B. Proses Pembuatan Tepung Agar-Agar

Satuan : kg

Kapasitas produksi : 692155,996 kg/tahun

1 tahun : 300 hari

1 hari : 2307,186653 kg

Basis : 1 hari

Proses : kontinyu

Untuk mendapatkan tepung agar-agar sebanyak 2307,186653 kg, diperlukan rumput laut sebesar 2850,665 kg. Komposisi rumput laut yang masuk dapat dilihat pada Tabel A.2

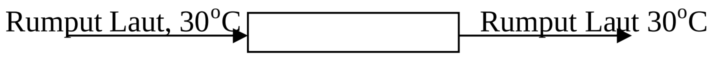
Tabel A.2 Komposisi rumput laut masuk [8]

Komposisi	**% berat**
Lemak	0,95
Protein	4,95
Karbohidrat	62,67
Abu	4,65
Air	16,85
Serat	9,93
Total	**100,00**

Jumlah masing – masing komponen dalam rumput laut :

- Lemak = 2850,665 x 0,95 % = 27,0813 kg
- Protein = 2850,665 x 4,95 % = 141,1079 kg
- Karbohidrat = 2850,665 x 62,67 % = 1786,5118 kg
- Abu = 2850,665 x 4,65 % = 132,5559 kg
- Air = 2850,665 x 16,85 % = 480,3370 kg
- Serat = 2850,665 x 9,93 % = 283,0710 kg

3. *Rotary Cutter* (C-201)

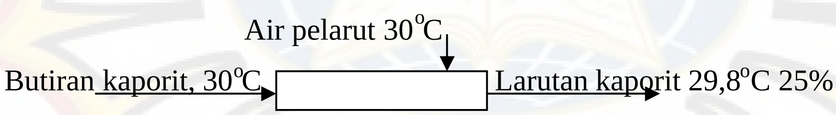


Asumsi :

Pada proses *grinding*, diasumsi tidak ada rumput laut yang menempel pada alat *rotary cutter*.

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari Warehouse (F-100)			Ke Tangki perendaman (M-210)		
Rumput Laut 30°C		**2850,665**	**Rumput Laut 30°C**		**2850,665**
- Lemak	27,0813		- Lemak	27,0813	
- Protein	141,1079		- Protein	141,1079	
- Karbohidrat	1786,5118		- Karbohidrat	1786,5118	
- Abu	132,5559		- Abu	132,5559	
- Air	480,3370		- Air	480,3370	
- Serat	283,0710		- Serat	283,0710	
Total		**2850,665**	**Total**		**2850,665**

4. Tangki pelarutan kaporit $Ca(OCl)_2$

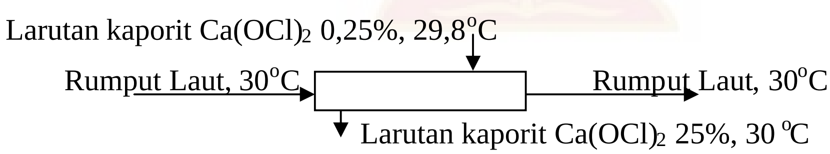


Massa kaporit yang dilarutkan = 0,25 x 5701,33 = 1425,3325

Air pelarut = 0,75 x 5701,33 = 4275,9975

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari Warehouse			Ke Tangki perendaman (M-210)		
Butiran Kaporit 30°C		**1425,3325**	**Larutan Kaporit 25%**		**5701,33**
Air pelarut		**4275,9975**	- Kaporit	1425,3325	
			- Air	4275,9975	
Total		**5701,33**	**Total**		**5701,33**

4. Tangki Perendaman (M-210)



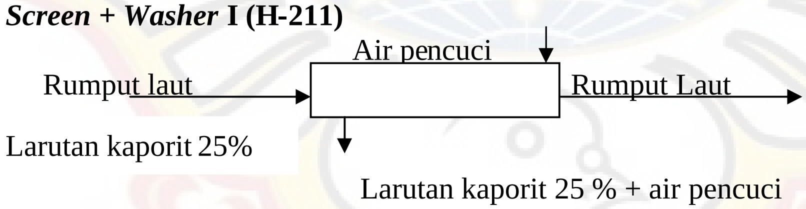
Asumsi:

