft})^2} \\ &= 1,24 \text{ ft} \end{aligned} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$\text{Straight flange } (sf) = 1,5 \text{ in} \approx 0,125 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$\text{Tinggi liquid dalam head } (h) = b + sf = 1,24 \text{ ft} + 0,125 \text{ ft} = 1,365 \text{ ft} \approx 1,37 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi liquid total } (H_{L,t}) = H_L + h = 7,87 \text{ ft} + 1,37 \text{ ft} = 9,24 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} W &= 0,25 \times \left[3 + \sqrt{\frac{r_c}{r_k}} \right] = 0,25 \times \left[3 + \sqrt{\frac{6,41}{0,64}} \right] \\ &= 1,54 \end{aligned} \quad [23], \text{ Eq. 7.76}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_L / 144 \quad [23], \text{Eq. 3.17}$$

$$= 64,6752 \cdot 9,24 / 144$$

$$= 4,15 \text{ psi}$$

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

$$= 4,15 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$= 18,85 \text{ psi}$$

$$t_d = \frac{P \times r_c \times W}{2fE - 0,2P} \quad [23], \text{Eq. 7.77}$$

$$= \frac{18,85 \times 6,41 \times 12 \times 1,54}{2 \times 20000 \times 0,70 - 0,2 \times 18,85}$$

$$= 0,0798 \text{ inch}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm

Tebal plat datar (t_f) = 4 mm

Tinggi tangki = tinggi shell + tinggi dished head

$$= 10 \text{ ft} + 1,37 \text{ ft}$$

$$= 11,37 \text{ ft} \approx 3,47 \text{ m}$$

SPESIFIKASI :

Nama : Tangki penyimpan propylene glycol

Kapasitas : $7,82 \text{ m}^3$

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertikal dengan tutup atas berbentuk flat
dan bawah berbentuk *torispherical*

Diameter : 1,95 m

Tinggi : 3,05 m

Tebal shell : 4 mm

Tebal tutup : 4 mm

Jumlah : 1 buah

3. TANGKI PENYIMPAN CARBOMER (F-103)

Fungsi : Menyimpan bahan baku liquid (carbomer)

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertical dengan tutup atas berbentuk flat dan tutup bawah berbentuk *torispherical*.

Bahan : *Stainless Steel SA-240* tipe 304

Kondisi Operasi

P_{operasi} : 1 atm

Waktu penyimpanan : 75 hari

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi : *Stainless Steel SA-240* tipe 304 [20], pp 496
- *Allowable stress value* (f) dari SA-240 : 20.000 lb/in² [21], UG-32
- Las yang digunakan adalah *double welded butt joint* dengan efisiensi (E) = 0,70 [21], Table UW-12
- $\frac{H}{ID} = 1,5$ [22], *rule of thumb*

Perhitungan:

$$\rho (25^{\circ}\text{C}) = 1060 \text{ kg/m}^3 = 66,1735 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Massa yang dibutuhkan/hari} = 27 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Volume liquid} = \frac{27 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times 75 \text{ hari}}{1060 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,91 \text{ m}^3 = 67,46 \text{ ft}^3$$

$$\text{Ditetapkan : } V_L = 80 \% V_{\text{tangki}}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= 67,46 \text{ ft}^3 \times \frac{100}{80} \\ &= 84,33 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$\begin{aligned} 84,33 &= \pi/4 (\text{ID})^2 H + 0,000049 (12 \times \text{ID})^3 \\ &= \pi/4 1,5 (\text{ID})^3 + 0,000049 (1728) \times (\text{ID})^3 \end{aligned}$$

$$\text{ID} = 4,06 \text{ ft}$$

$$H = 1,5 \cdot \text{ID}$$

$$= 1,5 \cdot 4,06$$

$$= 6,09 \text{ ft} \rightarrow \text{standarisasi } H = 6 \text{ ft} \approx 1,83 \text{ m}$$

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$\begin{aligned} 84,33 &= \pi/4 (\text{ID})^2 H + 0,000049 (12 \times \text{ID})^3 \\ &= \pi/4 (\text{ID})^2 6 + 0,000049 (1728) \times (\text{ID})^3 \end{aligned}$$

$$\text{ID} = 4,08 \text{ ft} \approx 1,25 \text{ m}$$

$$V_L = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$\begin{aligned} 67,46 &= \pi/4 (\text{ID})^2 H + 0,000049 (12 \times \text{ID})^3 \\ &= \pi/4 (4,08)^2 H + 0,000049 (12 \times 4,08)^3 \end{aligned}$$

$$H_L = 4,72 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{hidrostatik}} &= \rho \cdot H_L / 144 & [23], \text{Eq. 3.17} \\
 &= 66,1735 \cdot 4,72 / 144 \\
 &= 2,17 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

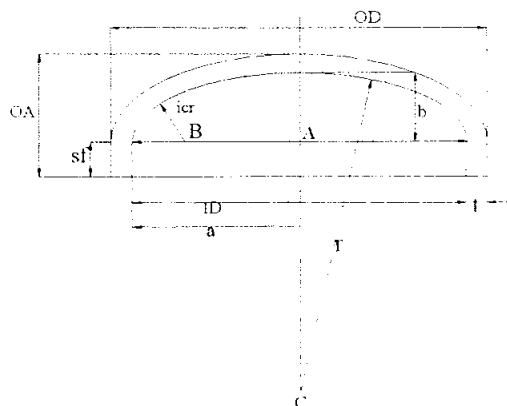
$$\begin{aligned}
 P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\
 &= 2,17 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\
 &= 16,87 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{\text{shell}} &= \frac{P \times ID}{2(fE - 0,6P)} & [23], \text{Eq. 13.1} \\
 &= \frac{16,87 \times 4,08 \times 12}{2(20000 \times 0,70 - 0,6 \times 16,87)} \\
 &= 0,0295 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 3 mm

Perhitungan Torispherical

Tutup tangki bagian bawah didesain berbentuk *torispherical* dengan *radius of curvature* sama dengan diameter dalam tangki dan *radius of knuckle* sebesar 10% dari *radius of curvature*.



$$\text{crown radius } (r_c) = ID - 4,08 \text{ ft} \quad [23], \text{pp. 88}$$

$$\text{radius of knuckle } (r_k/icr) = 10\% \times ID \quad [23], \text{ pp. 88}$$

$$= 10\% \times 4,08 \text{ ft}$$

$$= 0,41 \text{ ft}$$

$$BC = r_c - icr = 4,08 \text{ ft} - 0,41 \text{ ft} = 3,67 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \frac{4,08 \text{ ft}}{2} - 0,41 \text{ ft} = 1,63 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$\text{Kedalaman head (b)} = r_c - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$= 4,08 \text{ ft} - \sqrt{(3,67 \text{ ft})^2 - (1,63 \text{ ft})^2}$$

$$= 0,79 \text{ ft}$$

$$\text{Straight flange (sf)} = 1,5 \text{ in} \approx 0,125 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$\text{Tinggi liquid dalam head (h)} = b + sf = 0,79 \text{ ft} + 0,125 \text{ ft} = 0,915 \text{ ft} \approx 0,92 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi liquid total } (H_{L,t}) = H_L + h = 4,72 \text{ ft} + 0,92 \text{ ft} = 5,64 \text{ ft}$$

$$W = 0,25 \times \left[3 + \sqrt{\frac{r_c}{r_k}} \right] = 0,25 \times \left[3 + \sqrt{\frac{4,08}{0,41}} \right] \quad [23], \text{ Eq. 7.76}$$

$$= 1,54$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_L / 144 \quad [23], \text{ Eq. 3.17}$$

$$= 66,1735 \cdot 5,64 / 144$$

$$= 2,59 \text{ psi}$$

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

$$= 2,59 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$= 17,29 \text{ psi}$$

$$t_d = \frac{P \times r_c \times W}{2fE - 0,2P} \quad [23], \text{ Eq. 7.77}$$

$$= 0,0466 \text{ inch}$$

Tebal plat datar (t_f) = 3 mm

$$= 6 \text{ ft} + 0,92 \text{ ft}$$

$$= 6,92 \text{ ft} \approx 2,11 \text{ m}$$

Nama : Tangki penyimpan carbomer

Kapasitas : 1,91 m³

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertikal dengan tutup atas berbentuk flat dan bawah berbentuk *torispherical*

Diameter : 1,25 m

Tinggi : 1,83 m

Tebal shell : 3 mm

Tebal tutup : 3 mm

Jumlah : 1 buah

Fungsi : Menyimpan bahan baku liquid (mineral oil)

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertical dengan tutup atas berbentuk flat dan tutup bawah berbentuk *torispherical*.

Bahan : *Stainless Steel SA-240* tipe 304

Kondisi Operasi

P_{operasi} : 1 atm

Waktu penyimpanan : 75 hari

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi : Stainless Steel SA-240 tipe 304 [20], pp. 496]
- *Allowable stress value* (f) dari SA-240 : 20.000 lb/in² [21], UG-32
- Las yang digunakan adalah *double welded butt joint* dengan efisiensi
(E) = 0,70 [21], Table UW-12
- $\frac{H}{ID} = 1,5$ [22], *rule of thumb*

Perhitungan:

S_g mineral oil = 0,84

ρ (25°C) = 840 kg/m³ = 52,4394 lb/ft³

Massa yang dibutuhkan/hari = 94,5 kg/hari

Volume liquid = $\frac{94,5 \frac{\text{kg}}{\text{hari}} \times 75 \text{ hari}}{840 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 8,44 \text{ m}^3 = 297,96 \text{ ft}^3$

Ditetapkan : $V_L = 80 \% V_{\text{tangki}}$

$V_{\text{tangki}} = 297,96 \text{ ft}^3 \times \frac{100}{80}$

= 372,45 ft³

$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$

372,45 = $\frac{\pi}{4} (ID)^2 H + 0,000049 (12 \times ID)^3$

$$= \pi/4 \cdot 1,5 (ID)^3 + 0,000049 (1728) \times (ID)^3$$

$$ID = 6,66 \text{ ft}$$

$$H = 1,5 \cdot ID$$

$$= 1,5 \cdot 6,66$$

$$= 9,99 \text{ ft}$$

Digunakan 2 *course* 5 ft, sehingga $H = 10 \text{ ft} \approx 3,05 \text{ m}$

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$372,45 = \pi/4 (ID)^2 H + 0,000049 (12 \times ID)^3$$

$$= \pi/4 (ID)^2 \cdot 10 + 0,000049 (1728) \times (ID)^3$$

$$ID = 6,65 \text{ ft} \approx 2,03 \text{ m}$$

Menghitung tebal *shell* untuk *course* 1 (hingga 5 ft dari dasar):

$$V_L = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$297,96 = \pi/4 (ID)^2 H + 0,000049 (12 \times ID)^3$$

$$= \pi/4 (6,65)^2 H + 0,000049 (12 \times 6,65)^3$$

$$H_L = 7,86 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_L / 144 \quad [23], \text{ Eq. 3.17}$$

$$= 52,4394 \cdot 7,86 / 144$$

$$= 2,86 \text{ psi}$$

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

$$= 2,86 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$= 17,56 \text{ psi}$$

$$t_{\text{shell}} = \frac{P \times ID}{2(fE - 0,6P)} \quad [23], \text{ Eq. 13.1}$$

$$= \frac{17,56 \times 6,65 \times 12}{2(20000 \times 0,70 - 0,6 \times 17,56)}$$

$$= 0,0501 \text{ inch}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm.

Menghitung tebal *shell* untuk *course* 2 (5 ft hingga 10 ft dari dasar):

$$H_L = 7,86 \text{ ft} - 5 \text{ ft} = 2,86 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_L / 144 \quad [23], \text{Eq. 3.17}$$

$$= 52,4394 \cdot 2,86 / 144$$

$$= 1,04 \text{ psi}$$

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

$$= 1,04 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$= 15,74 \text{ psi}$$

$$t_{\text{shell}} = \frac{P \times ID}{2(fE - 0,6P)} + c \quad [23], \text{Eq. 13.1}$$

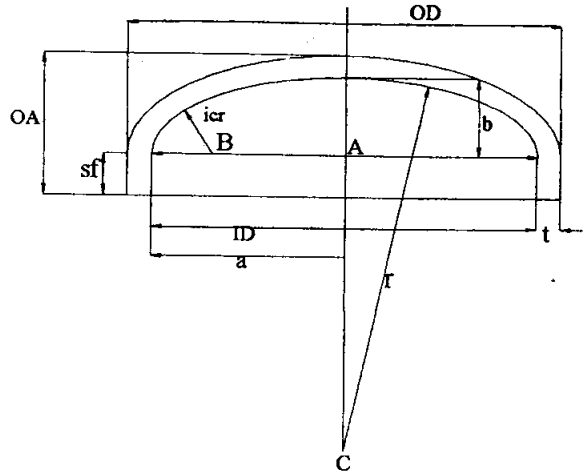
$$= \frac{15,74 \times 6,65 \times 12}{2(20000 \times 0,70 - 0,6 \times 15,74)}$$

$$= 0,0449 \text{ inch}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm.

Perhitungan Torispherical

Tutup tangki bagian bawah didesain berbentuk *torispherical* dengan *radius of curvature* sama dengan diameter dalam tangki dan *radius of knuckle* sebesar 10% dari *radius of curvature*.



$$\text{crown radius } (r_c) = ID = 6,65 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 88}$$

$$\text{radius of knuckle } (r_k/icr) = 10\% \times ID \quad [23], \text{ pp. 88}$$

$$= 10\% \times 6,65 \text{ ft}$$

$$= 0,67 \text{ ft}$$

$$BC = r_c - icr = 6,65 \text{ ft} - 0,67 \text{ ft} = 5,98 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \frac{6,65 \text{ ft}}{2} - 0,67 \text{ ft} = 2,66 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$\text{Kedalaman head } (b) = r_c - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$= 6,65 \text{ ft} - \sqrt{(5,98 \text{ ft})^2 - (2,66 \text{ ft})^2}$$

$$= 1,29 \text{ ft}$$

$$\text{Straight flange } (sf) = 1,5 \text{ in} \approx 0,125 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$\text{Tinggi liquid dalam head } (h) = b + sf = 1,29 \text{ ft} + 0,125 \text{ ft} = 1,415 \text{ ft} \approx 1,42 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi liquid total } (H_{L,t}) = H_L + h = 7,86 \text{ ft} + 1,42 \text{ ft} = 9,28 \text{ ft}$$

$$W = 0,25 \times \left[3 + \sqrt{\frac{r_c}{r_k}} \right] = 0,25 \times \left[3 + \sqrt{\frac{6,65}{0,67}} \right] \quad [23], \text{ Eq. 7.76}$$

$$= 1,54$$

$$\begin{aligned}P_{\text{hidrostatik}} &= \rho \cdot H_L / 144 & [23], \text{Eq. 3.17} \\&= 52,4394 \cdot 9,28 / 144 \\&= 3,38 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\&= 3,38 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\&= 18,08 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_d &= \frac{P \times r_c \times W}{2fE - 0,2P} + c & [23], \text{Eq. 7.77} \\&= \frac{18,08 \times 6,65 \times 12 \times 1,54}{2 \times 20000 \times 0,70 - 0,2 \times 18,08} \\&= 0,0794 \text{ inch}\end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm

Tebal plat datar (t_f) = 4 mm

Tinggi tangki = tinggi shell + tinggi dished head

$$\begin{aligned}&= 10 \text{ ft} + 1,42 \text{ ft} \\&= 11,42 \text{ ft} \approx 3,48 \text{ m}\end{aligned}$$

SPESIFIKASI :

Nama : Tangki penyimpanan mineral oil

Kapasitas : 8,44 m³

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertikal dengan tutup atas berbentuk flat
dan bawah berbentuk *torispherical*

Diameter : 2,03 m

Tinggi : 3,05 m

Tebal shell : 4 mm

Tebal tutup : 4 mm

Jumlah : 1 buah

5. TANGKI PENYIMPAN ISOPROPYL PALMITATE (F-105)

Fungsi : Menyimpan bahan baku liquid (isopropyl palmitate)

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertical dengan tutup atas berbentuk flat dan tutup bawah berbentuk *torispherical*.

Bahan : *Stainless Steel SA-240* tipe 304

Kondisi Operasi

P_{operasi} : 1 atm

Waktu penyimpanan : 75 hari

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi : *Stainless Steel SA-240* tipe 304 [20], pp. 496
- *Allowable stress value* (f) dari SA-240 : 20.000 lb/in² [21], UG-32
- Las yang digunakan adalah *double welded butt joint* dengan efisiensi
(E) = 0,70 [21], Table UW-12
- $\frac{H}{ID} = 1,5$ [22], rule of thumb

Perhitungan:

$$\rho (25^{\circ}\text{C}) = 852 \text{ kg/m}^3 = 53,1885 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Massa yang dibutuhkan/hari} = 75,6 \text{ kg/hari}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{hidrostatik}} &= \rho \cdot H_L / 144 & [23], \text{Eq. 3.17} \\&= 53,1885 \cdot 7,87 / 144 \\&= 2,91 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\&= 2,91 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\&= 17,61 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{\text{shell}} &= \frac{P \times ID}{2(fE - 0.6P)} & [23], \text{Eq. 13.1} \\&= \frac{17,61 \times 5,93 \times 12}{2(20000 \times 0,70 - 0,6 \times 17,61)} \\&= 0,0448 \text{ inch}\end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm.

Menghitung tebal *shell* untuk *course* 2 (5 ft hingga 10 ft dari dasar):

$$H_L = 7,87 \text{ ft} - 5 \text{ ft} = 2,87 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{hidrostatik}} &= \rho \cdot H_L / 144 & [23], \text{Eq. 3.17} \\&= 53,1885 \cdot 2,87 / 144 \\&= 1,06 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\&= 1,06 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\&= 15,76 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$t_{\text{shell}} = \frac{P \times ID}{2(fE - 0.6P)} \quad [23], \text{Eq. 13.1}$$

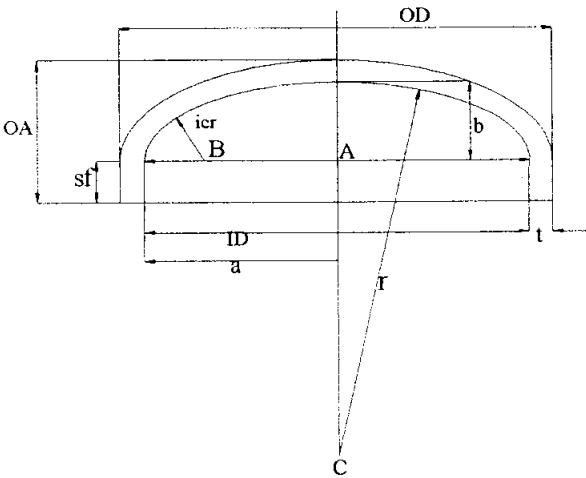
$$= \frac{15,76 \times 5,93 \times 12}{2(20000 \times 0,70 - 0,6 \times 15,76)}$$

$$= 0,0401 \text{ inch}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm.

Perhitungan Torispherical

Tutup tangki bagian bawah didesain berbentuk *torispherical* dengan *radius of curvature* sama dengan diameter dalam tangki dan *radius of knuckle* sebesar 10% dari *radius of curvature*.



crown radius (r_c) = $ID = 5,93 \text{ ft}$ [23], pp. 88

radius of knuckle (r_k/r_k) = $10\% \times ID$ [23], pp. 88
 $= 10\% \times 5,93 \text{ ft}$
 $= 0,59 \text{ ft}$

$BC = r_c - r_k = 5,93 \text{ ft} - 0,59 \text{ ft} = 5,34 \text{ ft}$ [23], pp. 87

$AB = \frac{ID}{2} - r_k = \frac{5,93 \text{ ft}}{2} - 0,59 \text{ ft} = 2,38 \text{ ft}$ [23], pp. 87

Ditetapkan :

- Satu hari dilakukan 2 batch untuk proses mixing
- Bahan konstruksi : Stainless Steel SA-240 tipe 304 [20], pp.496
- *Allowable stress value* (f) dari SA-240 : 20.000 lb/in² [21], UG-32
- Las yang digunakan adalah *double welded butt joint* dengan efisiensi
(E) = 0,70 [21], Table UW-12
- $\frac{H}{ID} = 1,5$ [22], rule of thumb
- Sudut konis 60° [23], pp 36
- $\alpha = 30^\circ$
- Diameter nozzle (Dn) = 4 inch = 0,33 ft = 0,10 m [23], pp 36

Perhitungan Dimensi Tangki:

Suhu masuk *mixer* = 30 °C

Suhu keluar *mixer* = 75 °C

Perhitungan Volume Tangki

Bahan	Kebutuhan		Densitas (kg/m ³)	Volume	
	per hari (kg)	per batch (kg)		m ³	ft ³
Mineral oil	94,50	47,25	840	0,0563	1,99
Asam stearat	45,90	22,95	870	0,0264	0,93
Cetyl alcohol	45,90	22,95	818	0,0281	0,99
Isopropyl palmitate	75,60	37,80	852	0,0444	1,57
Petrolatum	75,60	37,80	820	0,0461	1,63
			Volume Total		7,11

Sebagai contoh perhitungan, digunakan data untuk menghitung volume mineral oil

$$\begin{aligned}P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\&= 0,77 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\&= 15,47 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{\text{shell}} &= \frac{P \times ID}{2(fE - 0,6P)} & [23], \text{Eq. 13.1} \\&= \frac{15,47 \times 1,85 \times 12}{2(20000 \times 0,70 - 0,6 \times 15,47)} \\&= 0,0123 \text{ inch}\end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 3 mm.

$$\begin{aligned}P_{\text{hidrostatik}} &= \rho \cdot H_{L, \text{total}} / 144 & [23], \text{Eq. 3.17} \\&= 52,3723 \cdot 3,43 / 144 \\&= 1,25 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\&= 1,25 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\&= 15,95 \text{ psi}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}t_{\text{konis}} &= \frac{P \times ID}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} & [23], \text{Eq. 2.154} \\&= \frac{15,95 \times 1,85 \times 12}{2 \cdot \cos 30 \cdot (20000 \cdot 0,70 - 0,6 \cdot 15,95)} \\&= 0,0146 \text{ inch}\end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 3 mm

Perhitungan Pengaduk

- Jenis pengaduk yang digunakan adalah *45° pitch six-blade open turbine* dengan 4 *baffles* [18], pp 142
- Kecepatan agitator (N) : 500 rpm [11]
- Rasio geometri pengaduk : [18], Tabel 3.4-1

$\frac{Da}{ID} = 0,33$	$\frac{E}{ID} = 0,33$	$\frac{L}{Da} = 0,25$	$\frac{W}{Da} = 0,125$	$\frac{J}{ID} = \frac{1}{12}$
------------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	-------------------------------