- Larutan kaporit yang digunakan sebanyak 2 x berat rumput laut masuk ke tangki perendaman
- Saat masuk ke screening rumput laut tidak ada yang tertinggal pada tangki perendaman

Massa larutan kaporit yang digunakan= 2 x 2850,665 kg = 5701,33 kg

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari *Rotary Cutter* (C-201)			Ke *screen* + *washer* I (H-211)		
Rumput laut		**2850,665**	**Rumput Laut**		**2850,665**
- Lemak	27,0813		- Lemak	27,0813	
- Protein	141,1079		- Protein	141,1079	
- Karbohidrat	1786,5118		- Karbohidrat	1786,5118	
- Abu	132,5559		- Abu	132,5559	
- Air	480,3370		- Air	480,3370	
- Serat	283,0710		-Serat	283,0710	
Dari Tangki pelarutan kaporit			Ke *screen* + *washer* I (H-211)		
Larutan Kaporit 25%		**5701,33**	**Larutan Kaporit 25%**		**5701,33**
- Kaporit	1425,3325		- Kaporit	1425,3325	
- Air	4275,9975		- Air	4275,9975	
Total		**8551,995**	**Total**		**8551,995**

4. *Screen* + *Washer* I (H-211)



Asumsi:

- Air pencucian yang terikut dalam rumput laut sebanyak 5% massa rumput laut
- Setelah *screening* larutan kaporit tidak ada yang tertinggal pada rumput laut, karena adanya pencucian
- Massa air pencuci sebanyak 3x massa rumput laut masuk screen, karena pencucian dilakukan dengan cara menyemprotkan air ke rumput laut

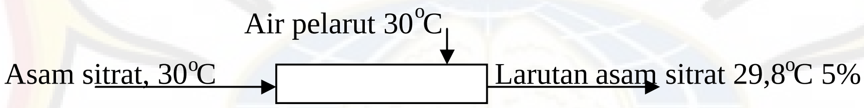
Massa air pencuci = 3 x 2850,665 kg = 8551,995 kg

Air pencucian yang terikut dalam rumput laut = 5 % x 2850,665 kg = 142,53325

Kandungan air rumput laut keluar screen = 480,3370 kg + 30,75 kg= 622,8703 kg

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari Tangki perendaman (M-210)			Ke Tangki Pelembutan (M-220)		
Rumput laut		**2850,665**	**Rumput Laut**		**2993,1982**
- Lemak	27,0813		- Lemak	27,0813	
- Protein	141,1079		- Protein	141,1079	
- Karbohidrat	1786,5118		- Karbohidrat	1786,5118	
- Abu	132,5559		- Abu	132,5559	
- Air	480,3370		- Air	622,8703	
- Serat	283,0710		-Serat	283,0710	
			Ke tangki penampungan kaporit		
Larutan Kaporit 25%		**5701,33**	**Larutan Kaporit 25%**		**5701,33**
- Kaporit	1425,3325		-Kaporit	1425,3325	
- Air	4275,9975		-Air	4275,9975	
Air pencuci		**8551,995**	Air pencuci		**8409,4617**
Total		**17103,99**	**Total**		**17103,99**

5. Tangki pelarutan asam sitrat 5% $C_6H_8O_7$

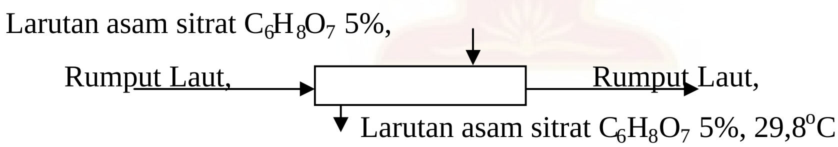


Massa asam sitrat yang dilarutkan = 0,05 x 5986,3965 = 299,3198

Air pelarut = 0,95 x 5986,3965 = 5687,0766

Masuk (kg)		Keluar (kg)		
Dari Warehouse		Ke Tangki Pelembutan (M-220)		
Asam sitrat	**299,3198**	**Larutan asam sitrat 5%**		**5986,3965**
Air pelarut	**5687,0766**	- Asam sitrat	299,3198	
		- Air	5687,0766	
Total	**5986,3965**	**Total**		**5986,3965**

7. Tangki Pelembutan (M-220)



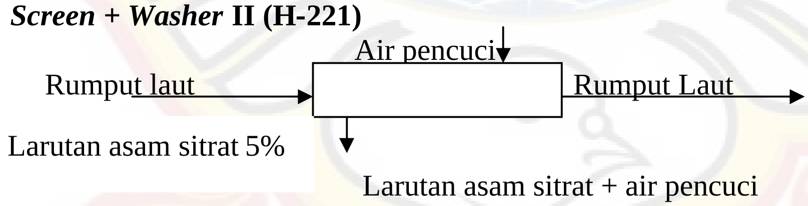
Asumsi:

- Larutan asam sitrat yang digunakan sebanyak 2 x berat rumput laut masuk ke tangki pelembutan
- Saat masuk ke screening rumput laut tidak ada yang tertinggal pada tangki pelembutan

Massa larutan asam sitrat yang digunakan= 2 x 2993,19825 kg = 5986,3965

Masuk (kg)		Keluar (kg)	
Dari *Screen*+*washer* I (H-211)		Ke *screen* + *washer* II (H-221)	
Rumput laut	**2993,1982**	**Rumput Laut**	**2993,198**
- Lemak	27,0813	- Lemak	27,0813
- Protein	141,1079	- Protein	141,1079
- Karbohidrat	1786,5118	- Karbohidrat	1786,5118
- Abu	132,5559	- Abu	132,5559
- Air	622,8703	- Air	622,8703
- Serat	283,0710	-Serat	283,0710
Dari Tangki pelarutan asam sitrat		Ke *screen* + *washer* II (H-221)	
Larutan $C_6H_8O_7$ 5%	**5986,39**	**Larutan $C_6H_8O_7$ 5%**	**5986,39**
- Asam sitrat	299,3198	- Asam sitrat	299,3198
- Air	5687,0766	- Air	5687,0766
Total	**8979,594**	**Total**	**8979,594**

8. *Screen* + *Washer* II (H-221)



Asumsi:

- Air pencucian yang terikut dalam rumput laut sebanyak 5% massa rumput laut
- Setelah *screening* asam sitrat yang tertinggal di rumput laut sebanyak 30%. Hal ini dikarenakan adanya asam sitrat yang menempel di dinding sel rumput laut

- Massa air pencuci sebanyak 3x massa rumput laut masuk screen, karena pencucian dilakukan dengan cara menyemprotkan air ke rumput laut