Dimana : ID = Diameter tangki

Da = Diameter pengaduk

W = Lebar pengaduk

L = Panjang pengaduk

J = Lebar baffle

E = Jarak pengaduk dengan dasar tangki

$$\frac{Da}{ID} = 0,33$$

$$Da = 0,33 \times 0,56$$
$$= 0,19 \text{ m}$$

$$\frac{E}{ID} = 0,33$$

$$E = 0,33 \times 0,56$$
$$= 0,19 \text{ m}$$

$$\frac{L}{Da} = 0,25$$

$$L = 0,25 \times 0,19$$

$$= 0,05 \text{ m}$$

$$\frac{W}{Da} = 0,125$$

$$W = 0,125 \times 0,19$$

$$= 0,02 \text{ m}$$

$$\frac{J}{ID} = \frac{1}{12}$$

$$J = 0,56 \times \frac{1}{12}$$

$$= 0,05 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{sg \times H_L}{ID}$$

$$= \frac{0,84 \times \left(\frac{3,43}{3,2808} \right)}{0,56} = 1,57 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\rho_{\text{slurry}} = 838,93 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{campuran}} = \mu_{\text{mineral Oil}} = 14,2 \text{ cst} = 0,0119 \text{ kg/m.s}$$

$$N_{Re} = \frac{Da^2 \times N \times \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(0,19 \text{ m})^2 \times \left(\frac{500}{60} \right) \text{ rps} \times 838,93 \text{ kg/m}^3}{0,0119 \text{ kg/m.s}}$$

$$= 21.208,24$$

Dari [18], *figure 3.4-5*, untuk jenis *45° pitch six-blade open turbine* dengan 4 *baffles*, dengan harga $N_{Re} = 21.208,24$ didapat harga $N_p = 1,2$

$$P = N_p \cdot N^3 \cdot D a^5 \cdot \rho \quad [18], \text{Eq. 3.4-2}$$

$$= 1,2 \cdot \left(\frac{500}{60} \right)^3 \text{ rps} \cdot (0,19 \text{ m})^5 \cdot 838,93 \text{ kg/m}^3$$

$$= 144,25 \text{ J/s}$$

Untuk 2 pengaduk, $P = 2 \times 144,25 \text{ J/s} = 288,50 \text{ J/s}$

$$\text{Efisiensi motor} = 80\% \quad [24], \text{Fig. 2.4}$$

$$\begin{aligned} \text{Power motor} &= \frac{100}{80} \times 288,50 \text{ J/s} \\ &= 360,63 \text{ J/s} \approx 360,63 \text{ W} \\ &= 0,48 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Kapasitas motor terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 0,5 Hp

Perhitungan Jaket pemanas

Ditetapkan :

- Fluida panas yang digunakan adalah oli dengan suhu 170°C .
- Nilai R_d ditetapkan $0,007 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ [12], Tabel 11-3
- Tinggi jaket pemanas $\approx$ tinggi liquid
- Jaket spacing ditetapkan 5 cm
- k mineral oil $= 0,168 \text{ W/m.K}$ [18], App. A.4-2
- C_p lotion $= 3,757 \text{ kJ/kg.K}$

Properties fluida dingin (pasta) menggunakan pengaduk :

Nilai h dapat dihitung menggunakan :

$$\frac{h_i \cdot ID}{k} = a \left(\frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \right)^b \times \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^m \quad [18], \text{ pp 326}$$

Dimana : h = koefisien perpindahan panas konveksi, $W/m^2 \cdot K$

k = konduktivitas thermal, $W/m \cdot K$

c_p = kapasitas panas, $kJ/kg \cdot K$

μ = viskositas fluida, $kg/m \cdot s$

μ_w = viskositas fluida pada suhu T_w , $kg/m \cdot s$

ID = diameter tangki, m

Untuk pengaduk 45° *pitch blade turbine agitator with baffles*, koefisien transfer

panas : [18], pp 327

Tabel C.4. Koefisien transfer panas 45° *pitch blade turbine turbine agitator*

A	B	m
0,74	2/3	0,14

$$\frac{h_i \cdot 0,56 \text{ m}}{0,168 \frac{W}{m \cdot K}} = 0,74 \left(\frac{(0,19 \text{ m})^2 \cdot \left(\frac{500}{60} \right) \text{ rps} \cdot 838,93 \frac{kg}{m^3}}{0,0119 \frac{kg}{m \cdot s}} \right)^{\frac{2}{3}} \times \left(\frac{3,757 \frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 0,0119 \frac{kg}{ms} \cdot 1000 \frac{J}{kJ}}{0,168 \frac{W}{m \cdot K}} \right)^{1/3} \times (1)^{0,14}$$

$$\text{Asumsi} \rightarrow \mu_w \approx \mu = 0,0119 \frac{kg}{m \cdot s}$$

$$h_i = 1.094,08 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD} \quad [19], \text{ Eq. 6.5}$$

$$= 1.094,08 \times \frac{0,56}{0,566} = 1.082,48 \text{ W/m}^2 \cdot K$$

Properties fluida panas (oli) menggunakan pengaduk :

$$h_{o(oli)} = 1086,61 \text{ W/m}^2.\text{K} \quad [12], \text{ p.5-17}$$

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \quad [19], \text{ Eq. 6.38}$$

$$= \frac{1082,48 \times 1086,61}{1082,48 + 1086,61}$$

$$= 542,70 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$R_d = 0,007 \text{ m}^2.\text{K/W}$$

$$h_d = \frac{1}{R_d}$$

$$= \frac{1}{0,007}$$

$$= 142,86 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$U_d = \frac{U_c \times h_d}{U_c + h_d}$$

$$= \frac{542,70 \times 142,86}{542,70 + 142,86}$$

$$= 113,09 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Luas perpindahan panas dihitung sebagai berikut :

A = Luas selimut tangki + Luas konis

$$= \pi \cdot OD_{shell} \cdot H_{L\ shell} + \pi \left(\frac{OD_{shell}}{2} \cdot s - \frac{Dn}{2} \cdot a \right)$$

$$= \pi \cdot 0,566 \text{ m} \cdot 0,64 \text{ m} + \pi \cdot \left(\frac{0,566}{2} \cdot 0,56 - \frac{0,106}{2} \cdot 0,10 \right)$$

$$= 1,62 \text{ m}^2$$

Waktu untuk *mixing* dihitung sebagai berikut :

$$\ln \left(\frac{T_{oli} - t_1}{T_{oli} - t_2} \right) = \frac{U_d \times A \times \theta}{M \times C_p} \quad [19], \text{ pp 627}$$

Dimana : t_1 = suhu awal bahan, °K

t_2 = suhu akhir bahan, °K

U_D = overall heat transfer coefficient, $W/m^2.K$

A = luas permukaan jaket, m^2

θ = waktu tinggal, detik

M = massa bahan selama waktu θ , kg

C_p = kapasitas panas bahan, $kJ/kg.K$

$$\ln \left(\frac{443,15 \text{ K} - 303,15 \text{ K}}{428,15 \text{ K} - 348,15 \text{ K}} \right) = \frac{113,09 \frac{W}{m^2.K} \times 1,62 \times \theta}{168,75 \text{ kg} \times 3,757 \frac{kJ}{kg.K} \times \frac{1000 J}{kJ}}$$

$$\theta = 1936,58 \text{ detik} \approx 32,5 \text{ menit}$$

Debit oli dan waktu tinggal oli dihitung sebagai berikut :

1 hari dalam proses *mixing* lotion dilakukan sebanyak 2 batch, dimana untuk tiap batch membutuhkan waktu 32,5 menit. Maka oli yang dibutuhkan selama 1 batch akan dialirkan selama 32,5 menit.

$$Q \text{ yang disuplai oli} = 35.066.402 \frac{J}{batch} \quad [\text{Lampiran B}]$$

$$\rho \text{ oli pada } 170^\circ\text{C} = 870 \text{ kg/m}^3 \quad [12], 2-120$$

$$C_p \text{ oli pada } 170^\circ\text{C} = 2418,62 \text{ J/kg.K} \quad [12], 2-180$$

$$\text{massa oli} = \frac{Q}{C_p \Delta T}$$

$$= \frac{35.066.402 \frac{\text{J}}{\text{batch}}}{2418,62 \frac{\text{J}}{\text{kg.K}} \times (443,15 - 428,15)\text{K}}$$

$$= 966,57 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}$$

$$\text{debit oli} = \frac{966,57 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}}{870 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$= 1,11 \frac{\text{m}^3}{\text{batch}}$$

$$\text{Debit oli} = 1,11 \frac{\text{m}^3}{\text{batch}} \times \frac{1 \text{ batch}}{32,5 \text{ menit}}$$

$$= 0,04 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}}$$

$$\text{volume jaket} = \frac{\pi}{4} (D_j^2 - OD_{shell}^2) H_{L_dlms_{shell}} + \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} (D_j^2 - OD_{shell}^2) H_k$$

$$= \frac{\pi}{4} \times (0,666^2 - 0,566^2) \times 0,64 + \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times (0,666^2 - 0,566^2) \times 0,4$$

$$= 0,08 \text{ m}^3$$

SPESIFIKASI:

Nama : Tangki *pre-mixing and heating 1*

Kapasitas : 0,20 m³

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertikal yang dilengkapi dengan jaket pemanas dan pengaduk *45° pitch six-blade open turbine* 4 *baffle* dengan tutup atas berbentuk flat dan tutup bawah berbentuk konis.

Diameter : 0,56 m

Tinggi tangki total : 1,25 m

Tebal shell : 3 mm

Tebal tutup : 3 mm

Pengaduk : Jenis : *45° pitch six-blade open turbine*
Diameter : 0,19 m
Power : 0,5 Hp
Jumlah pengaduk : 2 buah

Jaket pemanas : Jaket spacing : 5 cm
Tinggi jaket : 1,05 m

Jumlah tangki : 1 buah

7. POMPA (L-111)

Fungsi : Mengalirkan campuran dari tangki *pre-mixing and heating I* menuju ke tangki *pre-mixing II, mixing and heating*

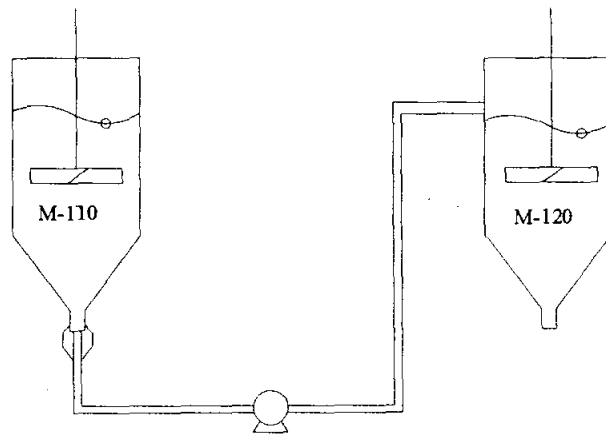
Tipe : *Positive Displacement pump*

T operasi = 75 °C

Massa bahan yang ditangani = 168,75 kg/batch

Waktu yang diinginkan = 5 menit

Perhitungan ΣF



1. Friksi pada pipa lurus

$$\Delta L = 6 \text{ m}$$

$$f = \frac{16}{N_{\text{Re}}} = \frac{16}{576,96} = 0,0277$$

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

$$= 4 \times 0,0277 \times \frac{6 \text{ m}}{102,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \times \frac{(0,08 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 0,5}$$

$$= 0,04 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

2. Sudden Enlargement

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

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$\begin{aligned}h_{ex} &= \frac{v^2}{2\alpha} \\&= \frac{\left(0,08 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 0,5} \\&= 0,01 \text{ m}^2/\text{s}^2\end{aligned}$$

3. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 17$$

$$\begin{aligned}hf &= Kf \times \frac{v^2}{2} \\&= 17 \times \frac{\left(0,08 \frac{m}{s}\right)^2}{2} \\&= 0,05 \text{ m}^2/\text{s}^2\end{aligned}$$

Digunakan 3 elbow 90°

$$\begin{aligned}hf &= 3 \cdot 0,05 \text{ m}^2/\text{s}^2 \\&= 0,15 \text{ m}^2/\text{s}^2\end{aligned}$$

4. Friksi untuk 1 Gate valve

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 24$$

$$\begin{aligned}hf &= Kf \times \frac{v^2}{2} \\&= 24 \times \frac{\left(0,08 \frac{m}{s}\right)^2}{2} \\&= 0,08 \text{ m}^2/\text{s}^2\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Friksi Total } (\Sigma F) &= (0,04 + 0,01 + 0,15 + 0,08) \text{ m}^2/\text{s}^2 \\ &= 0,28 \text{ m}^2/\text{s}^2\end{aligned}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha}(v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 0,5} \left((0,08 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2 \right) + 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot (0,97 \text{ m}) +$$

$$\frac{101,325 \text{ kg/m.s}^2 - 101,325 \text{ kg/m.s}^2}{838,93 \text{ kg/m}^3} + 0,28 \text{ m}^2/\text{s}^2 + W_s = 0$$

$$\begin{aligned}W_s &= -9,79 \text{ m}^2/\text{s}^2 \\ &= -9,79 \text{ J/kg}\end{aligned}$$

$$\eta \text{ pompa} = 70\%$$

[25]

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1.000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1.000}$$

$$= \frac{9,79 \text{ J/kg} \times 6,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \times 838,93 \text{ kg/m}^3}{0,70 \times 1.000}$$

$$= 0,01 \text{ kW}$$

$$\eta \text{ motor} = 80 \%$$

[24], Fig.2.4

$$\text{Power aktual} = \frac{0,01}{0,8} = 0,0125 \text{ kW}$$

Power pompa terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 0,12 kW

SPESIFIKASI :

Nama	: Pompa
Tipe	: <i>Positive Displacement pump</i>
Laju aliran pompa	: $6,71 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$
Ukuran pipa	: 4 in. sch.40
Panjang pipa total	: 6 m
<i>Fitting</i>	: 3 buah <i>elbow</i> 90° dan 1 buah <i>gate valve</i>
<i>Power</i> motor	: 0,12 kW
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i>
Jumlah	: 1 buah

8. TANGKI *PRE-MIXING AND HEATING II* (M-120)

Fungsi	: Mencampur bahan-bahan fase A dan fase C (Air, EDTA, propylene glycol, carbomer, PEG-40 stearat dan glyceryl monostearate) dan memanaskan, kemudian mencampurkan campuran fase A dan C dengan bahan-bahan fase B kemudian menghomogenkannya dengan <i>colloid mill</i>
Tipe	: Tangki berbentuk silinder vertikal yang dilengkapi dengan jaket pemanas dan pengaduk <i>45° pitch six-blade open turbine</i> 4 <i>baffle</i> serta <i>colloid mill</i> dengan tutup atas berbentuk flat dan tutup bawah berbentuk konis.
Bahan	: <i>Stainless Steel SA-240</i> tipe 304

Perhitungan tangki, jaket pemanas dan pengaduk 45° pitch six-blade open turbine

Ditetapkan :

- Satu hari dilakukan 2 batch untuk proses mixing
- Bahan konstruksi : Stainless Steel SA-240 tipe 304 [20], pp.496
- *Allowable stresses value* (f) dari SA-240 : 20.000 lb/in² [21], UG-32
- Las yang digunakan adalah *double welded butt joint* dengan efisiensi
(E) = 0,70 [21], Table UW-12
- $\frac{H}{ID} = 1,5$ [22], *rule of thumb*
- Sudut konis 60° [23], pp 96
- $\alpha = 30^\circ$
- Diameter nozzle (Dn) = 4 inch = 0,33 ft = 0,10 m [23], pp 96
- Perhitungan tangki dilakukan untuk volume terbesar yaitu volume fase A,
B dan C

Perhitungan Dimensi Tangki:

- Premixing II :
Suhu masuk *mixer* = 30 °C
Suhu keluar *mixer* = 75 °C
- Mixing :
Suhu masuk *mixer* = 75 °C
Suhu keluar *mixer* = 75 °C

Perhitungan Volume Tangki

Bahan	Kebutuhan		Densitas (kg/m ³)	Volume	
	per hari (kg)	per batch (kg)		m ³	ft ³
Air	2071,17	1035,585	974,82	1,0623	37,52
EDTA	1,08	0,54	900	6.10 ⁻⁴	0,02
Propylene glycol	108	54	1036	0,0521	1,84
Carbomer	27	13,5	1060	0,0127	0,45
PEG-40 stearat	43,2	21,6	1100	0,0196	0,69
Glyceryl monostearat	94,5	47,25	1200	0,0394	1,39
Mineral oil	94,50	47,25	840	0,0563	1,99
Asam stearat	45,90	22,95	870	0,0264	0,93
Cetyl alcohol	45,90	22,95	818	0,0281	0,99
Isopropyl palmitate	75,60	37,80	852	0,0444	1,57
Petrolatum	75,60	37,80	820	0,0461	1,63
Volume Total				49,02	

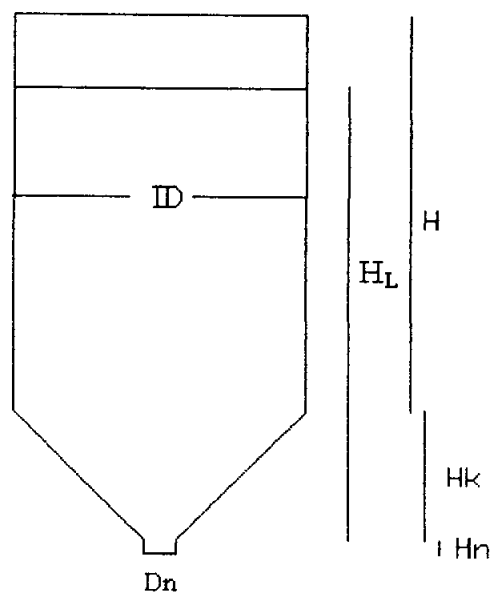
Sebagai contoh perhitungan, digunakan data untuk menghitung volume air,

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \frac{\text{kebutuhan (per batch)}}{\text{densitas}} \\ &= \frac{1035,585 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}}{974,82 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 1,0623 \text{ m}^3 = 37,52 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama, didapatkan volume untuk berbagai bahan yang masuk ke tangki *pre-mixing* I.

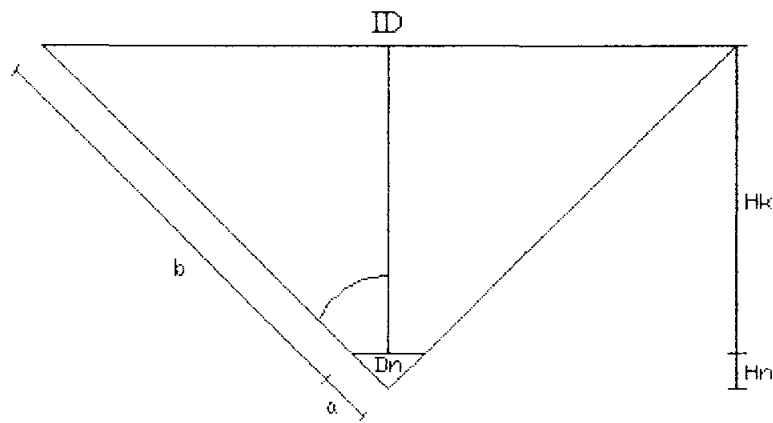
Ditetapkan : $V_{\text{total}} = 80\% \text{ Vol tangki}$

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= 49,02 \text{ ft}^3 \times \frac{100}{80} \\ &= 61,28 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$



Gambar C.3. Dimensi Tangki *Mixing*

- Keterangan:
- ID = diameter shell
 - H = tinggi shell
 - Hk = tinggi konis
 - Hn = tinggi nozzle
 - HL = tinggi liquid
 - Dn = diameter nozzle



Gambar C.4. Dimensi Konis

$$Hn = \frac{Dn}{2. \tan \alpha}$$

$$\begin{aligned} Hk &= \frac{ID}{2. \tan \alpha} - Hn = \frac{ID}{2. \tan \alpha} - \frac{Dn}{2. \tan \alpha} \\ &= \frac{ID - Dn}{2. \tan \alpha} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= V_{\text{shell}} + V_{\text{konis}} \\ &= \pi/4. (ID)^2. H + (1/3. \pi/4. ID^2. H_k - 1/3. \pi/4. Dn^2. Hn) \\ &= \pi/4. 1,5. (ID)^3 + (1/3. \pi/4. ID^2. \frac{ID}{2. \tan 30} - 1/3. \pi/4. Dn^2. \frac{Dn}{2. \tan 30}) \\ &= \pi/4. 1,5. (ID)^3 + 0,2267 (ID^3 - Dn^3) \end{aligned}$$

$$61,28 = \pi/4. 1,5. (ID)^3 + 0,2267 (ID^3 - (0,33)^3)$$

$$ID = 3,52 \text{ ft}$$

$$H = 1,5 \cdot 3,52 \text{ ft}$$

$$= 5,28 \text{ ft} \rightarrow \text{standarisasi } H = 5 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tangki}} &= V_{\text{shell}} + V_{\text{konis}} \\ &= \pi/4. (ID)^2. H + (1/3. \pi/4. ID^2. H_k - 1/3. \pi/4. Dn^2. Hn) \\ &= \pi/4. 1,5. (ID)^3 + (1/3. \pi/4. ID^2. \frac{ID}{2. \tan 30} - 1/3. \pi/4. Dn^2. \frac{Dn}{2. \tan 30}) \\ &= \pi/4. 1,5. (ID)^3 + 0,2267 (ID^3 - Dn^3) \end{aligned}$$

$$61,28 = \pi/4. (ID)^2. 5 + 0,2267 (ID^3 - (0,33)^3)$$

$$ID = 3,60 \text{ ft} \approx 1,10 \text{ m}$$

$$Hn = \frac{0,33 \text{ ft}}{2. \tan 30} = 0,29 \text{ ft} \approx 0,09 \text{ m}$$

$$H_k = \frac{3,60 \text{ ft} - 0,33 \text{ ft}}{2 \cdot \tan 30} = 2,83 \text{ ft} \approx 0,86 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{tangki total}} &= H_{\text{shell}} + H_k \\ &= 5,00 \text{ ft} + 2,83 \text{ ft} \\ &= 7,83 \text{ ft} \approx 2,39 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{shell}} &= \pi/4 \cdot H \cdot (ID)^2 \\ &= \pi/4 \cdot 5,00 \cdot (3,60)^2 \\ &= 50,89 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{konis}} &= 0,2267 (ID^3 - (0,33)^3) \\ &= 0,2267 ((3,60)^3 - (0,33)^3) \\ &= 10,57 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

$$a = \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0,10}{2}\right)^2 + 0,09^2} = 0,10 \text{ m}$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{ID}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{1,10}{2}\right)^2 + (0,86 + 0,09)^2} = 1,10 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} b &= s - a \\ &= 1,10 - 0,10 \\ &= 1,00 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_L &= V_{\text{shell}} + V_{\text{konis}} \\ 49,02 &= \pi/4 (3,60)^2 H_L + 10,57 \\ H_L &= 3,78 \text{ ft} \end{aligned}$$