Massa air pencuci = 3 x 2993,1982 kg = 8979,5947 kg

Air pencucian yang terikut dalam rumput laut = 5 % x 2993,19 kg = 149,6599 kg

Kandungan air rumput laut keluar screen = 622,8703 kg + 149,6599 kg

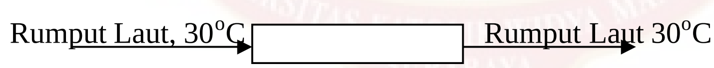
= 772,5302 kg

Massa asam sitrat = 30% x 299,3198 kg = 89,7959 kg

Massa asam sitrat= 299,3198 - 89,7959 = 209,5239 kg

Masuk (kg)		Keluar (kg)	
Dari Tangki pelembutan (M-220)		Ke Rotary Cutter II (C-222)	
Rumput laut	**2993,198**	**Rumput Laut**	**3232,654**
- Lemak 27,0813		- Lemak 27,0813	
- Protein 141,1079		- Protein 141,1079	
- Karbohidrat 1786,5118		- Karbohidrat 1786,5118	
- Abu 132,5559		- Abu 132,5559	
- Air 622,8703		- Air 722,5302	
- Serat 283,0710		-Serat 283,0710	
		- Asam sitrat 89,7959	
		Ke tangki penampungan asam sitrat	
Larutan $C_6H_8O_7$ 5%	**5986,39**	**Larutan $C_6H_8O_7$ 5%**	**5896,6**
- Asam sitrat 299,3198		- Asam sitrat 209,5239	
- Air 5687,0766		- Air 5687,0766	
Air pencuci	**8979,594**	Air pencuci	**8829,9348**
Total	**18902,793**	**Total**	**18902,793**

9. *Rotary Cutter* II (C-222)



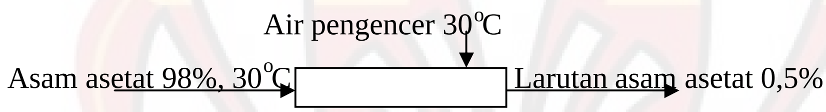
Asumsi :

Pada proses *grinding*, diasumsi tidak ada rumput laut yang menempel pada alat *rotary cutter*.

Masuk (kg)	Keluar (kg)

Dari *Screen+washer* II (H-221)			Ke Tangki ekstraksi (M-230)		
Rumput Laut		**3232,654**	**Rumput Laut**		**3232,654**
- Lemak	27,0813		- Lemak	27,0813	
- Protein	141,1079		- Protein	141,1079	
- Karbohidrat	1786,5118		- Karbohidrat	1786,5118	
- Abu	132,5559		- Abu	132,5559	
- Air	722,5302		- Air	722,5302	
- Serat	283,0710		- Serat	283,0710	
- Asam sitrat	89,7959		- Asam sitrat	89,7959	
Total		**3232,654**	**Total**		**3232,654**

9. Tangki pengenceran asam asetat CH_3COOH 0,5%



Asumsi:
Massa asam asetat yang digunakan adalah 2 kali massa rumput laut

Massa larutan CH_3COOH = 2 x 2993,19825 kg=5986,3965 kg

98 % x(massa larutan asam asetat 98%)= 0,5 % x5986,3965 kg

Massa larutan asam asetat 98% = 30.54284 kg

Jumlah air yang harus ditambahkan :

2 % Massa larutan asam asetat 98% + massa air pengencer = 25 % x massa larutan asam asetat 0,5%

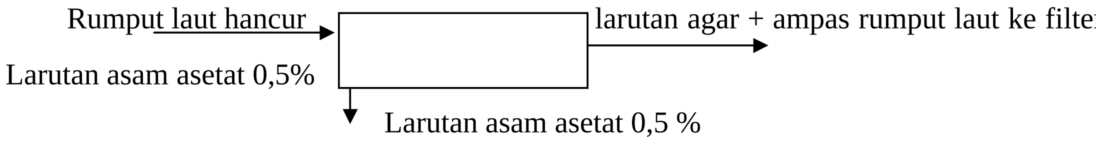
2% x 30.54284 kg + massa air pengencer = 99,5 % x 5986,3965 kg

Massa air pengencer = 5955,854 kg

Masuk (kg)			Keluar (kg)	
Dari Tangki penampung asam asetat			Ke Tangki ekstraksi (M-230)	
Larutan asam asetat 98%		**30.5428**	**Larutan asam asetat 0,5%**	**5986,396**
CH_3COOH	29.931			
H_2O	0.6108			
Air pengencer		**5955,854**		
Total		**5986,3965**	**Total**	**5986,3965**

10. Tangki Ekstraksi (M-230)

Air pengekstrak↓



Asumsi:

- Air pengekstrak yang dibutuhkan adalah sebanyak 10 kali berat rumput laut masuk
- Digunakan larutan CH_3COOH untuk menjaga pH antara 5-6, larutan asam asetat yang ditambahkan sebanyak 2x berat rumput laut.
- Air yang menguap sebanyak: 30 % total massa air di tangki ekstraktor
- Larutan agar keluar dari ekstraktor merupakan campuran dari rumput laut, air pengekstrak dan larutan asam asetat