$H_L \text{ total} = H_L \text{ dalam shell} + H_L \text{ dalam konis}$

$= 3,78 + 2,83$

$= 6,61 \text{ ft}$

Massa bahan padat yang masuk *mixer*

Tabel C.5. Komponen bahan padat masuk *mixer*

Komponen	Massa (kg)	Fraksi massa, xi	ρ (densitas), kg/m ³
EDTA	0,54	0,0035	900
PEG-40 stearate	21,60	0,1411	1100
Glyceryl monostearate	47,25	0,3087	1200
Asam stearat	22,95	0,1499	870
Cetyl alcohol	22,95	0,1499	818
Petrolatum	37,80	0,2469	820
Total	153,09	1,0000	

$\frac{1}{\rho_{\text{campuran}}} = \sum \frac{x_i}{\rho_i}$

$\frac{1}{\rho_{\text{campuran}}} = \left(\frac{0,0035}{900}\right) + \left(\frac{0,1411}{1100}\right) + \left(\frac{0,3087}{1200}\right) + \left(\frac{0,1499}{870}\right) + \left(\frac{0,1499}{818}\right) + \left(\frac{0,2469}{820}\right)$

$\rho_{\text{campuran padat}} = 955,97 \text{ kg/m}^3$

Massa bahan cair yang masuk *mixer*

Tabel C.6. Komponen bahan cair masuk *mixer*

Komponen	Massa (kg)	Fraksi massa, xi	ρ (densitas), kg/m ³
Air	1035,585	0,8716	995,68
Propylene glycol	54	0,0454	1036
Carbomer	13,50	0,0114	1060
Mineral oil	47,25	0,0398	840
Isopropyl palmitate	37,80	0,0318	852
Total	1188,135	1,0000	

$$\frac{1}{\rho_{campuran}} = \sum \frac{x_i}{\rho_i}$$

$$\frac{1}{\rho_{campuran}} = \left(\frac{0,8716}{995,68}\right) + \left(\frac{0,0454}{1036}\right) + \left(\frac{0,0114}{1060}\right) + \left(\frac{0,0398}{840}\right) + \left(\frac{0,0318}{852}\right)$$

$$\rho_{campuran\ cair} = 985,55\text{ kg/m}^3$$

Massa bahan total yang masuk *mixer*:

Tabel C.7. Komponen bahan total masuk *mixer*

Komponen	Massa (kg)	x _i	ρ (densitas), kg/m ³
Padat	153,09	0,1141	955,97
Cair	1188,135	0,8859	985,55
Total	1341,225	1,0000	

$$\varepsilon = \frac{\frac{x_{cair}}{\rho_{campurancir}}}{\frac{x_{cair}}{\rho_{campurancir}} + \frac{x_{padat}}{\rho_{campumpadat}}} \qquad [18], \text{ pp 820}$$

$$\varepsilon = \frac{\frac{0,8859}{985,55}}{\frac{0,8859}{985,55} + \frac{0,1141}{955,97}} = 0,88$$

$$\rho_{slurry} = \varepsilon \cdot \rho_{campuran\ cair} + (1-\varepsilon) \cdot \rho_{campuran\ padat} \qquad [18], \text{ pp 820}$$

$$\begin{aligned} \rho_{slurry} &= 0,88 \cdot 985,55 + (1-0,88) \cdot 955,97 \\ &= 982\text{ kg/m}^3 \approx 61,3045\text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{hidrostatik} &= \rho \cdot H_{L\text{ dalam shell}} / 144 \qquad [23], \text{ Eq. 3.17} \\ &= 61,3045 \cdot 3,78 / 144 \\ &= 1,61\text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\
 &= 1,61 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\
 &= 16,31 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{\text{shell}} &= \frac{P \times ID}{2(fE - 0,6P)} & [23], \text{Eq. 13.1} \\
 &= \frac{16,31 \times 3,60 \times 12}{2(20000 \times 0,70 - 0,6 \times 16,31)} \\
 &= 0,0252 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 3 mm.

$$\begin{aligned}
 P_{\text{hidrostatik}} &= \rho \cdot H_{L \text{ total}} / 144 & [23], \text{Eq. 3.17} \\
 &= 61,3045 \cdot 6,61 / 144 \\
 &= 2,81 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\
 &= 2,81 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\
 &= 17,51 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

$$t_{\text{konis}} = \frac{P \times ID}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} \quad [23], \text{Eq. 2.154}$$

$$\begin{aligned}
 t_{\text{konis}} &= \frac{17,51 \times 3,60 \times 12}{2 \cdot \cos 30 \cdot (20000 \cdot 0,70 - 0,6 \cdot 17,51)} \\
 &= 0,0312 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 3 mm.

Perhitungan Pengaduk

- Jenis pengaduk yang digunakan adalah *45° pitch six-blade open turbine* dengan 4 *baffles* [18], pp 142
- Kecepatan agitator (N) : 500 rpm [11]
- Rasio geometri pengaduk : [18], Tabel 3.4-1

$\frac{Da}{ID} = 0,33$	$\frac{E}{ID} = 0,33$	$\frac{L}{Da} = 0,25$	$\frac{W}{Da} = 0,125$	$\frac{J}{ID} = \frac{1}{12}$
------------------------	-----------------------	-----------------------	------------------------	-------------------------------

Dimana : ID = Diameter tangki

Da = Diameter pengaduk

W = Lebar pengaduk

L = Panjang pengaduk

J = Lebar baffle

E = Jarak pengaduk dengan dasar tangki

$$\frac{Da}{ID} = 0,33$$

$$Da = 0,33 \times 1,10$$
$$= 0,36 \text{ m}$$

$$\frac{E}{ID} = 0,33$$

$$E = 0,33 \times 1,10$$
$$= 0,36 \text{ m}$$

$$\frac{L}{Da} = 0,25$$

$$L = 0,25 \times 0,36$$

$$= 0,09 \text{ m}$$

$$\frac{W}{Da} = 0,125$$

$$W = 0,125 \times 0,36$$

$$= 0,05 \text{ m}$$

$$\frac{J}{ID} = \frac{1}{12}$$

$$J = \frac{1}{12} \times 1,10$$

$$= 0,09 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah pengaduk} = \frac{sg \times H_L}{ID}$$

$$= \frac{0,982 \times \left(\frac{6,61}{3,2808} \right)}{1,10} = 1,80 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\rho_{\text{slurry}} = 982 \text{ kg/m}^3$$

$$(\mu_{\text{campuran}})^{1/3} = (x_1 \cdot \mu_1^{1/3} + x_2 \cdot \mu_2^{1/3} + \dots)$$

$$= (0,8550 \cdot 0,025^{1/3} + 0,1450 \cdot 0,0119^{1/3})$$

$$\mu_{\text{campuran}} = 0,0227 \text{ kg/m.s}$$

$$N_{RE} = \frac{Da^2 \times N \times \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(0,36 \text{ m})^2 \times \left(\frac{500}{60} \right) \text{ rps} \times 982 \text{ kg/m}^3}{0,0227 \text{ kg/m.s}}$$

$$= 46.720,71$$

Dari *figure 3.4-5*, Geankopolis, untuk jenis *45° pitch six-blade open turbine* dengan 4 *baffles*, dengan harga $N_{Re} = 46.720,71$ didapat harga $N_p = 1,2$

$$P = N_p \cdot N^3 \cdot D a^5 \cdot \rho \quad [18], \text{Eq. 3.4-2}$$

$$\begin{aligned} &= 1,2 \cdot \left(\frac{500}{60} \right)^3 \text{ rps} \cdot (0,36 \text{ m})^5 \cdot 982 \text{ kg/m}^3 \\ &= 4123,46 \text{ J/s} \end{aligned}$$

Untuk 2 pengaduk, $P = 4.123,46 \times 2 = 8.246,92 \text{ J/s}$

$$\text{Efisiensi motor} = 88 \% \quad [24], \text{Fig. 2.4}$$

$$\begin{aligned} \text{Power motor} &= \frac{100}{88} \times 8.246,92 \text{ J/s} \\ &= 9.371,49 \text{ J/s} \approx 9.371,49 \text{ W} \\ &= 12,57 \text{ Hp} \end{aligned}$$

Motor terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 15 Hp

Perhitungan Jaket pemanas

Ditetapkan :

- Fluida panas yang digunakan adalah oli dengan suhu 170°C .
- Nilai R_d ditetapkan $0,007 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ [12], Tabel 11-3
- Tinggi jaket pemanas $\approx$ tinggi liquid
- Jaket *spacing* ditetapkan 5 cm
- $k_{\text{lotion}} = 1,2 \cdot k_{\text{air}}$

$$C_p \text{ lotion} = 3,757 \text{ kJ/kg.K}$$

$$k_{\text{av air}} = 0,6629 \text{ W/m.K}$$

$$\begin{aligned} k_{\text{lotion}} &= 1,2 \cdot 0,6629 \text{ W/m.K} \\ &= 0,7955 \text{ W/m.K} \end{aligned}$$

Properties fluida dingin (pasta) menggunakan pengaduk :

Nilai h dapat dihitung menggunakan :

$$\frac{h \cdot ID}{k} = a \left(\frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \right)^b \times \left(\frac{Cp \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^m \quad [18], \text{ pp 326}$$

Dimana : h = koefisien perpindahan panas konveksi, W/m².K

k = konduktivitas thermal, W/m.K

c_p = kapasitas panas, kJ/kg.K

μ = viskositas fluida, kg/m.s

μ_w = viskositas fluida pada suhu T_w, kg/m.s

ID = diameter tangki, m

Untuk pengaduk 45° *pitch blade turbine agitator with baffles*, koefisien transfer

panas : [18], pp 327

Tabel C.8. Koefisien transfer panas 45° *pitch blade turbine turbine agitator*

a	B	m
0,74	2/3	0,14

$$\frac{h_i \cdot 1,10 \text{ m}}{0,7955 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}} = 0,74 \left(\frac{(0,36 \text{ m})^2 \left(\frac{500}{60} \right) \text{ rps} \cdot 982 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,0227 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}} \right)^{\frac{2}{3}} \times \left(\frac{3,757 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \cdot 0,0227 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}} \cdot 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}}{0,7955 \frac{\text{W}}{\text{m.K}}} \right)^{\frac{1}{3}} \times (1)^{0,14}$$

$$\text{Asumsi} \rightarrow \mu_w \approx \mu = 0,0227 \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}$$

$$h_i = 3.297,83 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD} \quad [19], \text{ Eq. 6.5}$$

$$= 3.297,83 \times \frac{1,10}{1,106} = 3.279,94 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Properties fluida panas (oli) menggunakan pengaduk :

$$h_{o(oli)} = 1086,61 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \quad [\text{Lampiran B}]$$

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} \quad [19], \text{Eq. 6.38}$$

$$= \frac{3279,94 \times 1086,61}{3279,94 + 1086,61}$$

$$= 816,21 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$R_d = 0,007 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$h_d = \frac{1}{R_d}$$

$$= \frac{1}{0,006}$$

$$= 142,86 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

$$U_d = \frac{U_c \times h_d}{U_c + h_d}$$

$$= \frac{816,21 \times 142,86}{816,21 + 142,86}$$

$$= 121,58 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Luas perpindahan panas dihitung untuk volume *pre-mixing* II, sehingga tinggi jaket sama dengan tinggi liquid untuk volume *pre-mixing* II. Luas perpindahan panas dihitung sebagai berikut :

$$V_L = V_{\text{shell}} + V_{\text{konis}}$$

$$41,91 = \pi/4 (3,60)^2 H_L + 10,57$$

$$H_L = 3,08 \text{ ft} \approx 0,94 \text{ m}$$

A = Luas selimut tangki + Luas konis

$$\begin{aligned}
 &= \pi \cdot OD_{shell} \cdot H_{L, shell} + \pi \left(\frac{OD_{shell}}{2} \cdot s - \frac{Dn}{2} \cdot a \right) \\
 &= \pi \cdot 1,106 \text{ m} \cdot 0,94 \text{ m} + \pi \cdot \left(\frac{1,106}{2} \cdot 1,10 - \frac{0,106}{2} \cdot 0,10 \right) \\
 &= 5,16 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Tinggi jaket = $H_{L, shell} + H_{L, konis}$

$$= 0,94 \text{ m} + 0,86 \text{ m} = 1,8 \text{ m}$$

Waktu mixing dihitung sebagai berikut:

$$\ln \left(\frac{T_{oli} - t_1}{T_{oli} - t_2} \right) = \frac{U_d \times A \times \theta}{M \times Cp} \quad [19], \text{ pp 627}$$

Dimana : t_1 = suhu awal bahan, °K

t_2 = suhu akhir bahan, °K

U_d = overall heat transfer coefficient, $W/m^2.K$

A = luas permukaan jaket, m^2

θ = waktu tinggal, detik

M = massa bahan selama waktu θ , kg

C_p = kapasitas panas bahan, $kJ/kg.K$

$$\ln \left(\frac{443,15 \text{ K} - 303,15 \text{ K}}{428,15 \text{ K} - 348,15 \text{ K}} \right) = \frac{121,58 \text{ W/m}^2.K \times 5,16 \text{ m}^2 \times \theta}{1172,475 \text{ kg} \times 3,757 \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}}$$

$$\theta = 3929,37 \text{ s} \approx 65 \text{ menit}$$

Debit oli dan waktu tinggal oli dihitung sebagai berikut :

1 hari dalam proses *mixing* lotion dilakukan sebanyak 2 batch, dimana untuk tiap batch membutuhkan waktu 65 menit. Maka oli yang dibutuhkan selama 1 batch akan dialirkan selama 65 menit.

$$Q \text{ yang disuplai oli} = 242.239.010 \frac{J}{batch} \quad [\text{Lampiran B}]$$

$$\rho \text{ oli pada } 170^{\circ}\text{C} = 870 \text{ kg/m}^3 \quad [12], 2-120$$

$$C_p \text{ oli pada } 170^{\circ}\text{C} = 2418,62 \text{ J/kg.K} \quad [12], 2-186$$

$$\begin{aligned} \text{massa oli} &= \frac{Q}{C_p \Delta T} \\ &= \frac{242.239.010 \frac{J}{batch}}{2418,62 \frac{J}{kg.K} \times (443,15 - 428,15)K} \\ &= 6677,06 \frac{kg}{batch} \\ \text{debit oli} &= \frac{6677,06 \frac{kg}{batch}}{870 \frac{kg}{m^3}} \\ &= 7,68 \frac{m^3}{batch} \end{aligned}$$

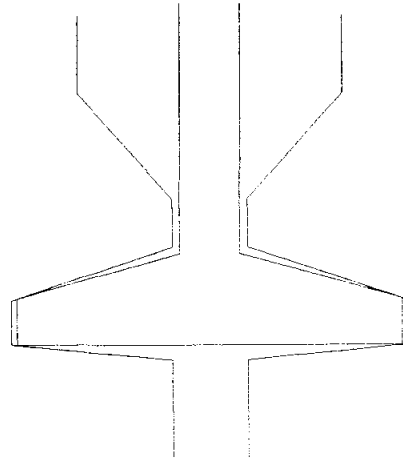
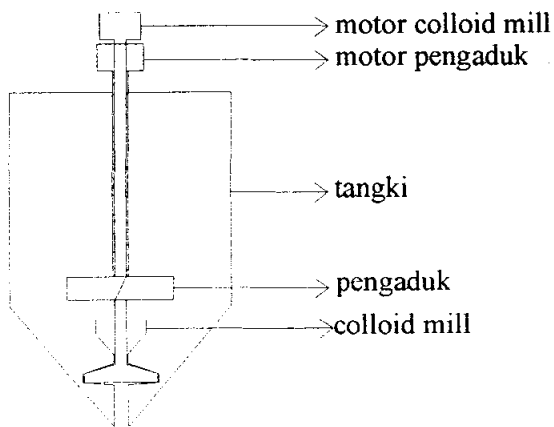
$$\begin{aligned} \text{Debit oli} &= 7,68 \frac{m^3}{batch} \times \frac{1 batch}{65 menit} \times \frac{60 menit}{1 jam} \\ &= 7,09 \frac{m^3}{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{volume jaket} &= \frac{\pi}{4} (D_j^2 - OD_{shell}^2) H_{L_dimshell} + \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} (D_j^2 - OD_{shell}^2) H_k \\
 &= \frac{\pi}{4} \times (1,206^2 - 1,106^2) \times 0,94 + \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times (1,206^2 - 1,106^2) \times 0,86 \\
 &= 0,22 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Perhitungan Colloid Mill

Ditetapkan :

- Diameter *colloid mill* = 10 cm [10]
- Jenis pengaduk yang digunakan adalah *propeller* [26]
- Kecepatan agitator (N) adalah 1450 rpm [26]
- Waktu homogenizer = 30 menit



Gambar C.5. Colloid Mill

$$\rho_{\text{slurry}} = 982 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{lotion}} = 0,0227 \text{ kg/m.s}$$

$$N_{RE} = \frac{Da^2 \times N \times \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(0,1 \text{ m})^2 \times \left(\frac{1450}{60}\right) \text{ rps} \times 982 \text{ kg/m}^3}{0,0227 \text{ kg/m.s}}$$

$$= 10454,48$$

Dari *figure 3.4-5*, Geankoplis, untuk jenis *propeler*, dengan harga $N_{RE} = 10454,48$

didapat harga $N_p = 0,4$

$$P = N_p \cdot N^3 \cdot Da^5 \cdot \rho \quad [18], \text{ Eq. 3.4-2}$$

$$= 0,4 \cdot \left(\frac{1450}{60}\right)^3 \text{ rps} \cdot (0,1 \text{ m})^5 \cdot 982 \text{ kg/m}^3$$

$$= 55,44 \text{ J/s}$$

$$\text{Efisiensi motor} = 80\% \quad [24], \text{ Fig. 2.4}$$

$$\text{Power motor} = \frac{100}{80} \times 55,44 \text{ J/s}$$

$$= 69,3 \text{ J/s} \approx 69,3 \text{ W}$$

$$= 0,10 \text{ Hp}$$

Motor terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 0,25 Hp

SPESIFIKASI TANGKI, JAKET, PENGADUK 45° PITCH BLADE OPEN

TURBINE

Nama : Tangki *pre-mixing and heating II*

Kapasitas : 1,39 m³

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertikal yang dilengkapi dengan jaket pemanas dan pengaduk *45° pitch six-blade open turbine*

4 *baffle* serta *colloid mill* dengan tutup atas berbentuk flat dan tutup bawah berbentuk konis.

Diameter : 1,10 m

Tinggi tangki total : 2,39 m

Tebal shell : 3 mm

Tebal tutup : 3 mm

Pengaduk : Jenis : *45° pitch six-blade open turbine*

Diameter : 0,36 m

Power : 15 Hp

Jumlah pengaduk : 2 buah

Jaket pemanas : Jaket spacing : 5 cm

Tinggi jaket : 1,8 m

Jumlah tangki : 1 buah

SPESIFIKASI COLLOID MILL:

Nama : *Colloid Mill*

Pengaduk : Jenis : *propeller*

Diameter : 0,10 m

Power : 0,25 Hp

Jumlah : 1 buah

9. POMPA (L-121)

Fungsi : Mengalirkan campuran dari tangki *pre-mixing II, mixing and heating, homogenizing* menuju ke tangki *mixing and cooling*

Tipe : *Positive Displacement pump*

T operasi = 75 °C

Massa bahan yang ditangani = 1341,225 kg/batch

Waktu pemompaan yang diinginkan = 5 menit

Trial turbulent flow :

$$\text{Laju alir media} = \frac{1.341,225 \text{ kg}}{300 \text{ detik}} = 4,47 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit} &= \frac{\text{laju alir media}}{\rho_{\text{slurry}}} \\ &= \frac{4,47 \text{ kg/s}}{982 \text{ kg/m}^3} \\ &= 4,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 0,1608 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter pipa = Dn = 4 in

Berdasarkan standar ukuran pipa [18], App.5-1, maka pipa yang digunakan adalah 4 in *sch* 40, dengan :

- ID = 102,3 mm
- OD = 114,34 mm
- A = 82,19.10⁻⁴ m²

$$v \text{ di pipa} = \frac{Q}{A} = \frac{4,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{82,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,55 \text{ m/s}$$

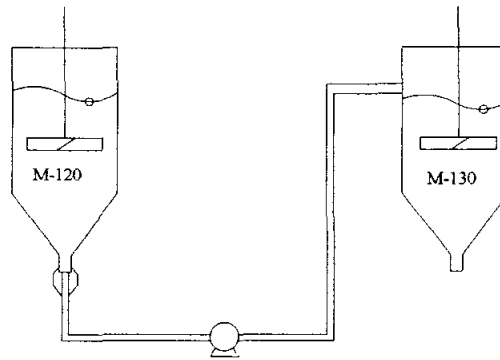
$$N_{\text{Re}} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{102,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \times 0,55 \text{ m/s} \times 982 \text{ kg/m}^3}{0,0227 \text{ kg/m.s}} = 2434,02 \text{ (turbulen)}$$

Aliran turbulen $\rightarrow \alpha = 1$

Jenis pipa yang digunakan : stainless steel.

Perhitungan friksi dilakukan pada pipa terpanjang sehingga untuk panjang pipa yang lebih pendek dianggap mampu melakukan pengaliran dengan power pompa yang sama.

Perhitungan ΣF



1. Friksi pada pipa lurus

$$\Delta L = 10 \text{ m}$$

Untuk, jenis stainless steel, $\varepsilon = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$ sehingga $\varepsilon/D = 0,0005$

Dengan $N_{Re} = 2434,02$ dan $\varepsilon/D = 0,0005$, dari [18], fig 2.10-3 didapatkan

$$f = 0,012$$

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2\alpha} \\ &= 4 \times 0,012 \times \frac{10 \text{ m}}{102,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \times \frac{(0,55 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 1} \\ &= 0,71 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

2. Sudden Enlargement

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

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (turbulen = 1)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

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

$$= \frac{\left(0,55 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 1}$$

$$= 0,15 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

3. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 0,75$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 0,75 \times \frac{\left(0,55 \frac{m}{s}\right)^2}{2}$$

$$= 0,11 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 4 elbow 90°

$$hf = 3 \cdot 0,11 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$= 0,44 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

4. Friksi untuk 2 Gate valve

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 0,17$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 0,17 \times \frac{(0,55 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$= 0,03 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 2 Gate valve

$$hf = 2 \cdot 0,03 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$= 0,06 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

5. Friksi untuk Tee

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 1$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 1 \times \frac{(0,55 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$= 0,15 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = (0,71 + 0,15 + 0,44 + 0,06 + 0,15) \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$= 1,51 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} \left((0,55 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2 \right) + 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot (0,01 \text{ m}) +$$

$$\frac{101,325 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2} - 101,325 \frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}^2}}{982 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} + 1,51 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2} + W_s = 0$$

$$W_s = -1,76 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}$$

$$= -1,76 \text{ J/kg}$$

$$\text{Efisiensi pompa} = 75\% \quad [25]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1.000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1.000}$$

$$= \frac{1,76 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \times 4,55 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{s}} \times 982 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{0,75 \times 1.000}$$

$$= 0,01 \text{ kW}$$

$$\text{Efisiensi motor} = 80\% \quad [24], \text{ Fig. 2.4}$$

$$\text{Power motor} = \frac{0,01}{0,80} = 0,013 \text{ kW}$$

Power pompa terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 0,12 kW

SPESIFIKASI :

Nama : Pompa

Tipe : *Positif Displacement pump*

Laju aliran pompa : $4,55 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$

Ukuran pipa	: 4 in. sch.40
Panjang pipa total	: 10 m
<i>Fitting</i>	: 4 buah <i>elbow</i> 90°, 2 buah <i>gate valve</i> dan 1 <i>tee</i>
<i>Power</i> motor	: 0,12 kW
Bahan konstruksi	: <i>stainless steel</i>
Jumlah	: 1 buah

10. TANGKI MIXING & COOLING (M-130)

Fungsi	: mendinginkan campuran serta mencampur campuran dengan bahan-bahan fase D
Tipe	: Tangki berbentuk silinder vertikal yang dilengkapi dengan jaket dan pengaduk <i>anchor paddle</i> dengan tutup atas berbentuk flat dan tutup bawah berbentuk konis.
Bahan	: <i>Stainless Steel SA-240</i> tipe 304

Ditetapkan :

- Satu hari dilakukan 2 batch untuk proses mixing
- Bahan konstruksi : *Stainless Steel SA-240* tipe 304 [20], pp.496
- *Allowable stress value* (f) dari SA-240 : 20.000 lb/in² [21], UG-32
- Las yang digunakan adalah *double welded butt joint* dengan efisiensi (E) = 0,70 [21], Table UW-12
- $\frac{H}{ID} = 1,5$ [22], *rule of thumb*
- Sudut konis 60° [23], pp 36
- $\alpha = 30^\circ$

- Diameter nozzle (Dn) = 4 inch = 0,33 ft = 0,10 m [23], pp 36
- Perhitungan dilakukan untuk volume terbesar yaitu mencampur *campuran* dari tangki *mixing* dengan bahan-bahan fase D.

Perhitungan Dimensi Tangki:

Suhu masuk *mixer* = 75 °C

Suhu keluar *mixer* = 40 °C

Volume slurry tangki *mixing* : 49,02 ft³

ρ slurry tangki *pre-mixing* I : 982 kg/m³ ≈ 61,30 lb/ft³

Perhitungan Volume Bahan Fase D

Bahan	Kebutuhan		Densitas (kg/m ³)	Volume	
	per hari (kg)	per batch (kg)		m ³	ft ³
Fragrance	4,05	2,025	850	0,0024	0,08
Tocopherol acetate	5,40	2,70	950	0,0028	0,10
Bahan aktif	8,10	4,05	1650	0,0025	0,09
			Volume Total	0,27	

Sebagai contoh perhitungan, digunakan data untuk menghitung volume fragrance,

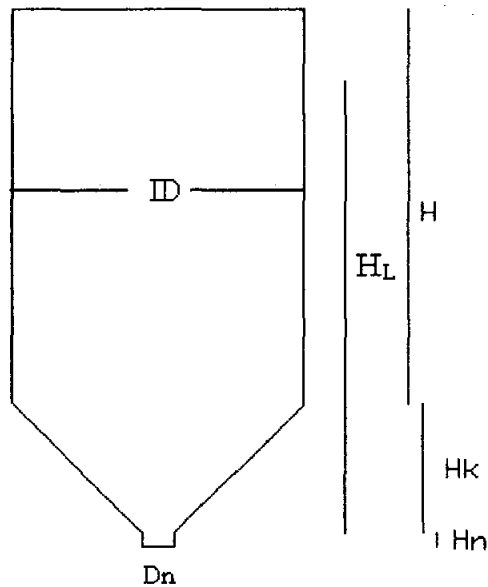
$$\begin{aligned} \text{Volume} &= \frac{\text{kebutuhan (perbatch)}}{\text{densitas}} \\ &= \frac{2,025 \frac{\text{kg}}{\text{hari}}}{850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,0024 \text{ m}^3 = 0,08 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Dengan cara perhitungan yang sama, didapatkan volume untuk berbagai bahan fase D.

$$\begin{aligned} \text{Volume bahan yang masuk mixer} &= 49,02 \text{ ft}^3 + 0,27 \text{ ft}^3 \\ &= 49,29 \text{ ft}^3 \approx 1,40 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

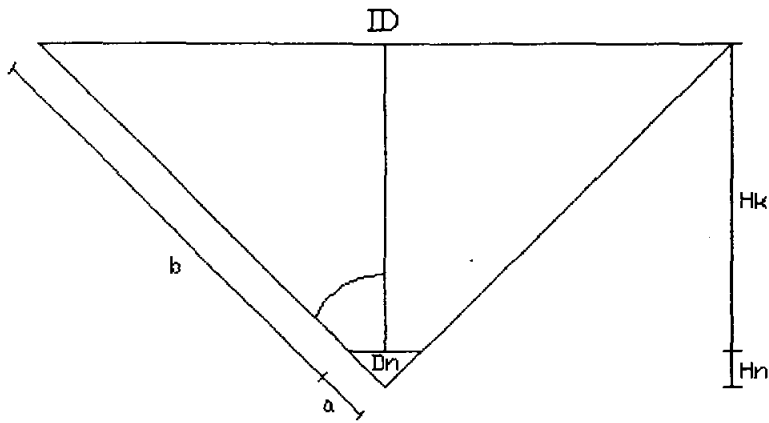
Ditetapkan : Volume total = 80% Vol tangki

$$V_{\text{tangki}} = 49,29 \text{ ft}^3 \times \frac{100}{80} = 61,61 \text{ ft}^3$$



Gambar C.6. Dimensi Tangki *Mixing*

Keterangan: ID = diameter shell
H = tinggi shell
H_k = tinggi konis
H_n = tinggi nozzle
H_L = tinggi liquid
D_n = diameter nozzle



Gambar C.7. Dimensi Konis

$$Hn = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$Hk = \frac{ID}{2 \cdot \tan \alpha} - Hn = \frac{ID}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$= \frac{ID - Dn}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{konis}}$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot (ID)^2 \cdot H + \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot ID^2 \cdot Hk - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Dn^2 \cdot Hn \right)$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot 1,5 \cdot (ID)^3 + \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot ID^2 \cdot \frac{ID}{2 \cdot \tan 30} - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Dn^2 \cdot \frac{Dn}{2 \cdot \tan 30} \right)$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot 1,5 \cdot (ID)^3 + 0,2267 (ID^3 - Dn^3)$$

$$61,61 = \frac{\pi}{4} \cdot 1,5 \cdot (ID)^3 + 0,2267 (ID^3 - (0,33)^3)$$

$$ID = 3,53 \text{ ft} \approx 1,08 \text{ m}$$

$$H = 1,5 \cdot 3,53$$

$$= 5,30 \text{ ft} \rightarrow \text{standarisasi } H = 5 \text{ ft}$$

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{konis}}$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot (ID)^2 \cdot H + \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot ID^2 \cdot H_k - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Dn^2 \cdot H_n \right)$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot 1,5 \cdot (ID)^3 + \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot ID^2 \cdot \frac{ID}{2 \cdot \tan 30} - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Dn^2 \cdot \frac{Dn}{2 \cdot \tan 30} \right)$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot 1,5 \cdot (ID)^3 + 0,2267 (ID^3 - Dn^3)$$

$$61,61 = \frac{\pi}{4} \cdot (ID)^2 \cdot 5 + 0,2267 (ID^3 - (0,33)^3)$$

$$ID = 3,60 \text{ ft} \approx 1,10 \text{ m}$$

$$H_n = \frac{0,33 \text{ ft}}{2 \cdot \tan 30} = 0,29 \text{ ft} \approx 0,09 \text{ m}$$

$$H_k = \frac{3,60 \text{ ft} - 0,33 \text{ ft}}{2 \cdot \tan 30} = 2,83 \text{ ft} \approx 0,86 \text{ m}$$

$$H_{\text{tangki total}} = H_{\text{shell}} + H_k$$

$$= 5 + 2,83 \text{ ft}$$

$$= 7,83 \text{ ft} \approx 2,39 \text{ m}$$

$$V_{\text{shell}} = \frac{\pi}{4} \cdot H \cdot (ID)^2$$

$$= \frac{\pi}{4} \cdot 5 \cdot (3,60)^2$$

$$= 50,89 \text{ ft}^3$$

$$V_{\text{konis}} = 0,2267 (ID^3 - (0,33)^3)$$

$$= 0,2267 ((3,60)^3 - (0,33)^3)$$

$$= 10,57 \text{ ft}^3$$

$$a = \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + H_n^2} = \sqrt{\left(\frac{0,10}{2}\right)^2 + 0,09^2} = 0,10 \text{ m}$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{ID}{2}\right)^2 + (H_k + H_n)^2} = \sqrt{\left(\frac{1,10}{2}\right)^2 + (0,86 + 0,09)^2} = 1,10 \text{ m}$$

$$b = s - a$$

$$= 1,10 - 0,10$$

$$= 1 \text{ m}$$

$$V_L = V_{\text{shell}} + V_{\text{konis}}$$

$$49,29 = \pi/4 (3,60)^2 H_L + 10,57$$

$$H_L = 3,80 \text{ ft}$$

$$H_L \text{ total} = H_L \text{ dalam shell} + H_L \text{ dalam konis}$$

$$= 3,80 + 2,83$$

$$= 6,63 \text{ ft} \approx 2,02 \text{ m}$$

Massa bahan padat yang masuk *mixer*

Tabel C.9. Komponen bahan padat masuk *mixer*

Komponen	Massa (kg)	xi	p (densitas), kg/m ³
Bahan aktif	4,05	1,0000	1650

Massa bahan cair yang masuk *mixer*

Tabel C.10. Komponen bahan cair masuk *mixer*

Komponen	Massa (kg)	xi	p (densitas), kg/m ³
Fragrance	2,025	0,4286	850
Tocopherol acetate	2,70	0,5714	950
Total	4,725	1,0000	

$$\frac{1}{\rho_{\text{campuran}}} = \sum \frac{x_i}{\rho_i}$$

$$\frac{1}{\rho_{\text{campuran}}} = \left(\frac{0,4286}{850} \right) + \left(\frac{0,5714}{950} \right)$$

$$\rho_{\text{campuran cair}} = 904,40 \text{ kg/m}^3$$

Massa bahan total yang masuk *mixer*:

Tabel C.11. Komponen bahan total masuk *mixer*

Komponen	Massa (kg)	xi	p (densitas), kg/m ³
Padat	4,05	0,4615	1650
Cair	4,725	0,5385	904,40
Total	8,775	1,0000	

$$\varepsilon = \frac{\frac{x_{\text{cair}}}{\rho_{\text{campuran cair}}}}{\frac{x_{\text{cair}}}{\rho_{\text{campuran cair}}} + \frac{x_{\text{padat}}}{\rho_{\text{campuran padat}}}} \quad [18], \text{ pp 820}$$

$$\varepsilon = \frac{\frac{0,5385}{904,40}}{\frac{0,5385}{904,40} + \frac{0,4615}{1650}} = 0,68$$

$$\rho_{\text{slurry}} = \varepsilon \cdot \rho_{\text{campuran cair}} + (1-\varepsilon) \cdot \rho_{\text{campuran padat}} \quad [18], \text{ pp 820}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{slurry}} &= 0,68 \cdot 904,40 + (1-0,68) \cdot 1650 \\ &= 1142,99 \text{ kg/m}^3 \approx 71,3545 \text{ lb/ft}^3 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{\rho_1 V_1 + \rho_2 V_2}{V_1 + V_2}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{61,30 \times 49,02 + 71,3545 \times 0,27}{49,02 + 0,27}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = 61,3560 \text{ lb/ft}^3 \approx 982,83 \text{ kg/m}^3$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_{\text{L dalam shell}} / 144 \quad [23], \text{ Eq. 3.17}$$

$$= 61,3560 \cdot 3,80 / 144$$

$$= 1,62 \text{ psi}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\ &= 1,62 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\ &= 16,32 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{shell}} &= \frac{P \times ID}{2(fE - 0,6P)} & [23], \text{Eq. 13.1} \\ &= \frac{16,32 \times 3,60 \times 12}{2(20000 \times 0,70 - 0,6 \times 16,32)} \\ &= 0,0252 \text{ inch} \end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 3 mm.

$$\begin{aligned} P_{\text{hidrostatik}} &= \rho \cdot H_{L \text{ total}} / 144 & [23], \text{Eq. 3.17} \\ &= 61,3560 \cdot 6,63 / 144 \\ &= 2,83 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\ &= 2,83 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\ &= 17,53 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$t_{\text{konis}} = \frac{P \times ID}{2 \cdot \cos \alpha (fE - 0,6P)} \quad [23], \text{Eq. 2.154}$$

$$\begin{aligned} t_{\text{konis}} &= \frac{17,53 \times 3,60 \times 12}{2 \cdot \cos 30 \cdot (20000 \cdot 0,70 - 0,6 \cdot 17,53)} \\ &= 0,0313 \text{ inch} \end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 3 mm.

Perhitungan Pengaduk

- Jenis pengaduk yang digunakan adalah *anchor paddle* [26]
- Kecepatan agitator (N) adalah 30 rpm [26]
- Rasio geometri pengaduk : [18], pp 160

$\frac{Da}{ID} = 0,9$	$\frac{E}{ID} = 0,05$	$\frac{W}{ID} = 0,1$
-----------------------	-----------------------	----------------------

Dimana : ID = Diameter tangki

Da = Diameter pengaduk

W = Lebar pengaduk

L = Panjang pengaduk

J = Lebar baffle

E = Jarak pengaduk dengan dasar tangki

$$\frac{Da}{ID} = 0,9$$

$$Da = 0,9 \times 1,10$$

$$= 0,99 \text{ m}$$

$$\frac{E}{ID} = 0,05$$

$$E = 0,05 \times 1,10$$

$$= 0,06 \text{ m}$$

$$\frac{W}{ID} = 0,1$$

$$W = 0,1 \times 1,10$$

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

$$\rho_{\text{slurry}} = 982,83 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{lotion}} = 30 \text{ kg/m.s}$$

$$N_{\text{RE}} = \frac{Da^2 \times N \times \rho}{\mu}$$

$$= \frac{(0,99 \text{ m})^2 \times \left(\frac{30}{60}\right) \text{ rps} \times 982,83 \text{ kg/m}^3}{30 \text{ kg/m.s}}$$

$$= 16,05$$

Untuk jenis *anchor paddle*

$$N_p = 215 N_{\text{Re}}^{-0,955} \quad [18], \text{ Eq. 3.4-3}$$

$$= 215 (16,05)^{-0,955}$$

$$= 15,18$$

$$P = N_p \cdot N^3 \cdot Da^5 \cdot \rho \quad [18], \text{ Eq. 3.4-2}$$

$$= 15,18 \cdot \left(\frac{30}{60}\right)^3 \text{ rps} \cdot (0,99 \text{ m})^5 \cdot 982,83 \text{ kg/m}^3$$

$$= 1.773,52 \text{ J/s}$$

$$\text{Efisiensi motor} = 86\% \quad [24], \text{ Fig. 2.4}$$

$$\text{Power motor} = \frac{100}{86} \times 1.773,52 \text{ J/s}$$

$$= 2.062,23 \text{ J/s} \approx 2.062,23 \text{ J/s W}$$

$$= 2,77 \text{ Hp}$$

Kapasitas motor terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 3 Hp

Perhitungan Jaket Pendingin

Kondisi :

Suhu *mixer* masuk : 75°C

Suhu *mixer* keluar : 40°C

Ditetapkan :

- *Cooling water* yang digunakan adalah air dengan suhu 30°C.
- Nilai R_d ditetapkan 0,007 m².K/W [12], Tabel 11-3
- Tinggi jaket pemanas $\approx$ tinggi liquid
- Jaket *spacing* ditetapkan 5 cm

C_p lotion = 3,757 kJ/kg.K

k lotion = 0,7955 W/m.K

Properties fluida panas menggunakan pengaduk :

Nilai h dapat dihitung menggunakan :

$$\frac{h_i \cdot ID}{k} = a \left(\frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} \right)^b \times \left(\frac{C_p \cdot \mu}{k} \right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^m \quad [18], \text{ pp 326}$$

Dimana : h = koefisien perpindahan panas konveksi, W/m².K

k = konduktivitas thermal, W/m.K

c_p = kapasitas panas, kJ/kg.K

μ = viskositas fluida, kg/m.s

μ_w = viskositas fluida pada suhu T_w , kg/m.s

ID = diameter tangki, m

Untuk pengaduk *anchor paddle*, koefisien transfer panas :

[12], Tabel 18-2

Tabel C.12. Koefisien transfer panas *anchor paddle*

a	b	m
1	1/2	0,18

$$\frac{h \cdot 1,10m}{0,7955 \frac{W}{m.K}} = 1 \cdot \left(\frac{(0,99m)^2 \cdot \left(\frac{30}{60}\right) \text{rpm} \cdot 982,83 \frac{kg}{m^3}}{30 \frac{kg}{m.s}} \right)^{\frac{1}{2}} \times \left(\frac{3,757 \frac{kJ}{kg.K} \cdot 30 \frac{kg}{ms} \cdot 1000 \frac{J}{kJ}}{0,7955 \frac{W}{m.K}} \right)^{\frac{1}{3}} \times (1)^{0,18}$$

$$\text{Asumsi} \rightarrow \mu_w \approx \mu = 30 \frac{kg}{m.s}$$

$$h_i = 181,35 \text{ W/m}^2.K$$

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD}$$

$$= 181,35 \times \frac{1,10}{1,106} = 180,37 \text{ W/m}^2.K$$

Properties fluida dingin (*cooling water*) menggunakan pengaduk :

$$h_{o(cw)} = 1155 \text{ btu/jam.ft}^2.^{\circ}\text{F} \approx 6558,44 \text{ W/m}^2.K$$

[19], pp 157

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o}$$

[19], Eq. 6.38

$$= \frac{180,37 \times 6558,44}{180,37 + 6558,44}$$

$$= 175,54 \text{ W/m}^2.K$$

$$R_d = 0,007 \text{ m}^2.K/W$$

$$h_d = \frac{1}{R_d}$$

$$= \frac{1}{0,007}$$

$$= 142,86 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

$$U_d = \frac{U_c \times h_d}{U_c + h_d}$$

$$= \frac{175,54 \times 142,86}{175,54 + 142,86}$$

$$= 78,76 \text{ W/m}^2.\text{K}$$

Luas perpindahan panas dihitung sebagai berikut :

A = Luas selimut tangki + Luas konis

$$= \pi \cdot OD_{shell} \cdot H_{L\ shell} + \pi \left(\frac{OD_{shell}}{2} \cdot s - \frac{Dn}{2} \cdot a \right)$$

$$= \pi \cdot 1,106 \text{ m} \cdot 1,16 \text{ m} + \pi \cdot \left(\frac{1,106}{2} \cdot 1,10 - \frac{0,106}{2} \cdot 0,10 \right)$$

$$= 5,93 \text{ m}^2$$

Waktu *mixing* dihitung sebagai berikut :

$$\ln \left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2} \right) = \frac{U_D \times A \times \theta}{M \times C_p}$$

[19], pp 627

Dimana : T_1 = suhu awal bahan, °K

T_2 = suhu akhir bahan, °K

U_D = overall heat transfer coefficient, $\text{W/m}^2.\text{K}$

A = luas permukaan jaket, m^2

θ = waktu tinggal, detik

M = massa bahan selama waktu θ , kg

C_p = kapasitas panas bahan, kJ/kg.K

$$\ln \left(\frac{348,15 \text{ K} - 303,15 \text{ K}}{313,15 \text{ K} - 305,65 \text{ K}} \right) = \frac{78,76 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K} \times 5,93 \times \theta}{1350 \text{ kg} \times 3,757 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \times 1000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}}$$

$$\theta = 19457,82 \text{ detik} \approx 325 \text{ menit}$$

Debit *cooling water* dan waktu tinggal *cooling water* dihitung sebagai berikut :

1 hari dalam proses *mixing* lotion dilakukan sebanyak 2 batch, dimana untuk tiap batch membutuhkan waktu 327,5 menit. Maka *cooling water* yang dibutuhkan selama 1 batch akan dialirkan selama 327,5 menit.

$$Q \text{ yang dilepas} = 207.857.224 \frac{\text{J}}{\text{batch}} \quad [\text{Lampiran B}]$$

$$T_{av} = \left(\frac{T_{keluar} - T_{masuk}}{2} \right)$$

$$= \left(\frac{32,5^\circ \text{C} - 30^\circ \text{C}}{2} \right) = 31,25^\circ \text{C}$$

$$C_p \text{ pada } T_{av} = 4,181 \text{ kJ/kg.K}$$

$$C_p \cdot dT = 4,181 \text{ kJ/kg.K} \cdot (305,5 - 303) \text{ K}$$

$$= 10,45 \text{ kJ/kg}$$

$$\rho \text{ air pada } T_{av} = 994,8225 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{massa } cw = \frac{Q}{C_p \cdot dT}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{207.857.224 \frac{\text{J}}{\text{batch}}}{10,45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \times 1.000 \frac{\text{J}}{\text{kJ}}} \\
 &= 19890,64 \frac{\text{kg}}{\text{batch}} \\
 \text{debit } cw &= \frac{19890,64 \frac{\text{kg}}{\text{batch}}}{994,8225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \\
 &= 20 \frac{\text{m}^3}{\text{batch}} \\
 \text{Debit } cw &= 20 \frac{\text{m}^3}{\text{batch}} \times \frac{1 \text{ batch}}{325 \text{ menit}} \times \frac{60 \text{ menit}}{1 \text{ jam}} \\
 &= 3,69 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \\
 \text{volume jaket} &= \frac{\pi}{4} (D_j^2 - OD_{\text{shell}}^2) H_{L_dlms\text{shell}} + \frac{1}{3} \frac{\pi}{4} (D_j^2 - OD_{\text{shell}}^2) H_k \\
 &= \frac{\pi}{4} \times (1,206^2 - 1,106^2) \times 1,16 + \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times (1,206^2 - 1,106^2) \times 0,86 \\
 &= 0,26 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

SPESIFIKASI:

Nama : Tangki *mixing and cooling*

Kapasitas : 1,40 m³

Tipe	: Tangki berbentuk silinder vertikal yang dilengkapi dengan jaket pendingin dan pengaduk <i>anchor paddle</i> dengan tutup atas berbentuk flat dan bawah berbentuk konis	
Diameter	: 1,10 m	
Tinggi tangki total	: 2,39 m	
Tebal shell	: 3 mm	
Tebal tutup	: 3 mm	
Pengaduk	Jenis	: <i>anchor paddle</i>
	Diameter	: 0,99 m
	Power	: 3 Hp
Jaket pemanas	Jaket spacing	: 5 cm
	Tinggi jaket	: 2,02 m
Jumlah tangki	: 1 buah	

11. POMPA (L-131)

Fungsi : Mengalirkan *campuran* dari tangki *mixing and cooling* menuju ke tangki penyimpanan produk

Tipe : *Positive displacement pump*

Perhitungan

T operasi = 40 °C

Massa bahan yang ditangani = 1350 kg/batch

Waktu yang diinginkan = 30 menit

Trial laminar flow

$$\text{Laju alir media} = \frac{1350 \text{ kg}}{1800 \text{ detik}} = 0,75 \text{ kg/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Debit} &= \frac{\text{laju alir media}}{\rho_{\text{slurry}}} \\ &= \frac{0,75 \text{ kg/s}}{982,83 \text{ kg/m}^3} \\ &= 7,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} = 0,0269 \text{ ft}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Diameter pipa = Dn = 4 in

Berdasarkan standar ukuran pipa [18], App.5-1, maka pipa yang digunakan adalah 4 in *sch* 40, dengan :

- ID = 102,3 mm
- OD = 114,34 mm
- A = $82,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$$V \text{ di pipa} = \frac{Q}{A} = \frac{7,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{82,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,09 \text{ m/s}$$

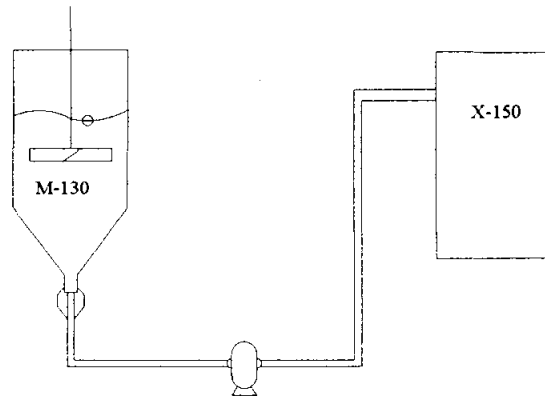
$$N_{\text{Re}} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{102,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \times 0,09 \text{ m/s} \times 982,83 \text{ kg/m}^3}{30 \text{ kg/m.s}} = 0,31 \text{ (laminar)}$$

Aliran laminar $\rightarrow \alpha = 1/2$

Jenis pipa yang digunakan : *stainless steel*.