Air pengekstrak yang digunakan= 10 x 2993.19825 kg = 29931.9825 kg

Massa air dalam tangki ekstraktor= massa air pengekstrak + massa air dalam larutan asam asetat 0,5 % + massa air dalam rumput laut

= 29931.9825 + 5986,4645 + 622,8703 = 36511,317 kg

Massa uap air = 30% x 36511,317 kg = 10953.3952 kg

Perhitungan pH rumput laut masuk ke tangki ekstraksi:

Mol asam sitrat = 89,7959 gr / 210gr/mol = 0,4267 mol

Molar asam sitrat = 0,4267 mol / 725,5776 liter = 0,0589 M

Ka = $1{,}07 \cdot 10^{-6}$ [chemtools.com]

Ka = [H+] [C6H7O7] / [C6H8O7]

$1{,}07 \cdot 10^{-6}$ = [x] [x] / [0,0589 + x]

[x] = $[H^+]$ = 0,00025 maka pH = - log $[H^+]$ = 3,4

Setelah penambahan air, konsentrasi asam sitrat menjadi 0,000321 M sehingga diasumsi pH rumput laut setelah penambahan air mendekati pH air (pH=7)

Perhitungan pH rumput laut setelah penambahan asam asetat:

Konsentrasi asam asetat = 29.9319 gr / 60gr/mol = 0,5 mol / 5000 liter = 0,001 M

Ka = 5,055 .10-6 [chemtools.com]

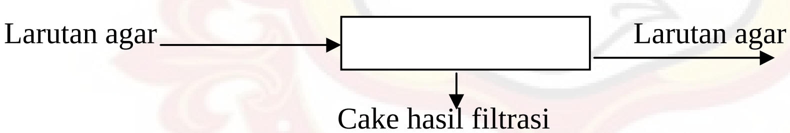
Ka = [H3O+] [CH3COO-] / [CH3COOH]

5,01 .10-6 = [x] [x] / [0,001 + x]

[x] = [H+] = 5,01 .10-6 maka pH = - log [H+] = 5,7

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari Rotary Cutter II (C-222)			Ke Filter press (H-240)		
Rumput laut		**3232,654**	**Larutan agar**		**28047,9779**
- Lemak	27,0813		- Lemak	27,0813	
- Protein	141,1079		- Protein	141,1079	
- Karbohidrat	1786,5118		- Karbohidrat	1786,5118	
- Abu	132,5559		- Abu	132,5559	
- Air	722,5302		- Air	25557,9221	
- Serat	283,0710		-Serat	283,0710	
- Asam sitrat	89,7959		- Asam asetat	29,9319	
			- Asam sitrat	89,7959	
Larutan asam asetat 0,5%		**5986,396**			
- Asam asetat	29,9319		Uap air		**10953.3952**
- Air	5956.4645				
Air pengekstrak		**29931,9825**			
Total		**39001,3731**	**Total**		**39001,3731**

11. *Filter Press* (H-240)



Asumsi:

- Serat dan abu yang terdapat dalam cake sebesar 80% dari larutan agar. Hal ini terjadi karena hasil filtrasi berupa cake lebih banyak mengandung serat dan abu

  Massa serat yang terdapat dalam cake= 0.8 x 283,0710 kg= 226.4568 kg

  Massa abu yang terdapat dalam cake = 0,8 x 132,5559 kg= 32.7979 kg

- Asam sitrat yang terdapat dalam cake juga sebesar 80%. Hal ini dikarenakan sebagian besar asam sitrat menempel pada dinding sel ampas rumput laut akibat proses pelunakan pada tangki pelembutan
- Lemak, protein, karbohidrat, air dan asam asetat yang terdapat pada cake sebesar 10% dari massa rumput laut

Massa lemak, protein, karbohidrat, air dan asam asetat yang terdapat pada cake

- Lemak = 0,1 x 27,08131 = 2,708131 kg
- Protein= 0,1 x 141,1079 = 14,11079 kg
- Karbohidrat= 0,1 x 1786,5117=178,65117 kg
- Air = 0,1 x 622,8703 = 62.28703 kg
- Asam asetat=0,1x 29,9319 = 2,99319 kg

Massa asam sitrat = 0,8 x 89.7959 = 71.83672 kg

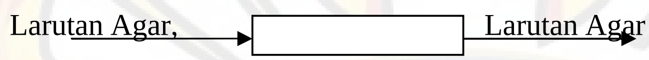
Massa lemak, protein, karbohidrat, air dan asam asetat yang terdapat pada larutan agar:

- Lemak = 27,0813 - 2,708131 = 24,3731 kg
- Protein= 141,1079 - 14,11079 = 126,9971 kg
- Karbohidrat= 1786,5118 - 178,65117 =1607.861 kg
- Air = 25557,9221- 62.28703 = 25495,64 kg
- Asam asetat=29,9319 - 2,99319 = 26,93871 kg
- Asam sitrat = 89.7959 - 71.83672 = 17,95918 kg
- Serat = 283,071 -226,4568 = 56,6142 kg
- Abu = 132,559 – 106,0447 = 26,51428 kg

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari Tangki Ekstraksi (M-230)			Ke Filtrat Bin (F-241)		
Larutan Agar		**28047,9779**	**Larutan Agar**		**27382,8893**
- Lemak	27,0813		- Lemak	24,3731	
- Protein	141,1079		- Protein	126,9971	
- Karbohidrat	1786,5118		- Karbohidrat	1607,861	
- Abu	132,5559		- Abu	26,5142	
- Air	25557,9221		- Air	25495,64	

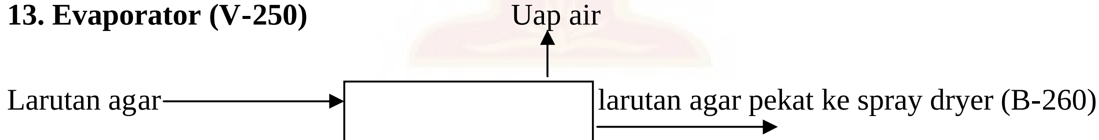
- Serat 283,0710		- Serat 56,6142	
- Asam asetat 29,9319		- Asam asetat 26,9387	
- Asam sitrat 89,7959		- Asam sitrat 17,95918	
		Ke Tangki penampungan cake	
		Cake	**665,0885**
		- Lemak 2,7081	
		- Protein 14,110	
		- Karbohidrat 178,65117	
		- Abu 106,0447	
		- Air 62,2870	
		- Serat 226,4568	
		- Asam asetat 2,99319	
		- Asam sitrat 71,83672	
Total	**28047,9779**	**Total**	**28047,9779**

12. Filtrat Bin (F-241)



Masuk (kg)		Keluar (kg)	
Dari *Filter Press* (H-240)		Ke *Evaporator* (V-250)	
Larutan Agar	**27382,8893**	**Larutan Agar**	**27382,8893**
- Lemak 24,3731		- Lemak 24,3731	
- Protein 126,9971		- Protein 126,9971	
- Karbohidrat 1607,861		- Karbohidrat 1607,861	
- Abu 26,5142		- Abu 26,5142	
- Air 25495,64		- Air 25495,64	
- Serat 56,6142		- Serat 56,6142	
- Asam asetat 26,9387		- Asam asetat 26,9387	
- Asam sitrat 17,95918		- Asam sitrat 17,95918	
Total	**27627,9325**	**Total**	**27382,8893**

13. Evaporator (V-250)



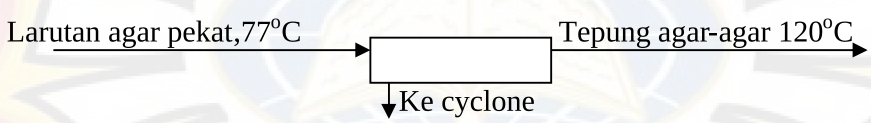
Asumsi:
Larutan agar-agar dihilangkan kadar air nya sebanyak 45 % sebelum masuk ke spray dryer