Perhitungan friksi dilakukan pada pipa terpanjang sehingga untuk panjang pipa yang lebih pendek dianggap mampu melakukan pengaliran dengan power pompa yang sama.

Perhitungan ΣF



1. Friksi pada pipa lurus

$$\Delta L = 6 \text{ m}$$

$$f = \frac{16}{N_{Re}} = \frac{16}{0,31} = 51,61$$

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2\alpha} \\ &= 4 \times 51,61 \times \frac{6 \text{ m}}{102,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \times \frac{(0,09 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 0,5} \\ &= 98,08 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

2. Sudden Enlargement

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

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

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

$$\begin{aligned} &= \frac{\left(0,09 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 0,5} \\ &= 0,01 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

3. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 17$$

$$\begin{aligned} hf &= Kf \times \frac{v^2}{2} \\ &= 17 \times \frac{\left(0,09 \frac{m}{s}\right)^2}{2} \\ &= 0,07 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

Digunakan 3 elbow 90°

$$\begin{aligned} hf &= 3 \cdot 0,07 \text{ m}^2/\text{s}^2 \\ &= 0,21 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

4. Friksi untuk 1 Gate valve

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 24$$

$$\begin{aligned} hf &= Kf \times \frac{v^2}{2} \\ &= 24 \times \frac{\left(0,09 \frac{m}{s}\right)^2}{2} \\ &= 0,10 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

5. Friksi untuk 1 Tee

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 9$$

$$\begin{aligned}
 hf &= Kf \times \frac{v^2}{2} \\
 &= 9 \times \frac{(0,09 \text{ m/s})^2}{2} \\
 &= 0,04 \text{ m}^2/\text{s}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Friksi Total } (\Sigma F) &= (0,01 + 98,08 + 0,21 + 0,10 + 0,04) \text{ m}^2/\text{s}^2 \\
 &= 98,44 \text{ m}^2/\text{s}^2
 \end{aligned}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \Sigma F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 0,5} \left((0,09 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2 \right) + 9,8 \text{ m/s}^2 (-0,28 \text{ m}) +$$

$$\frac{101,325 \text{ kg/m.s}^2 - 101,325 \text{ kg/m.s}^2}{982,83 \text{ kg/m}^3} + 98,44 \text{ m}^2/\text{s}^2 + W_s = 0$$

$$W_s = - 95,66 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$= - 95,66 \text{ J/kg}$$

Efisiensi pompa = 75%

[25]

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1.000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1.000}$$

$$= \frac{95,66 \text{ J/kg} \times 7,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s} \times 982,83 \text{ kg/m}^3}{0,75 \times 1.000}$$

$$= 0,10 \text{ kW} \approx 0,14 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80%

[24], Fig. 2.4

$$\text{Power aktual} = \frac{0,14}{0,8} = 0,18 \text{ Hp}$$

Power pompa terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 0,25 Hp

SPESIFIKASI :

Nama : Pompa

Tipe : *Positive Displacement pump*

Laju aliran pompa : $7,63 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$

Ukuran pipa : 4 in *sch* 40

Panjang pipa total : 6 m

Fitting : 3 buah *elbow* 90°, 1 buah *gate valve* dan 1 *tee*

Power motor : 0,25 Hp

Bahan konstruksi : *stainless steel*

Jumlah : 1 buah

12. Filling Machine (X-140)

Fungsi : Mengisikan lotion ke dalam tube-tube

Tipe : “YPMPL” *Automatic tube-filling, sealing, coding machine*

Kapasitas : 40 sampai 60 tube/menit

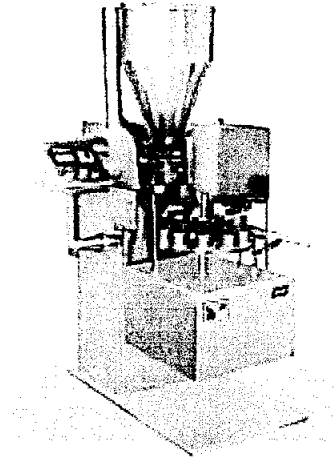
Volume pengisian tube : 50-200 ml

Dimensi mesin : - panjang = 1,45 m

- lebar = 1,15 m

- tinggi = 1,75 m

Power mesin : 2,5 KW = 3,35 Hp



Gambar C.8. Filling Machine

Keunggulan :

- Tersedia 3 pilihan volume pengisian :
 - a) 1–5 ml sampai 50 ml
 - b) 50 ml sampai 100 ml
 - c) 100 ml sampai 200 ml
- *Container* bersifat tahan asam
- Dilengkapi dengan sensor pengisian (jika tidak ada tube, mesin tidak akan melakukan pengisian)

Kapasitas yang diinginkan pada pabrik *hand and body lotion* :

- Untuk kemasan 60 gram, kapasitas mesin *filling machine* 60 tube/menit
- Untuk kemasan 120 gram, kapasitas mesin *filling machine* 50 tube/menit

Sehingga waktu pengisian dapat dihitung sebagai berikut:

- Untuk kemasan 60 gram,

$$t = \frac{45.000 \text{ tube/hari}}{60 \text{ tube/menit} \times 3 \text{ mesin} \times 2 \text{ batch/hari}} = 125 \text{ menit/mesin/batch}$$

- Untuk kemasan 120 gram,

$$t = \frac{22.500 \text{ tube/hari}}{50 \text{ tube/menit} \times 3 \text{ mesin} \times 2 \text{ batch/hari}} = 75 \text{ menit/mesin/batch}$$

13. Belt Conveyor (J-141)

Fungsi : Mengangkut tube lotion dari *filling machine* ke pengemasan sekunder (karton).

Tipe : *Belt* terbuat dari karet

Ditetapkan :

- panjang belt (L) : 5 m $\approx$ 16,404 ft

Perhitungan :

Sudut elevasi = 0°

$$\begin{aligned}\text{Massa lotion kemasan 120 gram} &= \text{massa lotion} + \text{massa tube (badan dan tutup)} \\ &= 120 \text{ gram} + 15 \text{ gram} \\ &= 135 \text{ gram}\end{aligned}$$

Kapasitas lotion kemasan 120 gram/jam

= kapasitas *output filling machine*

$$\begin{aligned}&= 50 \text{ tube/menit} = 50 \frac{\text{tube}}{\text{menit}} \times 0,135 \frac{\text{kg}}{\text{tube}} \times \frac{60 \text{ menit}}{\text{jam}} \\ &= 405 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa lotion kemasan 60 gram} &= \text{massa lotion} + \text{massa tube (badan dan tutup)} \\ &= 60 \text{ gram} + 10 \text{ gram} \\ &= 70 \text{ gram}\end{aligned}$$

Kapasitas lotion kemasan 60 gram/jam

= kapasitas *output filling machine*

$$\begin{aligned}&= 60 \text{ tube/menit} = 60 \frac{\text{tube}}{\text{menit}} \times 0,07 \frac{\text{kg}}{\text{tube}} \times \frac{60 \text{ menit}}{\text{jam}} \\ &= 252 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Ditetapkan perhitungan dilakukan untuk kapasitas *lotion*/jam terbesar, yaitu kapasitas *lotion* kemasan 120 gram/jam sebesar 405 kg/jam

Dari Perry, tabel 21.7 dengan 405 kg/jam, didapatkan :

- lebar belt (W) = 35 cm = 1,15 ft
- kecepatan (*u*) = 30,5 m/jam = 100,06 fpm
- kapasitas maksimum = 32 ton/jam

$$\text{Power} = P_{\text{horizontal}} + P_{\text{empty}} \quad [27], \text{ pp 81}$$

$$= \left(\left(0,4 + \frac{L}{300} \right) \times \frac{W}{100} \right) + P_{\text{empty}}$$

Dari grafik bagian c, pp 82 untuk lebar belt = 14" dan panjang conveyor = 16,404 ft, didapatkan Hp untuk setiap 100 ft/mnt laju belt = 0,2 sehingga,

$$\begin{aligned} \text{Power} &= \left(\left(0,4 + \frac{16,404 \text{ ft}}{300} \right) \times \frac{1,15 \text{ ft}}{100} \right) + \left(0,2 \times \frac{100,06 \text{ ft/mnt}}{100 \text{ ft/mnt}} \right) \\ &= 0,21 \text{ Hp} \end{aligned}$$

$$\text{Power desain} = 1,2 \cdot \text{Power}$$

$$= 1,2 \cdot 0,21 \text{ Hp} = 0,25 \text{ Hp}$$

SPESIFIKASI :

Nama	: Belt conveyor
Kapasitas	: 60 tube/menit
Dimensi belt	: - panjang belt : 5 m - lebar belt : 35 cm
Kecepatan belt	: 30,5 m/jam
Power belt	: 0,25 Hp
Jumlah	: 1 buah

LAMPIRAN D

SPESIFIKASI PERALATAN UTILITAS

LAMPIRAN D

SPESIFIKASI PERALATAN UTILITAS

D.1. Spesifikasi Peralatan Unit Penyediaan Air

D.1.1. Spesifikasi Peralatan untuk Penampungan Air

1. Bak penampung air PDAM (F-210)

Fungsi : Menampung air PDAM

Rate volumetrik : 86,28 m³/hari

Waktu tinggal : 1 hari

$$\begin{aligned}\text{Volume air} &= 86,28 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \times 1 \text{ hari} \\ &= 86,28 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Volume bak (direncanakan terisi 90\%)} &= \frac{100}{90} \times 86,28 \text{ m}^3 \\ &= 95,87 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Panjang dan lebar bak ditetapkan 5 m × 5 m

$$\begin{aligned}H \text{ liquid} &= \frac{95,87}{5 \times 5} \\ &= 3,84 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\text{Tinggi bak} = \frac{100}{90} \times 3,84 \text{ m} = 4,27 \text{ m}$$

Spesifikasi Alat :

Tipe : Bak persegi panjang

Kapasitas : 86,28 m³

Ukuran : $(5,00 \times 5,00 \times 4,27) \text{ m}^3$

Bahan Konstruksi : Beton

Jumlah : 1 buah

2. Tangki Penampung Air Bersih (F-230)

Fungsi : Menyimpan air bersih setelah melewati RO

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertical dengan tutup atas berbentuk flat dan tutup bawah berbentuk *torispherical*.

Bahan : *Stainless Steel SA-240* tipe 304

Kondisi Operasi

P_{operasi} : 1 atm

Waktu penyimpanan : 1 hari

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi : *Stainless Steel SA-240* tipe 304 [20], hal 496
- *Allowable stress value* (f) dari SA-240 : 20.000 lb/in² [21], UG-32
- Las yang digunakan adalah *double welded butt joint* dengan efisiensi
(E) = 0,70 [21], Table UW-12
- $\frac{H}{ID} = 1,5$ [22], *rule of thumb*

Perhitungan:

$$\rho (30^\circ\text{C}) = 995,68 \text{ kg/m}^3 = 62,16 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Volume liquid} = \text{Volume air proses} + \text{Volume air pencucian}$$

$$= 2,0712 \text{ m}^3 + 2,7762 \text{ m}^3 = 4,8474 \text{ m}^3 \approx 171,18 \text{ ft}^3$$

Ditetapkan : $V_L = 90 \% V_{\text{tangki}}$

$$V_{\text{tangki}} = 171,18 \text{ ft}^3 \times \frac{100}{90}$$

$$= 190,20 \text{ ft}^3$$

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$190,20 \text{ ft}^3 = \pi/4 (\text{ID})^2 H + 0,000049 (12 \times \text{ID})^3$$

$$= \pi/4 1,5 (\text{ID})^3 + 0,000049 (1728) \times (\text{ID})^3$$

$$\text{ID} = 5,32 \text{ ft}$$

$$H = 1,5 \cdot \text{ID}$$

$$= 1,5 \cdot 5,32$$

$$= 7,98 \text{ ft} \approx 8 \text{ ft}$$

Digunakan 2 course 4 ft, sehingga $H = 8 \text{ ft}$

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$190,20 \text{ ft}^3 = \pi/4 (\text{ID})^2 H + 0,000049 (12 \times \text{ID})^3$$

$$= \pi/4 (\text{ID})^2 8 + 0,000049 (12 \times \text{ID})^3$$

$$\text{ID} = 5,32 \text{ ft} \approx 1,62 \text{ m}$$

Menghitung tebal *shell* untuk *course* 1 (hingga 4 ft dari dasar):

$$V_L = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$171,18 \text{ ft}^3 = \pi/4 (\text{ID})^2 H + 0,000049 (12 \times \text{ID})^3$$

$$= \pi/4 (5,32)^2 H + 0,000049 (12 \times 5,32)^3$$

$$H_L = 7,13 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_L / 144 \quad [23], \text{Eq. 3.17}$$

$$= 62,16 \cdot 7,13 / 144$$

$$= 3,08 \text{ psi}$$

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

$$= 3,08 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$= 17,78 \text{ psi}$$

$$t_{\text{shell}} = \frac{P \times ID}{2(fE - 0.6P)} + c \quad [23], \text{Eq. 13.1}$$

$$= \frac{17,78 \times 5,32 \times 12}{2(20.000 \times 0,70 - 0,6 \times 17,78)}$$

$$= 0,0406 \text{ inch}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm.

Menghitung tebal *shell* untuk *course* 2 (4 ft hingga 8 ft dari dasar):

$$H_L = 7,13 \text{ ft} - 4 \text{ ft} = 3,13 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_L / 144 \quad [23], \text{Eq. 3.17}$$

$$= 62,16 \cdot 3,13 / 144$$

$$= 1,35 \text{ psi}$$

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

$$= 1,35 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$= 16,05 \text{ psi}$$

$$t_{\text{shell}} = \frac{P \times ID}{2(fE - 0.6P)} + c \quad [23], \text{Eq. 13.1}$$

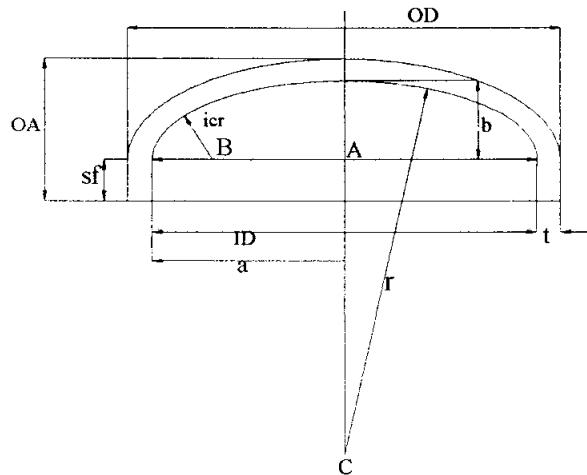
$$= \frac{16,05 \times 5,32 \times 12}{2(20.000 \times 0,70 - 0,6 \times 16,05)}$$

$$= 0,0366 \text{ inch}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm.

Perhitungan Torispherical

Tutup tangki bagian bawah didesain berbentuk *torispherical* dengan *radius of curvature* sama dengan diameter dalam tangki dan *radius of knuckle* sebesar 10% dari *radius of curvature*.



$$\text{crown radius } (r_c) = ID = 5,32 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 88}$$

$$\text{radius of knuckle } (r_k/icr) = 10\% \times ID \quad [23], \text{ pp. 88}$$

$$= 10\% \times 5,32 \text{ ft}$$

$$= 0,53 \text{ ft}$$

$$BC = r_c - icr = 5,32 \text{ ft} - 0,53 \text{ ft} = 4,79 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \frac{5,32 \text{ ft}}{2} - 0,53 \text{ ft} = 2,13 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$\text{Kedalaman head (b)} = r_c - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$= 5,32 \text{ ft} - \sqrt{(4,79 \text{ ft})^2 - (2,13 \text{ ft})^2}$$

$$= 1,03 \text{ ft}$$

$$\text{Straight flange (sf)} = 1,5 \text{ in} \approx 0,125 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$\text{Tinggi liquid dalam head (h)} = b + sf = 1,03 \text{ ft} + 0,125 \text{ ft} = 1,155 \text{ ft} \approx 1,12 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi liquid total (H}_{L,t}\text{)} = H_L + h = 7,13 \text{ ft} + 1,12 \text{ ft} = 8,25 \text{ ft}$$

$$W = 0,25 \times \left[3 + \sqrt{\frac{r_c}{r_k}} \right] = 0,25 \times \left[3 + \sqrt{\frac{5,32}{0,53}} \right] \quad [23], \text{ Eq. 7.76}$$

$$= 1,54$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_L / 144 \quad [23], \text{ Eq. 3.17}$$

$$= 62,16 \cdot 8,25 / 144$$

$$= 3,56 \text{ psi}$$

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

$$= 3,56 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$= 18,26 \text{ psi}$$

$$t_d = \frac{P \times r_c \times W}{2fE - 0,2P} \quad [23], \text{ Eq. 7.77}$$

$$= \frac{18,26 \times 5,32 \times 12 \times 1,54}{2 \times 20000 \times 0,70 - 0,2 \times 18,26}$$

$$= 0,0641 \text{ inch}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm

Tebal plat datar (t_f) = 4 mm

Tinggi tangki = tinggi shell + tinggi dished head

$$= 8 \text{ ft} + 1,12 \text{ ft}$$

$$= 9,12 \text{ ft} \approx 2,78 \text{ m}$$

Spesifikasi Alat :

Nama : Tangki penyimpanan air bersih

Kapasitas : $4,8474 \text{ m}^3 \approx 4,85 \text{ m}^3$

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertikal dengan tutup atas berbentuk flat dan bawah berbentuk *torispherical*

Diameter : 1,62 m

Tinggi : 2,78 m

Tebal shell : 4 mm

Tebal tutup : 4 mm

Jumlah : 1 buah

D.1.2. Spesifikasi Peralatan untuk Pengolahan Air

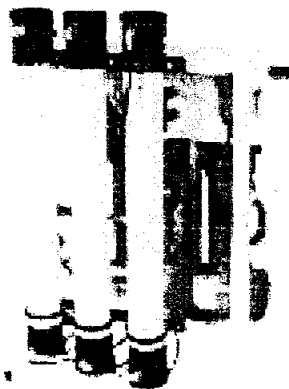
1. *Reverse Osmosis System (X-220)* [28]

Alat *reverse osmosis* (RO) yang digunakan adalah *Titan 5000 GPD*

Commercial RO System dengan fitur sebagai berikut :

- Fungsi : demineralisasi air proses dan air *boiler*
- Dimensi: 30" × 38" × 47".
- Kapasitas : 5.000 galon per hari (208,3 galon per jam) dan *total dissolved solids* (TDS) maksimum adalah 550.
- Laju umpan: 7-15 gpm.
- Kesadahan maksimum: 15 gpg.

- pH: 3-11.
- Suhu maksimum: 105°F.
- Tekanan operasi: 150 psi.
- Dilengkapi dengan pipa, *fitting*, dan *valve*.
- Diameter pipa untuk umpan air masuk adalah 3/4" dan untuk produk dan pengotor (buangan) masing-masing adalah 1".
- Dilengkapi dengan pompa, motor, *flowmeter* produk, *flowmeter* pengotor (buangan), dan TDS meter.
- Power pompa dan motor: 1,5 Hp.
- Kebutuhan listrik untuk pompa: 110-220 V, 50-60 Hz.
- Membran yang digunakan adalah tipe 4040 TFC HF1 sebanyak tiga buah yang perlu diganti setelah 3-5 tahun.
- Diameter membran : 4"
- Waktu operasi =
$$\frac{2,0712 \text{ m}^3 / \text{hari} \times 60 \text{ menit/jam}}{208,3 \text{ gal/jam} \times 3,7854 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{gal}} = 158 \text{ menit}$$



Gambar D.1. Reverse Osmosis System

2. *Ultraviolet Sterilizer (X-240)*

[29]

Alat sterilisasi ultraviolet yang digunakan adalah *Hydro-Safe industrial grade High Capacity UV Disinfection System* tipe HSUV-SS-40-1 dengan fitur sebagai berikut:

- Fungsi : sterilisasi air proses
- Dimensi: 8" × 11" × 38".
- Kapasitas UV: 30 mJ/cm² pada laju alir maksimum.
- Laju alir: 40 gpm.
- Tekanan operasi: 125 psi.
- Panjang gelombang : 254 nm.
- Dilengkapi dengan pipa, *fitting*, dan *valve*.
- Diameter pipa: 1½".
- Kebutuhan listrik: 110-130 V, 50-60 Hz.
- Power : 0,75 Hp.
- Indikator visual dan suara untuk memastikan kondisi alat.
- Penghitung waktu operasi untuk menentukan waktu penggantian lampu.
- Mematikan bakteri hingga 99,99%.
- Waktu operasi = $\frac{2,0712 \text{ m}^3 / \text{hari}}{40 \text{ gal/menit} \times 3,7854 \times 10^{-3} \text{ m}^3 / \text{gal}} = 14 \text{ menit}$



Gambar D.2. *Ultraviolet Sterilizer*

3. **Water Heater (E-250)**

Fungsi : memanaskan air bersih sebagai air pencucian peralatan (M-110, M-120 dan M-130)

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertical dengan tutup atas dan bawah berbentuk flat yang dilengkapi *coil* pemanas.

- Perhitungan dimensi *coil* pemanas

Ditetapkan :

- Diameter penampang *coil*, $D = 0,5 \text{ cm} = 0,005 \text{ m}$
- Tegangan, $V = 220 \text{ V}$
- Hambat jenis *coil* (ρ) = $5,51 \cdot 10^{-8} \text{ ohm.m}$

Luas penampang *coil*, *resistance* dan panjang *coil* dihitung sebagai berikut,

$$A = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 = 0,25 \cdot \pi \cdot 0,005^2 = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$R = \frac{V^2}{Q} = \frac{(220 \text{ V})^2}{609812,57 \text{ W}} = 0,08 \text{ ohm}$$

$$L = \frac{R \times A}{\rho} = \frac{0,08 \text{ ohm} \times 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}{5,51 \cdot 10^{-8} \text{ ohm.m}} = 28,5 \text{ m}$$

- Perhitungan *water heater*

Ditetapkan

- Diameter dalam silinder $10 \text{ cm} \approx 4 \text{ in}$
- Jarak antar lilitan = $0,5 \text{ cm}$

Sehingga,

$$\text{Keliling silinder (K)} = \pi \cdot D = \pi \cdot 0,1 = 0,32 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah lilitan} = \frac{L}{K} = \frac{28,5}{0,32} = 89,07 \approx 90 \text{ lilitan}$$

$$H = \text{Jumlah lilitan} \times (\text{Diameter coil} + \text{jarak antar lilitan})$$

$$= 90 \times (0,5 + 0,5) \text{ cm}$$

$$= 90 \text{ cm} \approx 2,95 \text{ ft}$$

Untuk safety, tinggi silinder ditambah 20% sehingga,

$$H = \frac{120}{100} \times 90 \text{ cm} = 108 \text{ cm} \approx 3,55 \text{ ft}$$

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi : Stainless Steel SA-240 tipe 304 [20], hal 496
- *Allowable stress value* (f) dari SA-240 : 20.000 lb/in² [21], UG-32
- Las yang digunakan adalah *double welded butt joint* dengan efisiensi
(E) = 0,70 [21], Table UW-12

Perhitungan:

$$\rho (900^\circ\text{C}) = 965,34 \text{ kg/m}^3 = 60,26 \text{ lb/ft}^3$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_L / 144 \quad [23], \text{Eq. 3.17}$$

$$= 60,26 \cdot 2,95 / 144$$

$$= 1,24 \text{ psi}$$

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

$$= 1,24 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$= 15,94 \text{ psi}$$

$$t_{\text{shell}} = \frac{P \times ID}{2(fE - 0.6P)} + c \quad [23], \text{Eq. 13.1}$$

$$= \frac{15,94 \times 0,33 \times 12}{2(20.000 \times 0,70 - 0,6 \times 15,94)}$$

$$= 0,0023 \text{ inch}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 2 mm.

Spesifikasi Alat :

Nama alat	: <i>Water Heater</i>
Fungsi	: memanaskan air dari 30°C ke 90°C sebagai air pencucian
Kapasitas	: 609.812,57 W $\approx$ 610 kW
Jumlah	: 1 unit

D.1.3. Spesifikasi Peralatan untuk Pompa

1. Pompa air (L-231)

Fungsi : mengalirkan air dari tangki penyimpanan air bersih ke tangki M-110 melewati UV *sterilizer*, di mana pompa ini juga berfungsi untuk mengalirkan air pencucian ke tangki M-110, M-120 dan M-130

Perhitungan pompa ditetapkan untuk mengalirkan air pada tangki terjauh (M-130 dan M-120) sehingga untuk mengalirkan air pada tangki yang lebih dekat, pompa tetap mampu melakukan pengaliran sedangkan Δz dihitung pada Δz terbesar, yaitu di mana z_1 adalah tinggi permukaan air di mana dalam tangki penyimpanan air bersih hanya terisi air proses dan z_2 adalah tinggi permukaan air pada M-130.

Perhitungan :

$$\text{Rate volumetrik air} = 2,52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 0,0890 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\rho \text{ air} = 995,68 \text{ kg/m}^3 = 62,16 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu \text{ air} = 0,8007 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.s}$$

Trial Turbulen :

Dipilih *steel pipe* (IPS) untuk *commercial steel* berukuran 1½ in sch 40 : [29]

$$ID = 40,89 \text{ mm}$$

$$OD = 48,25 \text{ mm}$$

$$A = 13,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} \approx \frac{2,52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{13,13 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2}$$

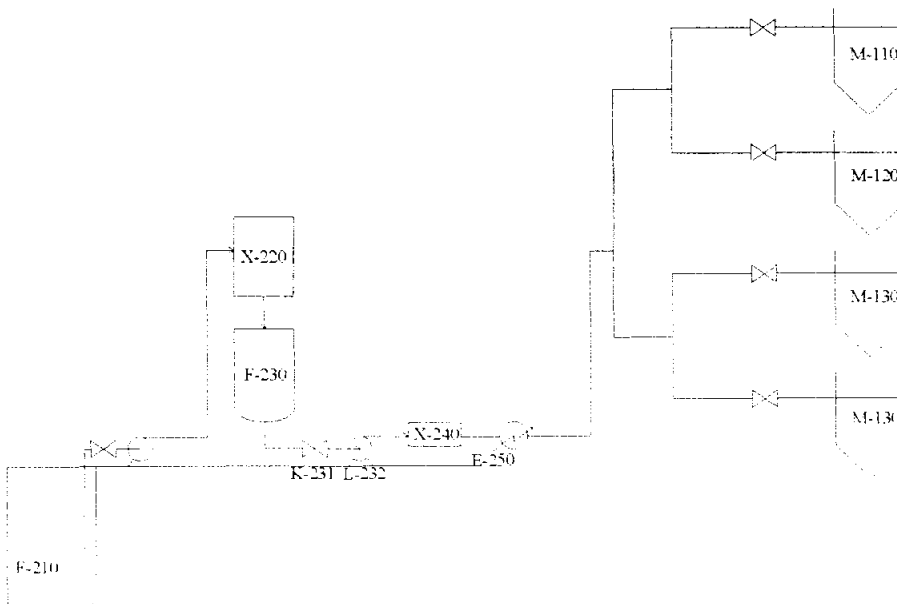
$$= 1,92 \text{ m/s}$$

Cek Trial :

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{995,68 \text{ kg/m}^3 \times 0,04089 \text{ m} \times 1,92 \text{ m/s}}{0,8007 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}}$$

$$= 97626,63 \text{ (turbulen)}$$

Perhitungan Friksi :



a. Pipa lurus

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

Pipa *commercial steel*, $\varepsilon = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

Dari figure 2.10-3 Geankoplis 4th ed, untuk $\varepsilon/ID = \frac{4,6 \times 10^{-5}}{0,04089} = 0,0011$

dengan $N_{Re} = 97626,63$, diperoleh $f = 0,0056$

$\Delta L = 27,5 \text{ m}$

$$\begin{aligned} Ff &= \frac{4 \times 0,0056 \times 27,5 \text{ m} \times (1,92 \text{ m/s})^2}{2 \times 0,04089 \text{ m}} \\ &= 27,77 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

b. Sudden contraction

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

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

α = konstanta (Turbulen = 1)

Karena $A_1 \gg A_2$ maka (A_2/A_1) diabaikan

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \frac{v^2}{2\alpha} \\ &= 0,55 \times \frac{(1,92 \text{ m/s})^2}{2 \times 1} \\ &= 1,01 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

c. Sudden enlargement

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

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Turbulen = 1)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$\begin{aligned} h_{ex} &= \frac{v^2}{2\alpha} \\ &= \frac{(1,92 \text{ m/s})^2}{2 \times 1} \\ &= 1,84 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

d. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$Kf = 0,75$ (konstanta)

$$\begin{aligned} hf &= Kf \times \frac{v^2}{2} \\ &= 0,75 \times \frac{(1,92 \text{ m/s})^2}{2} \\ &= 1,38 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

Digunakan 10 elbow 90°

$$\begin{aligned} hf &= 10 \cdot 1,38 \text{ m}^2/\text{s}^2 \\ &= 13,8 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

e. Friksi untuk Gate valve

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$Kf = 0,17 \text{ (konstanta)}$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 0,17 \times \frac{(1,92 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$= 0,31 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 5 gate valve

$$hf = 5 \cdot 0,31 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$= 1,55 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

f. Friksi untuk Tee

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$Kf = 1 \text{ (konstanta)}$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 1 \times \frac{(1,92 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$= 1,92 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 3 tee

$$hf = 3 \cdot 1,92 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$= 5,76 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F) = (27,77 + 1,01 + 1,84 + 13,8 + 1,55 + 5,76) \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$= 51,73 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Perhitungan tinggi permukaan air pada tangki penyimpanan air bersih saat hanya berisi untuk kebutuhan air proses,

$$V_L = 2,0712 \text{ m}^3 \approx 73,14 \text{ ft}^3$$

$$V_L = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$\begin{aligned} 73,14 \text{ ft}^3 &= \pi/4 (\text{ID})^2 H_L + 0,000049 (12 \times \text{ID})^3 \\ &= \pi/4 (5,32)^2 H_L + 0,000049 (12 \times 5,32)^3 \end{aligned}$$

$$H_L = 2,72 \text{ ft}$$

$$H_{L \text{ total}} = 2,72 \text{ ft} + 1,12 \text{ ft} = 3,84 \text{ ft}$$

$$H_L \text{ pada tangki M-130} = 6,63 \text{ ft}$$

$$\Delta z = 6,63 \text{ ft} - 3,84 \text{ ft} = 2,79 \text{ ft} \approx 0,85 \text{ m}$$

Energy Balance :

$$\frac{1}{2\alpha} (v_2^2 - v_1^2) + g(z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0$$

$$\frac{1}{2 \times 1} ((1,92 \text{ m/s})^2 - (0 \text{ m/s})^2) + 9,8 \text{ m/s}^2 (0,85 \text{ m}) +$$

$$\frac{101325 \text{ kg/m.s}^2 - 101325 \text{ kg/m.s}^2}{995,68 \text{ kg/m}^3} + 51,73 \text{ m}^2/\text{s}^2 + W_s = 0$$

$$W_s = - 61,90 \text{ m}^2/\text{s}^2 = - 61,90 \text{ J/kg}$$

$$\text{Efisiensi pompa} = 60\%$$

[Fig. 2.3, Peters]

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1000}$$

$$= \frac{61,90 \text{ J/kg} \times 2,52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \times 995,68 \text{ kg/m}^3}{0,6 \times 1000}$$

$$= 0,26 \text{ kW} \approx 0,35 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80%

[Fig. 2.4, Peters]

$$\begin{aligned}\text{Sehingga dipakai pompa dengan motor} &= \frac{100}{80} \times 0,35 \text{ Hp} \\ &= 0,44 \text{ Hp}\end{aligned}$$

Power pompa terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 0,5 Hp

Spesifikasi Alat :

Fungsi	: mengalirkan air PDAM dari tangki penyimpanan air bersih ke tangki M-110 melewati UV <i>sterilizer</i> , di mana pompa ini juga berfungsi untuk mengalirkan air pencucian ke tangki M-110, M-120 dan M-130
Tipe	: centrifugal pump
Laju aliran pompa	: $2,52 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$
Ukuran pipa	: 1½ in. sch.40
Panjang pipa total	: 27,5 m
<i>Fitting</i>	: 6 buah <i>elbow</i> 90°, 4 buah <i>gate valve</i> dan 3 tee
ΔP	: 0 Pa
<i>Power</i> motor	: 0,5 Hp
Bahan konstruksi	: <i>commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

D.2. Spesifikasi Peralatan Unit Penyediaan *Hot Oil*

D.2.1. Spesifikasi Peralatan untuk Penampungan *Hot Oil*

1. Tangki Penampung *Hot Oil* (F-260)

Fungsi : Menyimpan *hot oil*

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertical dengan tutup atas berbentuk flat dan tutup bawah berbentuk *torispherical*.

Bahan : *Stainless Steel SA-240* tipe 304

Kondisi Operasi

P_{operasi} : 1 atm

Waktu penyimpanan : 1 hari

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi : *Stainless Steel SA-240* tipe 304 [20], hal 496
- *Allowable stress value* (f) dari SA-240 : 20.000 lb/in² [21], UG-32
- Las yang digunakan adalah *double welded butt joint* dengan efisiensi
(E) = 0,70 [21], Table UW-12
- $\frac{H}{ID} = 1,5$ [22], rule of thumb

Perhitungan:

$$\rho (30^{\circ}\text{C}) = 870 \text{ kg/m}^3 = 54,3125 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Volume liquid} = 8,79 \text{ m}^3 = 310,41 \text{ ft}^3$$

$$\text{Ditetapkan : } V_L = 80 \% V_{\text{tangki}}$$

$$V_{\text{tangki}} = 310,41 \text{ ft}^3 \times \frac{100}{80}$$

$$= 388,01 \text{ ft}^3$$

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$388,01 = \frac{\pi}{4} (ID)^2 H + 0,000049 (12 \times ID)^3$$

$$= \pi/4 \cdot 1,5 (ID)^3 + 0,000049 (1728) \times (ID)^3$$

$$ID = 6,75 \text{ ft}$$

$$H = 1,5 \cdot ID$$

$$= 1,5 \cdot 6,75$$

$$= 10,12 \text{ ft}$$

Digunakan 2 course 5 ft, sehingga $H = 10 \text{ ft}$

$$V_{\text{tangki}} = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$388,01 = \pi/4 (ID)^2 H + 0,000049 (12 \times ID)^3$$

$$= \pi/4 (ID)^2 10 + 0,000049 (12 \times ID)^3$$

$$ID = 6,79 \text{ ft} \approx 2,07 \text{ m}$$

Menghitung tebal *shell* untuk *course* 1 (hingga 5 ft dari dasar):

$$V_L = V_{\text{shell}} + V_{\text{torispherical}}$$

$$310,41 = \pi/4 (ID)^2 H + 0,000049 (12 \times ID)^3$$

$$= \pi/4 (6,79)^2 H + 0,000049 (12 \times 6,79)^3$$

$$H_L = 7,84 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_L / 144$$

[23], Eq. 3.17

$$= 54,3125 \cdot 7,84 / 144$$

$$= 2,96 \text{ psi}$$

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

$$= 2,96 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$= 17,66 \text{ psi}$$

$$t_{\text{shell}} = \frac{P \times ID}{2(fE - 0.6P)} + c$$

[23], Eq. 13.1

$$\begin{aligned} &= \frac{17,66 \times 6,79 \times 12}{2(20.000 \times 0,70 - 0,6 \times 17,66)} \\ &= 0,0514 \text{ inch} \end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm.

Menghitung tebal *shell* untuk *course* 2 (5 ft hingga 10 ft dari dasar):

$$H_L = 7,84 \text{ ft} - 5 \text{ ft} = 2,84 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_L / 144 \quad [23], \text{Eq. 3.17}$$

$$= 54,3125 \cdot 2,84 / 144$$

$$= 1,07 \text{ psi}$$

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

$$= 1,07 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$= 15,77 \text{ psi}$$

$$t_{\text{shell}} = \frac{P \times ID}{2(fE - 0.6P)} \quad [23], \text{Eq. 13.1}$$

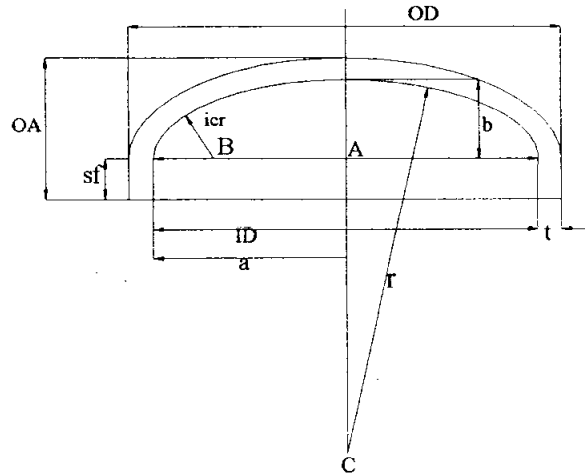
$$= \frac{15,77 \times 6,79 \times 12}{2(20.000 \times 0,70 - 0,6 \times 15,77)}$$

$$= 0,0459 \text{ inch}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm.

Perhitungan *Torispherical*

Tutup tangki bagian bawah didesain berbentuk *torispherical* dengan *radius of curvature* sama dengan diameter dalam tangki dan *radius of knuckle* sebesar 10% dari *radius of curvature*.



$$\text{crown radius } (r_c) = ID = 6,79 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 88}$$

$$\text{radius of knuckle } (r_k/icr) = 10\% \times ID \quad [23], \text{ pp. 88}$$

$$= 10\% \times 6,79 \text{ ft}$$

$$= 0,68 \text{ ft}$$

$$BC = r_c - icr = 6,79 \text{ ft} - 0,68 \text{ ft} = 6,11 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \frac{6,79 \text{ ft}}{2} - 0,68 \text{ ft} = 2,72 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$\text{Kedalaman head } (b) = r_c - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$= 6,79 \text{ ft} - \sqrt{(6,11 \text{ ft})^2 - (2,72 \text{ ft})^2}$$

$$= 1,32 \text{ ft}$$

$$\text{Straight flange } (sf) = 1,5 \text{ in} \approx 0,125 \text{ ft} \quad [23], \text{ pp. 87}$$

$$\text{Tinggi liquid dalam head } (h) = b + sf = 1,32 \text{ ft} + 0,125 \text{ ft} = 1,445 \text{ ft} \approx 1,45 \text{ ft}$$

$$\text{Tinggi liquid total } (H_{L,t}) = H_L + h = 7,84 \text{ ft} + 1,45 \text{ ft} = 9,29 \text{ ft}$$

$$W = 0,25 \times \left[3 + \sqrt{\frac{r_c}{r_k}} \right] = 0,25 \times \left[3 + \sqrt{\frac{6,79}{0,68}} \right] \quad [23], \text{ Eq. 7.76}$$

$$= 1,54$$

$$P_{\text{hidrostatik}} = \rho \cdot H_L / 144 \quad [23], \text{Eq. 3.17}$$

$$= 54,3125 \cdot 9,29 / 144$$

$$= 3,50 \text{ psi}$$

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

$$= 3,50 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi}$$

$$= 17,57 \text{ psi}$$

$$t_d = \frac{P \times r_c \times W}{2fE - 0,2P} \quad [23], \text{Eq. 7.77}$$

$$= \frac{17,57 \times 6,79 \times 12 \times 1,54}{2 \times 20000 \times 0,70 - 0,2 \times 17,57}$$

$$= 0,0788 \text{ inch}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 4 mm

Tebal plat datar (t_f) = 4 mm

Tinggi tangki = tinggi shell + tinggi dished head

$$= 10 \text{ ft} + 1,45 \text{ ft}$$

$$= 11,45 \text{ ft} \approx 3,49 \text{ m}$$

Spesifikasi Alat :

Nama : Tangki penyimpan *hot oil*

Kapasitas : $8,79 \text{ m}^3$

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertikal dengan tutup atas berbentuk flat dan bawah berbentuk *torispherical*

Diameter : 2,07 m

Tinggi : 3,49 m

Tebal shell : 4 mm

Tebal tutup : 4 mm

Jumlah : 1 buah

D.2.2. Spesifikasi Peralatan untuk Pengolahan *Hot Oil*

1. Thermal Oil Heater (E-270)

Fungsi : memanaskan air bersih sebagai air pencucian peralatan (M-110, M-120 dan M-130)

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertical dengan tutup atas dan bawah berbentuk flat yang dilengkapi *coil* pemanas

- Perhitungan dimensi *coil* pemanas

Ditetapkan :

- Diameter penampang *coil*, $D = 0,5 \text{ cm} = 0,005 \text{ m}$
- Tegangan, $V = 220 \text{ V}$
- Hambat jenis *coil* (ρ) = $5,51 \cdot 10^{-8} \text{ ohm.m}$

Luas penampang *coil*, *resistance* dan panjang *coil* dihitung sebagai berikut,

$$A = 0,25 \cdot \pi \cdot D^2 = 0,25 \cdot \pi \cdot 0,005^2 = 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$$

$$R = \frac{V^2}{Q} = \frac{(220 \text{ V})^2}{735000 \text{ W}} = 0,07 \text{ ohm}$$

$$L = \frac{R \times A}{\rho} = \frac{0,07 \text{ ohm} \times 1,96 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2}{5,51 \cdot 10^{-8} \text{ ohm.m}} = 23,5 \text{ m}$$

- Perhitungan *thermal oil heater*

Ditetapkan

- Diameter dalam silinder $10 \text{ cm} \approx 4 \text{ in}$

- Jarak antar lilitan = 0,5 cm

Sehingga,

$$\text{Keliling silinder (K)} = \pi \cdot D = \pi \cdot 0,1 = 0,32 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah lilitan} = \frac{L}{K} = \frac{23,5}{0,32} = 73,44 \approx 75 \text{ lilitan}$$

$$\begin{aligned} H &= \text{Jumlah lilitan} \times (\text{Diameter coil} + \text{jarak antar lilitan}) \\ &= 75 \times (0,5 + 0,5) \text{ cm} \\ &= 75 \text{ cm} \approx 2,46 \text{ ft} \end{aligned}$$

Untuk safety, tinggi silinder ditambah 20% sehingga,

$$H = \frac{120}{100} \times 75 \text{ cm} = 90 \text{ cm} \approx 2,95 \text{ ft}$$

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi : Stainless Steel SA-240 tipe 304 [20], hal 496
- Allowable stress value (f) dari SA-240 : 20.000 lb/in² [21], UG-32
- Las yang digunakan adalah *double welded butt joint* dengan efisiensi
(E) = 0,70 [21], Table UW-12

Perhitungan:

$$\rho (30^{\circ}\text{C}) = 870 \text{ kg/m}^3 = 54,3125 \text{ lb/ft}^3$$

$$\begin{aligned} P_{\text{hidrostatik}} &= \rho \cdot H_L / 144 & [23], \text{Eq. 3.17} \\ &= 54,3125 \cdot 2,46 / 144 \\ &= 0,93 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{operasi}} &= P_{\text{hidrostatik}} + P_{\text{design}} \\ &= 0,93 \text{ psi} + 14,7 \text{ psi} \\ &= 15,63 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{\text{shell}} &= \frac{P \times ID}{2(fE - 0.6P)} + c & [23], \text{Eq. 13.1} \\
 &= \frac{15,63 \times 0,33 \times 12}{2(20.000 \times 0,70 - 0,6 \times 15,63)} \\
 &= 0,0022 \text{ inch}
 \end{aligned}$$

Tebal plate terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 2 mm.