Massa air teruapkan = 45% x 25495,64 = 11473,0408 kg

Massa air sisa dalam larutan agar = 55% x 25495,64 = 14022,5992 kg

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari Tangki penampungan filtrat (F-241)			Ke *Spray Dryer* (B-260)		
Larutan Agar		**27382,8893**	**Larutan Agar**		**15909,8565**
- Lemak	24,3731		- Lemak	24,3731	
- Protein	126,9971		- Protein	126,9971	
- Karbohidrat	1607,861		- Karbohidrat	1607,861	
- Abu	26,5142		- Abu	26,5142	
- Air	25495,64		- Air	14022,5992	
- Serat	56,6142		- Serat	56,6142	
- Asam asetat	26,9387		- Asam asetat	26,9387	
- Asam sitrat	17,95918		- Asam sitrat	17,95918	
			Ke *Condenser* (E-251)		
			Uap air		**11473,0408**
Total		**27382,8893**	**Total**		**27382,8893**

14. *Spray Dryer* (B-260)



Asumsi : Massa tepung agar-agar ke cyclone adalah 0,5 % dari massa tepung agar-agar masuk ke spray dryer

Komponen tepung agar-agar ke cyclone adalah lemak, protein, karbohidrat, abu, serat, dan asam sitrat

Total massa komponen di atas masuk ke spray dryer = 24,3731 + 126,9971 + 1607,861 + 26,5142 + 56,6142 + 17,95918= 1860.3185 kg

Massa tepung agar-agar masuk ke cyclone = 0,005 x 1860.3185 kg = 9,3016 kg

Dengan menghitung perbandingan komposisi tepung agar-agar maka didapatkan:

Massa lemak ke cyclone (1,31%) : 1,31% x 9,3016 kg = 0,1218 kg

Massa protein ke cyclone (6,83%) : 6,83%x 9,3016 kg = 0,6349 kg

Massa karbohidrat ke cyclone (86,43%) : 86,43% x 9,3016 kg = 8,0393 kg

Massa abu ke cyclone (1,42%) : 1,42% x 9,3016 kg = 0,1325 kg

Massa serat ke cyclone (3,043%) : 3,043% x 9,3016 kg = 0,2830 kg

Massa asam sitrat ke cyclone (0,96%) : 0,96% x 9,3016 kg = 0,0897 kg

Massa lemak ke tangki penampungan : Massa lemak awal – massa lemak ke cyclone

24,3731 kg – 0,1218 kg = 26,2513 kg

Dengan cara seperti diatas dapat ditentukan protein, karbohidrat, serat dan abu dan asam sitrat ke tangki penampungan.

Kandungan air dalam tepung agar –agar adalah 16% [12]. Massa air yang keluar dari spray dryer ditentukan dengan menggunakan cara di bawah ini:

$$\text{tangki } penampungan = \frac{m.air}{m.protein + m.lemak + m.karbohidrat + m.abu + m.air + m.serat}$$

$$= \frac{x}{1869,6201 + x} * 100\%$$

$$16\% = \frac{x}{1869,6201 + x} * 100\%$$

$$x = 356,1181 \ kg$$

Jadi air yang keluar ke tangki penampungan 356,1181 kg

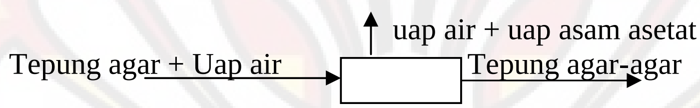
Massa air yang keluar ke cyclone = 14022,5992 kg – 356,1181 kg