Spesifikasi Alat :

Nama alat : *Thermal Oil Heater*

Fungsi : memanaskan *hot oil* dari suhu 30°C menjadi 170°C

Dasar pemilihan : cocok memanaskan *fluida* hingga 316°C dan *flash point*-nya 227

Kapasitas : 735 kW

Jumlah : 1 unit

D.2.3. Spesifikasi Peralatan untuk Pompa

1. Pompa *hot oil* (L-271)

Fungsi : Mengalirkan *hot oil* ke jaket pemanas M-110 dan M-120

Tipe : *Positive Displacement pump*

Trial laminar flow :

Laju alir media = 2,17 kg/s

$$\text{Debit} = \frac{\text{laju alir media}}{P_{\text{slurry}}}$$

$$= \frac{2,17 \text{ kg/s}}{870 \text{ kg/m}^3}$$

$$= 2,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} = 0,0881 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Diameter pipa = Dn = 4 in

Berdasarkan standar ukuran pipa (Geankoplis, App.5-1), maka pipa yang digunakan adalah 4 in *sch* 40, dengan :

- ID = 102,3 mm
- OD = 114,34 mm
- A = $82,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$

$$v \text{ di pipa} = \frac{Q}{A} = \frac{2,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}}{82,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,30 \text{ m/s}$$

$$N_{Re} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{102,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \times 0,30 \text{ m/s} \times 870 \text{ kg/m}^3}{0,04 \text{ kg/m.s}} = 667,51 \text{ (laminar)}$$

Aliran laminar $\rightarrow \alpha = 1/2$

$$m_1 = 2,17 \text{ kg/s}$$

Untuk aliran setelah percabangan:

$$m_2 = 1,67 \text{ kg/s}$$

$$m_3 = 0,5 \text{ kg/s}$$

$$v_2 = \frac{\text{massa oil}}{\rho \times A} = \frac{1,67 \text{ kg/s}}{870 \text{ kg/m}^3 \times 82,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,24 \text{ m/s}$$

$$v_3 = \frac{\text{massa oil}}{\rho \times A} = \frac{0,5 \text{ kg/s}}{870 \text{ kg/m}^3 \times 82,19 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2} = 0,07 \text{ m/s}$$

$$N_{Re} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{102,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \times 0,24 \text{ m/s} \times 870 \text{ kg/m}^3}{0,04 \text{ kg/m.s}} = 534,01 \text{ (laminar)}$$

$$N_{Re} = \frac{D \cdot v \cdot \rho}{\mu} = \frac{102,3 \cdot 10^{-3} \text{ m} \times 0,07 \text{ m/s} \times 870 \text{ kg/m}^3}{0,04 \text{ kg/m.s}} = 155,75 \text{ (laminar)}$$

$$Z_2 - Z_1 = -1,23 \text{ m}$$

$$Z_3 - Z_1 = -4,41 \text{ m}$$

Jenis pipa yang digunakan : *stainless steel*.

Perhitungan ΣF_1 (*oil storage* ke percabangan)

1. Friksi pada pipa lurus

$$\Delta L = 30 \text{ m}$$

$$f = \frac{30}{N_{Re}} = \frac{30}{667,51} = 0,0524$$

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2\alpha} \\ &= 4 \times 0,0524 \times \frac{30 \text{ m}}{102,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \times \frac{(0,30 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 0,5} \\ &= 5,53 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

2. Sudden Contraction

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

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$h_c = 0,55 \times \frac{v^2}{2\alpha}$$

$$= 0,55 \times \frac{\left(0,30 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 0,5}$$

$$= 0,05 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

3. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 17$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 17 \times \frac{\left(0,30 \frac{m}{s}\right)^2}{2}$$

$$= 0,77 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 3 elbow 90°

$$hf = 3 \cdot 0,77 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$= 2,31 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

4. Friksi untuk 1 Gate valve

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 24$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 24 \times \frac{\left(0,30 \frac{m}{s}\right)^2}{2}$$

$$= 1,08 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

5. Friksi untuk 1 Tee

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 9$$

$$\begin{aligned}
 hf &= Kf \times \frac{v^2}{2} \\
 &= 9 \times \frac{(0,30 \text{ m/s})^2}{2} \\
 &= 0,41 \text{ m}^2/\text{s}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Friksi Total } (\Sigma F_1) &= (5,53 + 0,05 + 2,31 + 1,08 + 0,41) \text{ m}^2/\text{s}^2 \\
 &= 9,38 \text{ m}^2/\text{s}^2
 \end{aligned}$$

Perhitungan ΣF_2 (dari percabangan ke jaket pemanas M-120 kemudian kembali ke *oil storage*)

6. Friksi pada pipa lurus

$$\Delta L = 35 \text{ m}$$

$$f = \frac{35}{N_{\text{Re}}} = \frac{35}{534,01} = 0,0655$$

$$\begin{aligned}
 Ff &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2\alpha} \\
 &= 4 \times 0,0655 \times \frac{35 \text{ m}}{102,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \times \frac{(0,24 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 0,5} \\
 &= 5,17 \text{ m}^2/\text{s}^2
 \end{aligned}$$

7. Sudden Contraction

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

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$\begin{aligned} h_c &= 0,55 \times \frac{v^2}{2\alpha} \\ &= 0,55 \times \frac{\left(0,24 \frac{m}{s}\right)^2}{2 \times 0,5} \\ &= 0,03 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

8. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 17$$

$$\begin{aligned} hf &= Kf \times \frac{v^2}{2} \\ &= 17 \times \frac{\left(0,24 \frac{m}{s}\right)^2}{2} \\ &= 0,49 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

Digunakan 10 elbow 90°

$$\begin{aligned} hf &= 10 \cdot 0,49 \text{ m}^2/\text{s}^2 \\ &= 4,90 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

9. Friksi untuk 1 Gate valve

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 24$$

$$\begin{aligned} hf &= Kf \times \frac{v^2}{2} \\ &= 24 \times \frac{\left(0,24 \frac{m}{s}\right)^2}{2} \\ &= 0,70 \text{ m}^2/\text{s}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Friksi Total } (\Sigma F_2) &= (5,17 + 0,03 + 4,90 + 0,70) \text{ m}^2/\text{s}^2 \\ &= 10,80 \text{ m}^2/\text{s}^2\end{aligned}$$

Perhitungan ΣF_3 (dari percabangan ke jaket pemanas M-110 kemudian kembali ke *oil storage*)

10. Friksi pada pipa lurus

$$\Delta L = 32,5 \text{ m}$$

$$f = \frac{32,5}{N_{\text{Re}}} = \frac{32,5}{155,75} = 0,2087$$

$$\begin{aligned}F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2\alpha} \\ &= 4 \times 0,2087 \times \frac{32,5 \text{ m}}{102,3 \cdot 10^{-3} \text{ m}} \times \frac{(0,07 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 0,5} \\ &= 15,28 \text{ m}^2/\text{s}^2\end{aligned}$$

11. Sudden Contraction

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

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki

α = konstanta (Laminer = $\frac{1}{2}$)

Karena $A_2 \gg A_1$ maka (A_1/A_2) diabaikan

$$\begin{aligned}h_c &= 0,55 \times \frac{v^2}{2\alpha} \\ &= 0,55 \times \frac{\left(0,07 \frac{\text{m}}{\text{s}}\right)^2}{2 \times 0,5}\end{aligned}$$

$$= 0,01 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

12. Friksi untuk elbow 90°

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 17$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 17 \times \frac{(0,07 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$= 0,04 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Digunakan 10 elbow 90°

$$hf = 10 \cdot 0,40 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$= 4,00 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

13. Friksi untuk 1 Gate valve

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2} \rightarrow Kf = 24$$

$$hf = Kf \times \frac{v^2}{2}$$

$$= 24 \times \frac{(0,07 \text{ m/s})^2}{2}$$

$$= 0,06 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$\text{Friksi Total } (\Sigma F_3) = (15,28 + 0,01 + 4,00 + 0,06) \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$= 19,35 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

Energy Balance :

$$m_1(-w_s) = m_2 \times \left[\frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2\alpha} + g \times Z_2 \right] + m_3 \times \left[\frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2\alpha} + g \times Z_3 \right] + m_1 \times \Sigma F_1' + m_2 \times \Sigma F_2' + m_3 \times \Sigma F_3'$$

$$2,17(-w_s) = 1,67 \times \left[\frac{101325}{870} + \frac{0,24^2}{2,05} + g \times (-1,23) \right] + 0,5 \times \left[\frac{101325}{870} + \frac{0,07^2}{2,05} + g \times (-4,41) \right] +$$

$$2,17 \times 9,38 + 1,67 \times 1080 + 0,5 \times 1935$$

$$= 5,83$$

$$W_s = -2,69 \text{ m}^2/\text{s}^2$$

$$= -2,69 \text{ J/kg}$$

$$\eta \text{ pompa} = 70\% \quad [25]$$

$$\text{brake kW} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 1.000} \approx \frac{-w_s \times Q \times \rho}{\eta \times 1.000}$$

$$= \frac{2,69 \text{ J/kg} \times 2,17 \text{ kg/s}}{0,70 \times 1.000}$$

$$= 0,01 \text{ kW}$$

$$\eta \text{ motor} = 80\% \quad [24], \text{ Fig.2.4}$$

$$\text{Power aktual} = \frac{0,01}{0,8} = 0,0125 \text{ kW}$$

Power pompa terdekat yang tersedia dalam komersial adalah 0,12 kW

Spesifikasi Alat :

Nama	: Pompa
Tipe	: <i>Positive Displacement pump</i>
Laju aliran pompa	: 2,17 kg/s
Ukuran pipa	: 4 in. sch.40
Fitting	: 14 buah <i>elbow</i> 90°, 3 buah <i>gate valve</i> dan 1 tee

Power motor : 0,12 kW

Bahan konstruksi : *stainless steel*

Jumlah : 1 buah

D.3. Spesifikasi Peralatan Unit Penyediaan Bahan Bakar

1. Tangki Penyimpan Bahan Bakar (F-280)

Fungsi : Menyimpan bahan bakar

Tipe : Tangki berbentuk silinder vertical dengan tutup atas dan bawah berbentuk flat.

Bahan : *Carbon Steel*

Kondisi Operasi

P_{operasi} : 1 atm

Waktu penyimpanan : 1 bulan

Perhitungan:

Volume liquid = 1,90 m³

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki (direncanakan terisi 80\%)} &= \frac{100}{80} \times 1,90 \text{ m}^3 \\ &= 2,38 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$V_{\text{tangki}} = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H \rightarrow \text{diambil } H = 1,5D$$

$$2,38 \text{ m}^3 = \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times 1,5D$$

$$D = 1,26 \text{ m}$$

$$H = 1,90 \text{ m}$$

Spesifikasi Alat :

Tipe	: tangki bahan bakar
Bentuk	: silinder mendatar
Ukuran	: D = 1,26 m H = 1,90 m
Bahan	: carbon steel
Jumlah	: 1 buah

LAMPIRAN E

PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI

LAMPIRAN E

PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI

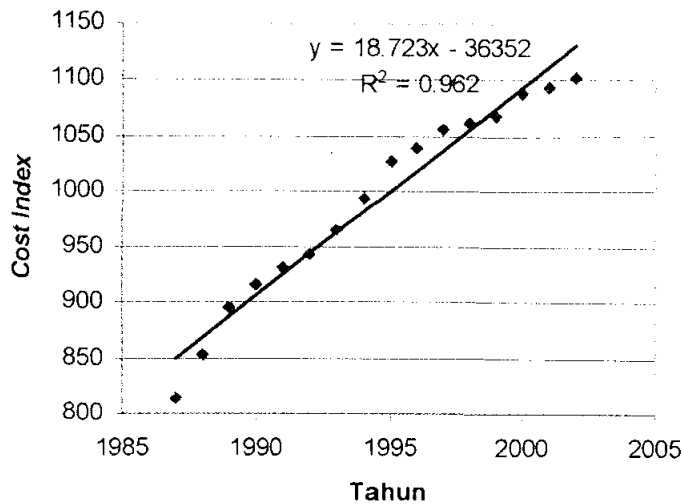
E.1. Perhitungan Harga Peralatan

Metode Perkiraan Harga

Harga peralatan sering mengalami perubahan karena kondisi ekonomi. Oleh karena itu, untuk memperkirakan harga peralatan sekarang diperlukan suatu indeks yang dapat mengkonversikan harga peralatan sebelumnya menjadi harga sekarang. Metode yang digunakan untuk menentukan harga peralatan adalah metode *Cost Index* yang dihitung dengan persamaan:

$$\text{Harga alat saat ini} = \frac{\text{Cost index saat ini}}{\text{Cost index pada tahun A}} \cdot \text{Harga alat pada tahun A}$$

Pada perencanaan pabrik *hand and body lotion* ini, harga peralatan yang digunakan didasarkan pada harga alat yang terdapat pada pustaka *Peters & Timmerhauss. Cost index* yang digunakan adalah dari *Marshall & Swift Cost Index*^[24]. Pabrik didirikan pada tahun 2008 sehingga pembelian alat dilakukan pada tahun 2009, sehingga dengan ekstrapolasi dari linierisasi data-data tahun sebelumnya didapatkan :



Gambar E.1. Grafik Hubungan *Cost Index* dengan Tahun^[24]

Cost Index Marshall & Swift pada tahun 1987 = 814

Cost Index Marshall & Swift pada tahun 2007 = 1225

Cost Index Marshall & Swift pada tahun 2009 = 1280

Tabel E.1. Harga Alat Proses

Kode	Nama Alat	Jumlah	Harga 1987 (US\$)	Harga 2007 (US\$)	<i>Stainless Steel factor</i> ^[24]	Harga 2009 (US\$)	Harga total (US\$)
F-103	Tangki penyimpan propylene glycol	1	5.950,00 ^[24]		1,39	13.005,21	13.005,21
F-104	Tangki penyimpan carbomer	1	2.850,00 ^[24]		1,39	6.229,39	6.229,39
F-105	Tangki penyimpan mineral oil	1	6.200,00 ^[24]		1,39	13.551,65	13.551,65
F-106	Tangki penyimpan isopropyl palmitate	1	5.450,00 ^[24]		1,39	11.912,33	11.912,33
M-110	<i>Pre-mixing and Heating I Tank</i>	1	4.500,00 ^[24]		1,70	12.029,48	12.029,48
L-111	Pompa	1		1.400,00 ^[30]	-	1.462,86	1.462,86
M-120	<i>Pre-mixing and Heating II Tank</i>	1	12.500,00 ^[24]		1,70	33.415,23	33.415,23
	<i>Colloid Mill</i>	1	782,00 ^[24]		1,19	1.463,32	1.463,32
L-121	Pompa	1		6.100,00 ^[30]	-	6.373,88	6.373,88
M-130	<i>Mixing and heating Tank</i>	2	13.000,00 ^[24]		1,70	34.751,84	69.503,69
L-131	Pompa	1		1.600,00 ^[30]	-	1.671,84	1.671,84
X-140	<i>Filling Machine</i>	3		13.200,00 ^[31]	-	13.200,00	39.600,00
J-141	<i>Belt conveyor</i>	3	4.400,00 ^[24]			6.331,31	18.993,94
	TOTAL						229.212,80

Sebagai contoh perhitungan, digunakan perhitungan untuk *Pre-mixing and Heating I Tank* (M-110) sebagai berikut:

Kapasitas : $8,89 \text{ ft}^3 \approx 66,51 \text{ galon}$

Bahan konstruksi : *Stainless steel* SA-240 tipe 304

Faktor konversi untuk bahan *stainless steel* pada *mixer* : 1,7

Harga Tahun 1987 : \$ 4.500

$$\text{Harga Tahun 2009} = \frac{1280}{814} \times \$ 4.500 \times 1,7 = \$ 12.029,48$$

Dengan cara yang sama didapatkan harga untuk alat-alat proses seperti pada Tabel E.1.

Total harga peralatan = US\$ 229.212,80 $\approx$ Rp. 2.062.915.242

E.2. Perhitungan Biaya Fasilitas Penunjang (*Service Facilities*)

Fasilitas penunjang meliputi biaya pembelian peralatan dan instalasi utilitas, pembelian oli sebagai media pemanas, pembelian lampu, alat pemadam kebakaran, dll. Biaya peralatan utilitas dan biaya pembelian oli sebesar 80% dari biaya fasilitas penunjang.

Tabel E.2. Harga Alat Utilitas

Kode	Nama Alat	Jumlah	Harga 1987 (US\$)	Harga 2007 (US\$)	<i>Stainless Steel factor</i> ^[24]	Harga 2009 (US\$)	Harga total (US\$)
F-230	Tangki penyimpan air	1	4.350,00 ^[24]	-	1,39	9.508,01	9.508,01
L-231	Pompa air	1		1.000,00 ^[30]		1.044,90	1.044,90
X-220	<i>Reverse Osmosis</i>	1		4.800,00 ^[28]	-	5.015,51	5.015,51
X-240	<i>UV-Sterilizer</i>	1		4.225,00 ^[29]	-	4.414,69	4.414,69
E-250	<i>Water heater</i>	1		3.300,00		3.448,16	3.448,16
F-260	Tangki penyimpan hot oil	1	5.650,00 ^[24]	-	1,39	12.349,48	12.349,48
E-270	<i>Thermal oil heater</i>	1		3.150,00		3.291,43	3.291,43
L-271	Pompa	1		4.650,00 ^[30]		4.858,78	4.858,78

Tabel E.2. Harga Alat Utilitas (Lanjutan)

Kode	Nama Alat	Jumlah	Harga 1987 (US\$)	Harga 2007 (US\$)	<i>Stainless Steel factor</i>	Harga 2009 (US\$)	Harga total (US\$)
F-280	Tangki bahan bakar	1		1.100,00	-	1.149,39	1.149,39
	Generator	1		130.000,00			135.836,73
	TOTAL						180.917,09

Total harga alat utilitas = US\$ 180.917,09 $\approx$ Rp 1.628.253.771

Harga oli = Rp. 20.000/liter = Rp. 20.000.000/m³

Kebutuhan oli = 7.570 kg sehingga,

$$\text{biaya pembelian oli} = \frac{7.570 \text{ kg}}{870 \text{ kg/m}^3} \times \text{Rp. } 20.000.000/\text{m}^3 = \text{Rp. } 174.022.989$$

Biaya harga alat utilitas dan pembelian oli = Rp. 1.628.253.771 + Rp. 174.022.989

$$= \text{Rp. } 1.802.276.760$$

$$\text{Biaya Fasilitas Penunjang} = \frac{100}{80} \times \text{Rp } 1.802.276.760$$

$$= \text{Rp. } 2.252.845.950$$

E.3. Perhitungan Harga Bahan Baku

Perhitungan bahan baku dilakukan dengan membeli secara lokal maupun impor yang dilakukan setiap 3 bulan sekali, akan tetapi perhitungan harga bahan baku dilakukan untuk tiap tahun. Perhitungan harga bahan baku yang dibeli secara impor dihitung dengan menambahkan *shipping cost* dan bea cukai sebesar 20% dari harga bahan baku. Harga bahan/hari untuk varian I ataupun varian II dapat dilihat pada Tabel E.3.

Tabel E.3. Harga Bahan Baku

Jenis Bahan	Harga bahan/kg (termasuk <i>shipping cost</i> & bea cukai) (Rp)	Kebutuhan/hari (kg)	Varian I	Varian II
			Harga bahan/ hari (Rp)	Harga bahan/ hari (Rp)
EDTA	371.856	1,08	401.604	401.604
Propylene Glycol	39.544	108,00	4.270.781	4.270.781
Carbomer	284.950	27,00	7.693.646	7.693.646
Mineral oil	32.529	94,50	3.073.944	3.073.944
Asam stearat	41.667	45,90	1.912.500	1.912.500
Cetyl alcohol	99.762	45,90	4.579.071	4.579.071
Isopropyl palmitate	21.271	75,60	1.608.069	1.608.069
Petrolatum	371.543	75,60	28.088.624	28.088.624
PEG-40 stearate	139.200	43,20	6.013.440	6.013.440
Glyceryl monostearate	151.920	94,50	14.356.440	14.356.440
Fragrance	700.000	4,05	2.835.000	2.835.000
Tocopherol acetate	1.721.045	5,40	9.293.642	9.293.642
Titanium dioxide	146.106	8,10	1.183.459	-
Vitamin A	1.271.376	4,05	-	5.149.073
Vitamin C	295.000	4,05	-	1.194.750
		TOTAL	85.310.220	90.470.585

Sebagai contoh perhitungan, dilakukan perhitungan untuk EDTA sebagai berikut:

EDTA dibeli secara impor dengan harga = US\$ 34,43/kg $\approx$ Rp 309.880

Shipping cost dan bea cukai = 20% $\times$ Rp 309.880

= Rp 61.976

Kebutuhan per hari = 1,08 kg/hari

Harga bahan baku/ kg = Rp 309.880 + Rp 61.976

= Rp 371.856

Harga bahan baku/ hari = kg/ hari $\times$ Harga bahan baku/ kg

= 1,08 kg/hari $\times$ Rp 371.856

= Rp 401.604,48 $\approx$ Rp 401.604

Dengan cara yang sama didapatkan harga tiap bahan baku pada seperti pada Tabel E.3.

Harga total bahan baku/tahun dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 &= \text{Harga bahan varian I/hari} \times 150 \text{ hari} + \text{Harga bahan varian II/hari} \times 150 \text{ hari} + \\
 &\quad \text{Biaya air proses/bulan} \times 12 \text{ bulan} \\
 &= \text{Rp } 85.314.774/\text{hari} \times 150 \text{ hari} + \text{Rp } 90.475.139/\text{hari} \times 150 \text{ hari} + \text{Rp.} \\
 &\quad 150.919/\text{bulan} \times 12 \text{ bulan} \\
 &= \text{Rp } 26.368.931.801
 \end{aligned}$$

E.4. Perhitungan Harga Utilitas

Perhitungan harga utilitas terdiri dari biaya media filter, harga bahan bakar, biaya air PDAM dan biaya listrik.

E.4.1. Perhitungan Biaya Listrik

Berdasarkan tarif PLN Jawa Timur, untuk beban daya 83 kW termasuk golongan I2 dengan batas daya 14-200 kW. Daya yang tersedia di PLN adalah 105 kW. Berikut tarif beban dan daya per kWh^[32]:

Tarif	Biaya (Rp)
Beban	35.000
kWh	466

Biaya listrik luar beban puncak (LWBP) untuk industri berbeda dengan biaya listrik beban puncak (WBP) pada pk 17.00-22.00 adalah $1,7 \times \text{LWBP}$, sedangkan untuk biaya beban sebesar Rp 35.000/bulan^[32]. Perhitungan biaya listrik pada pabrik *hand and body lotion* sebagai berikut

Tabel E.4. Biaya listrik

Keperluan	Jenis Beban	kWh	Biaya (Rp)	Waktu (hari)	Biaya/tahun (Rp)
Beban iuran					420.000
Penerangan & alat elektronik lainnya	LBWP	223,75	104.267,50	300	31.280.250
	BWP	16,49	13.063,38	300	3.919.014
Proses (60 gram)	LBWP	69,93	32.587,38	100	3.258.738
Proses (120 gram)	LBWP	83,37	38.850,42	200	7.770.084
Utilitas	LBWP	3,48	1.621,68	300	486.504
Pencucian alat	LBWP	4,25	1.980,50	48	95.064
				Jumlah	47.229.654

Biaya listrik sebagai penerangan tetap berjalan untuk 360 hari, sehingga ditetapkan besarnya 10% dari total biaya listrik untuk penerangan & alat elektronik lainnya dalam satu tahun.

$$\begin{aligned}\text{Biaya penerangan selama pabrik non aktif} &= 10\% \times (\text{Rp } 31.280.250 + \text{Rp } 3.919.014) \\ &= \text{Rp } 3.519.926\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Total biaya listrik} &= \text{Rp } 47.229.654 + 3.519.926 \\ &= \text{Rp } 50.749.580/\text{tahun}\end{aligned}$$

E.4.2. Perhitungan Biaya Air

Perhitungan biaya air PDAM didasarkan pada banyaknya m^3 air yang dipakai.

Berdasarkan tarif PDAM Gresik diketahui biaya pemakaian air sebagai berikut^[33]:

Volume (m^3)	Tarif harga (Rp)
0-10	2.200
10-20	2.300
20-30	2.925
Lebih dari 30	3.525

$$\begin{aligned}\text{Jumlah kebutuhan air untuk air proses selama 1 bulan} &= 2,07 \text{ m}^3/\text{hari} \times 25 \text{ hari} \\ &= 51,75 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Jumlah kebutuhan air PDAM untuk utilitas pada pabrik *hand and body lotion* ini sebesar 1000,21 m³/bulan [Utilitas]

Jadi total kebutuhan air = 51,75 m³ + 1000,21 m³ = 1051,96 m³

Jadi setiap bulan besarnya biaya untuk air seperti ditampilkan pada Tabel E.5.

Tabel E.5. Biaya Air

Keperluan	Volume (m ³)	Tarif harga (Rp)	Jumlah biaya (Rp)
Air proses	10	2.200	22.000
	10	2.300	23.000
	10	2.925	29.250
	21,75	3.525	76.669
		Total	150.919
Utilitas	1000,21	3.525	3.525.740

Biaya air PDAM untuk utilitas dalam satu tahun = Rp 3.525.740 × 12

= Rp 42.308.883

E.4.3. Perhitungan Biaya Media Filter

Perhitungan media filter meliputi penggantian pre-filter, membran *reverse osmosis* (RO) dan lampu UV seperti ditampilkan E.6.

Tabel E.6. Biaya Media Filter

Jenis filter	Lama Penggantian (tahun)	Biaya (US\$)	Biaya (Rp)	Biaya/tahun (Rp)
pre-filter dan HEPA-filter	1		1.750.000	1.750.000
membran <i>reverse osmosis</i> (RO)	5	756		1.360.800
lampu UV	1	75		675.000
			Total	3.785.800

E.4.4. Perhitungan Biaya Bahan Bakar

Perhitungan biaya bahan bakar dihitung berdasarkan banyaknya solar yang dibutuhkan untuk menyuplai generator yaitu sebanyak 1.895,97 liter/bulan sehingga,

$$\begin{aligned}\text{biaya bahan bakar/tahun} &= 1.895,97 \text{ liter/bulan} \times \text{Rp. } 6.700^{[34]} \times 12 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp. } 152.435.988\end{aligned}$$

Sehingga, biaya utilitas adalah sebagai berikut :

Tabel E.7. Biaya Utilitas

Jenis	biaya/tahun (Rp)
Media Filter	3.785.800
Solar	152.435.988
Air	42.308.883
Listrik	50.749.580
Jumlah	249.280.251

E.5. Perhitungan Harga Kemasan

Harga *tube* dan kardus pengemas sudah termasuk biaya cetak baik pada badan *hand and body lotion* maupun biaya cetak pada kardus pengemas. *Tube*/kardus pengemas dengan kemasan 60 gram untuk produksi selama 100 hari sedangkan 120 gram untuk 200 hari. Untuk kardus pengemas *tube* kemasan 60 gram, 12 buah diantaranya digunakan sebagai sampel QC terhadap mutu *hand and body lotion* sebelum dipasarkan sedangkan pada kemasan 120 gram, 24 *tube* diantaranya digunakan untuk sampel QC. Harga *tube* dan kardus pengemas dapat dilihat pada Tabel E.8 dan Tabel E.9.

Tabel E.8. Harga Tube (Kemasan Primer)

Kemasan	Berat	Rp/tube	Tube/hari	Tube/tahun	Harga/thn (Rp)
Tube	60 gr	800 ^[35]	45.000	4.500.000	3.600.000.000
	120 gr	1000 ^[35]	22.500	4.500.000	4.500.000.000
				Jumlah	8.100.000.000

Tabel E.9. Harga Kardus Pengemas (Kemasan Sekunder)

Kemasan	Berat	Rp/kardus	Tube/hari	Kardus/hari	Kardus/tahun	Harga/thn (Rp)
Kardus	60 gr	1500 ^[35]	45.000	1874	187.400	281.100.000
	120 gr	2000 ^[36]	22.500	937	187.400	374.800.000
					Jumlah	655.900.000

$$\begin{aligned}\text{Total harga kemasan} &= \text{Rp } 8.100.000.000 + \text{Rp } 655.900.000 \\ &= \text{Rp } 8.755.900.000\end{aligned}$$

E.6. Perhitungan Harga Jual Produk

Produk *hand and body lotion* yang dihasilkan dalam satu hari adalah

- kemasan 60 gram : 45.000 *tube* – 24 *tube* = 44.976 *tube*
- kemasan 120 gram : 22.500 *tube* – 12 *tube* = 22.488 *tube*

Sehingga dalam waktu satu tahun, banyaknya produk yang dipasarkan dapat dilihat pada Tabel E.10.

Tabel E.10. Jumlah Produk yang Dipasarkan Tiap Tahun

Kemasan	Tube/hari	Tube/tahun
60 gram	44.976	4.497.600
120 gram	22.488	4.497.600
	Jumlah	8.995.200

Dari *survey* terhadap harga *hand and body lotion* yang dikeluarkan oleh pabrik kompetitor seperti POND'S dan Vaseline, seperti pada Tabel E.11.

Tabel E.11. Harga Produk Kompetitor^[37]

Produk	Jenis	Kemasan	Harga/tube(Rp.)
Ponds	Whitening	50 ml	7.600
Vaseline	Complete care	100	10.200
	Anti UV	200	16.400

Perkiraan harga jual produk tiap *tube* dan pendapatan per tahun yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel E.12.

Tabel E.12. Harga Produk

Produk	Kemasan (g)	Harga/tube(Rp.)	tube/hari	tube/tahun	Pendapatan/tahun (Rp.)
complete care	60	7.000.00	44.976	2.248.800	15.741.600.000,00
	120	13.000.00	22.488	2.248.800	29.234.400.000,00
Whitening lotion	60	6.500.00	44.976	2.248.800	14.617.200.000,00
	120	12.000.00	22.488	2.248.800	26.985.600.000,00

E.7. Perhitungan Gaji Karyawan

Jumlah karyawan di pabrik *hand and body lotion* ini adalah 115 orang, yang terdiri dari:

1. Karyawan non shift

Karyawan yang bekerja non shift adalah direktur, para manager, karyawan bagian pengadaan bahan, keuangan, administrasi, HRD, marketing dan distribusi, R&D, pegawai *cleaning service* dan pegawai bengkel dengan jam kerja Senin sampai Jumat pukul 08.00-16.00, dan Sabtu pukul 08.00-14.00.

Sedangkan untuk pegawai operator bekerja dengan jam kerja Senin sampai Sabtu pukul 5.00-12.30. Pegawai gudang bahan jadi dan *packaging* bekerja dengan jam kerja Senin sampai Sabtu pukul 11.30-19.00.

2. Karyawan shift

Karyawan shift dibagi menjadi 2, yaitu karyawan yang bekerja 2 shift dan 3 shift. Karyawan yang bekerja 2 shift terdiri dari karyawan bagian utilitas dan *Quality Control* (QC). Jam kerja karyawan shift adalah dari hari Senin sampai Sabtu dengan jadwal:

Shift A: pukul 05.00-12.30

Shift B: pukul 11.30-19.00

Sedangkan jam kerja untuk karyawan yang bekerja 3 shift (satpam), yaitu :

Shift A: pukul 5.00-13.00

Shift B: pukul 13.00-21.00

Shift C: pukul 21.00-05.00

Pergantian shift dilakukan setiap seminggu sekali.

Gaji pokok, tunjangan transportasi dan tunjangan kesehatan, anak dll ditentukan berdasarkan status pegawai dalam perusahaan. Tunjangan transportasi semua karyawan sebesar 5% dari gaji pokok. Total gaji pegawai per bulan dapat dilihat pada Tabel E.13

Tabel E.13. Perhitungan Gaji Karyawan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji pokok/bln (Rp)	Tunjangan Transportasi (Rp)	% Tunjangan kesehatan, anak, dll	Tunjangan kesehatan, anak, dll (Rp)	Total gaji/bln (Rp)	Total gaji 12 bulan (Rp)	Tunjangan Hari Raya (Rp)	Total Gaji dan THR dalam setahun (Rp)
1	Direktur Utama	1	15.000.000	750.000	15	2.250.000	18.000.000	216.000.000	15.000.000	231.000.000
2	Manager Produksi	1	7.000.000	350.000	10	700.000	8.050.000	96.600.000	7.000.000	103.600.000
3	Manager Marketing dan Distribusi	1	7.000.000	350.000	10	700.000	8.050.000	96.600.000	7.000.000	103.600.000
4	Manager Keuangan, administrasi dan HRD	1	7.000.000	350.000	10	700.000	8.050.000	96.600.000	7.000.000	103.600.000
5	Manager QC dan R&D	1	7.000.000	350.000	10	700.000	8.050.000	96.600.000	7.000.000	103.600.000
6	Kepala Teknik dan utilitas	2	4.000.000	200.000	7,5	300.000	4.500.000	54.000.000	4.000.000	116.000.000
7	Kepala Pengadaan bahan	1	4.000.000	200.000	7,5	300.000	4.500.000	54.000.000	4.000.000	58.000.000
8	Kepala HRD	1	4.000.000	200.000	7,5	300.000	4.500.000	54.000.000	4.000.000	58.000.000
9	Kepala Keuangan dan administrasi	1	4.000.000	200.000	7,5	300.000	4.500.000	54.000.000	4.000.000	58.000.000
10	Kepala QC	2	4.000.000	200.000	7,5	300.000	4.500.000	54.000.000	4.000.000	116.000.000
11	Kepala R&D	1	4.000.000	200.000	7,5	300.000	4.500.000	54.000.000	4.000.000	58.000.000
12	Staf Marketing dan distribusi	6	2.000.000	100.000	5	100.000	2.200.000	26.400.000	2.000.000	170.400.000
13	Staf HRD	2	2.000.000	100.000	5	100.000	2.200.000	26.400.000	2.000.000	56.800.000
14	Staf Keuangan	2	2.000.000	100.000	5	100.000	2.200.000	26.400.000	2.000.000	56.800.000
15	Staf Administrasi	2	2.000.000	100.000	5	100.000	2.200.000	26.400.000	2.000.000	56.800.000
16	Staf QC	10	2.000.000	100.000	5	100.000	2.200.000	26.400.000	2.000.000	284.000.000
17	Staf R&D	3	2.000.000	100.000	5	100.000	2.200.000	26.400.000	2.000.000	85.200.000
18	Staf pengadaan bahan	2	2.000.000	100.000	5	100.000	2.200.000	26.400.000	2.000.000	56.800.000
19	Operator	2	2.000.000	100.000	5	100.000	2.200.000	26.400.000	2.000.000	56.800.000
20	Packaging dan bahan baku	18	1.000.000	50.000	5	50.000	1.100.000	13.200.000	1.000.000	255.600.000

Tabel E.13. Perhitungan Gaji Karyawan (Lanjutan)

No	Jabatan	Jumlah	Gaji pokok/bln (Rp)	Tunjangan Transportasi (Rp)	% Tunjangan kesehatan, anak, dll	Tunjangan kesehatan, anak, dll (Rp)	Total gaji/bln (Rp)	Total gaji 12 bulan (Rp)	Tunjangan Hari Raya (Rp)	Total Gaji dan THR dalam setahun (Rp)
21	Utilitas	6	1.250.000	63.000	5	63.000	1.375.000	16.500.000	1.250.000	106.500.000
22	Bengkel dan <i>spare part</i>	2	1.000.000	50.000	5	50.000	1.100.000	13.200	1.000.000	28.400.000
23	<i>Cleaning service</i>	10	800.000	40.000	5	40.000	880.000	10.560	800.000	113.600.000
24	Satpam	12	800.000	40.000	5	40.000	880.000	10.560	800.000	136.320.000
25	Sopir	10	800.000	40.000	5	40.000	880.000	10.560	800.000	113.600.000
26	Pegawai gudang bahan jadi	15	800.000	40.000	5	40.000	880.000	10.560	800.000	170.400.000
	Jumlah	115								2.857.420.000

Sebagai contoh perhitungan dilakukan perhitungan untuk gaji direktur sebagai berikut,

Ditetapkan : besarnya Tunjangan Hari Raya sama dengan gaji pokok

Gaji pokok = Rp 15.000.000

Tunjangan transportasi = $5\% \times \text{Gaji pokok}$

$$= 5\% \times \text{Rp } 15.000.000 = \text{Rp } 750.000$$

Tunjangan kesehatan, anak, dll = $15\% \times \text{Gaji pokok}$

$$= 15\% \times \text{Rp } 15.000.000 = \text{Rp } 2.250.000$$

Gaji per bulan = Jumlah karyawan $\times$ (Gaji pokok + Tunjangan transportasi +

Tunjangan kesehatan, anak, dll)

$$= 1 \times (\text{Rp } 15.000.000 + \text{Rp } 750.000 + \text{Rp } 2.250.000)$$

$$= \text{Rp } 18.000.000$$

Gaji untuk 12 bulan = $\text{Rp } 18.000.000/\text{bulan} \times 12 \text{ bulan} = \text{Rp. } 216.000.000$

Jumlah karyawan = 1

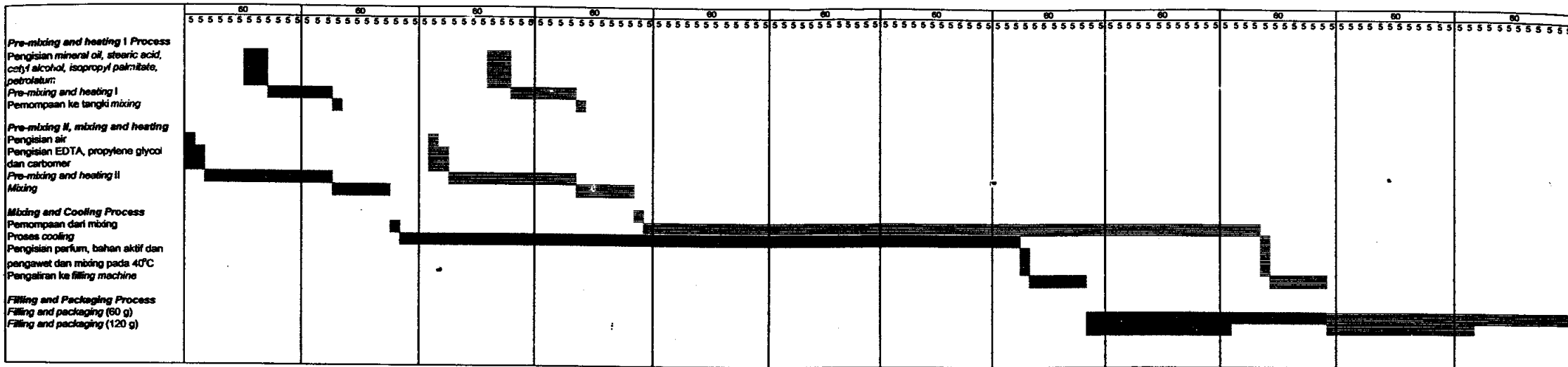
Total Gaji dan THR dalam setahun = Jumlah karyawan $\times$ (Gaji untuk 12 bulan +
THR)

$$= 1 \times (\text{Rp. } 216.000.000 + \text{Rp. } 15.000.000)$$

$$= \text{Rp. } 231.000.000$$

Dengan cara yang sama didapatkan total gaji dan THR dalam setahun seperti pada Tabel E.13.

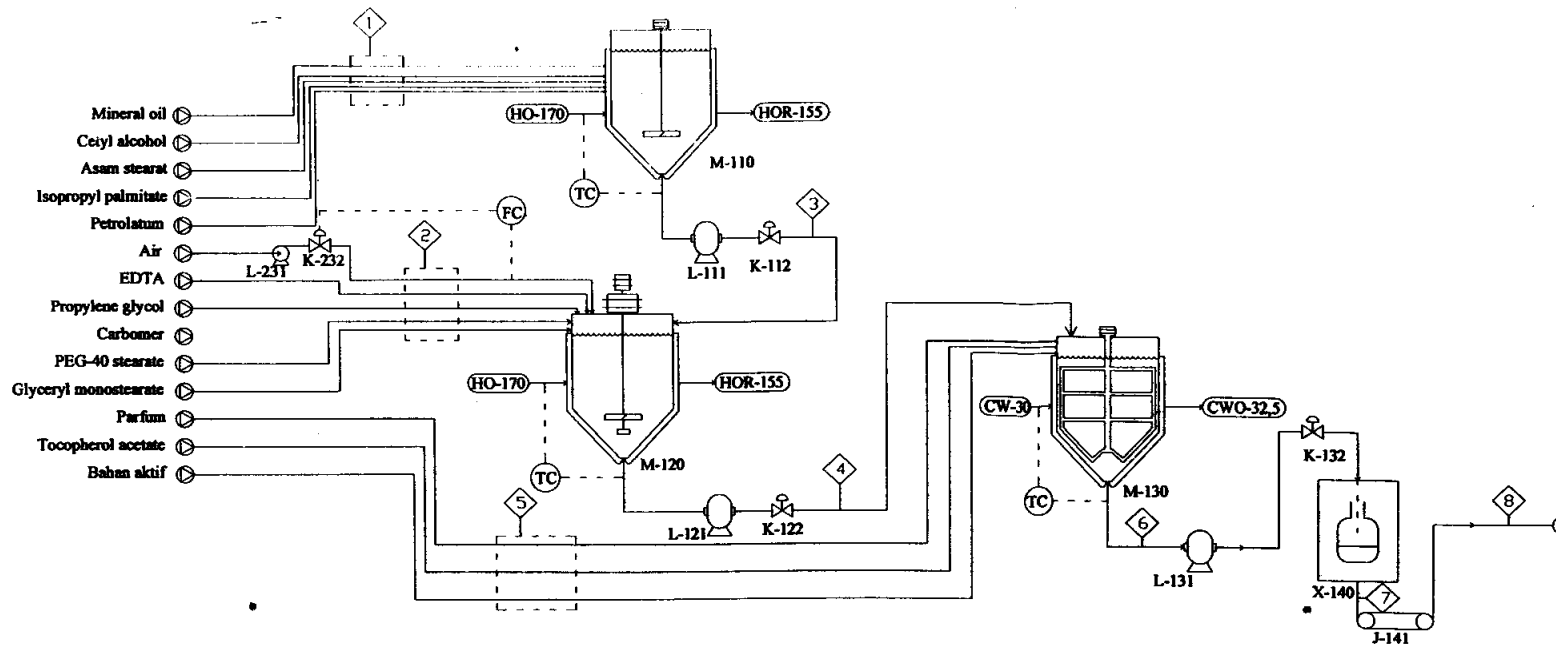
DAFTAR SCHEDULING PROCESS PRARENCANA PABRIK HAND AND BODY LOTION DENGAN PENGAWET ALAMI



KETERANGAN :

■ BATCH I

▨ BATCH II



Nomor aliran	1	2	3	4	5	6	7	8
Suhu, K	303,15	303,15	348,15	348,15	303,15	303,15	303,15	303,15
Massa total, kg	2.344,95	337,50	2.344,95	337,50	17,55	2.700,00	2.700,00	2.700,00
Panas total, kJ								
Massa komponen, kg								
Air	2.071,17	-	2.071,17	-	-	2.071,17	2.071,17	2.071,17
EDTA	1,08	-	1,08	-	-	1,08	1,08	1,08
Propylene Glycol	108,00	-	108,00	-	-	108,00	108,00	108,00
Carbomer	27,00	-	27,00	-	-	27,00	27,00	27,00
PEG-40 stearate	43,20	-	43,20	-	-	43,20	43,20	43,20
Glyceryl monostearate	94,50	-	94,50	-	-	94,50	94,50	94,50
Mineral oil	-	94,50	-	94,50	-	94,50	94,50	94,50
Cetyl alcohol	-	45,90	-	45,90	-	45,90	45,90	45,90
Asam stearat	-	45,90	-	45,90	-	45,90	45,90	45,90
Isopropyl palmitate	-	75,60	-	75,60	-	75,60	75,60	75,60
Petrolatum	-	75,60	-	75,60	-	75,60	75,60	75,60
Parfum	-	-	-	-	4,05	4,05	4,05	4,05
Tocopherol acetate	-	-	-	-	5,40	5,40	5,40	5,40
Bahan aktif	-	-	-	-	8,10	8,10	8,10	8,10

13.	J-141	Belt conveyor
12.	X-140	Filling Machine
11.	K-132	Valve
10.	L-131	Positive displacement pump
9.	M-130	Mixing and Cooling Tank
8.	K-122	Valve
7.	L-121	Positive displacement pump
6.	M-120	Pre-mixing and heating Tank II
5.	K-112	Valve
4.	L-111	Positive displacement pump
3.	M-110	Pre-mixing and Heating Tank I
2.	K-232	Valve
1.	L-231	Centrifugal pump

NO	KODE	NAMA ALAT
Digambar oleh:		
1.	Randy Irawan Prasetyo	5203004004
2.	Giyanto Wijaya Salim	5203004028
Mengetahui/Menyetujui:		
Pembimbing I		Pembimbing II
Ir. Suryadi I., Ph.D.		Ir. Nani Indraswati
NIK. 521.93.0198		NIK. 521.86.0121
Diagram Alir Perencanaan Fabrik Hand and Body Lotion dengan Pengawet Alami		

TC	Temperature Controller
FC	Flow Controller
HO-	Hot Oil
HOR-	Hot Oil Return
CW-	Cooling water
CWO-	Cooling Water Outlet