= 13666,4810 kg

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari *Evaporator* (V-250)			Ke Tangki penampungan tepung agar (F-261)		
Larutan Agar pekat		**15909,8565**	**Tepung Agar**		**2207,1350**
- Lemak	24,3731		- Lemak	24,2513	
- Protein	126,9971		- Protein	126,3621	
- Karbohidrat	1607,861		- Karbohidrat	1599,8213	
- Abu	26,5142		- Abu	26,3817	
- Air	14022,5992		- Air	356,1181	
- Serat	56,6142		-Serat	56,3311	
- Asam asetat	26,9387		- Asam sitrat	17,8693	
- Asam sitrat	17,95918				

	Ke Cyclone (H-262)
	Tepung agar 9,30159 - Lemak 0,1218 - Protein 0,6349 - Karbohidrat 8,0393 - Abu 0,1325 - Serat 0,2830 - Asam sitrat 0,0897 **Uap air** 13666,4810 **Uap asam asetat** 26,9387
Total **15909,8565**	**Total** **15909,8565**

15. *Cyclone* (H-262)



Data :

Kandungan air pada tepung agar-agar pada umumnya adalah adalah 16 %

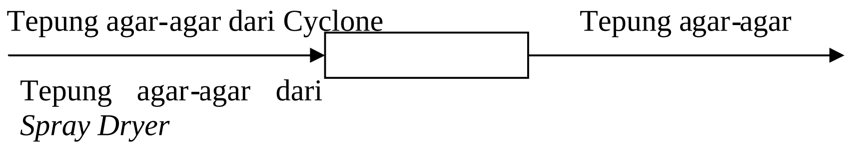
$$\% \, air \text{ tangki } penampungan =$$

$$16\% = \frac{x}{9{,}30159 + x} * 100\%$$

$$x = 1{,}7717 \; kg$$

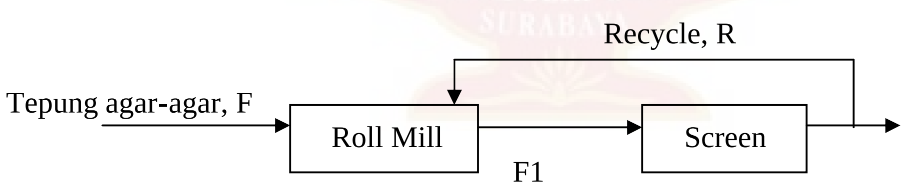
Masuk (kg)		Keluar (kg)	
Dari *Spray Dryer* (B-260)		Ke Tangki penampungan agar-agar instan (F-261)	
Tepung agar	**9,30159**	**Tepung agar**	**11,0732**
- Lemak	0,1218	- Lemak	0,1218
- Protein	0,6349	- Protein	0,6349
- Karbohidrat	8,0393	- Karbohidrat	8,0393
- Abu	0,1325	- Abu	0,1325
- Serat	0,2830	- Serat	0,2830
Asam sitrat	0,0897	- Asam sitrat	0,0897
		- Air	1,7717
Uap Asam asetat	**26,9387**	Ke Condenser (E-263)	
Uap air	**13666,4810**	**Uap air**	**13664,7093**
		Uap asam asetat	**26,9387**
Total	**13702,7212**	**Total**	**13702,7212**

16. Tangki Penampungan tepung agar-agar (F-261)



Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari *Spray Dryer* (b260)			Ke *Roll mill* + *Screen*		
Tepung agar-agar		**2207,1350**	**Tepung agar**		**2218.2082**
- Lemak	24,2513		- Lemak	24,3731	
- Protein	126,3621		- Protein	126,9971	
- Karbohidrat	1599,8213		- Karbohidrat	1607,861	
- Abu	26,3817		- Abu	26,5142	
- Air	356,1181		- Air	357.8898	
-Serat	56,3311		-Serat	56,6142	
-Asam sitrat	17,8693		- Asam sitrat	17,9592	
Dari Cyclone					
Tepung agar		**11,0732**			
-Lemak	0,1218				
-Protein	0,6349				
-Karbohidrat	8,0393				
-Abu	0,1325				
-Air	1,7717				
-Serat	0,2830				
-Asam sitrat	0,0897				
Total		**2218.2082**	**Total**		**2218.2082**

***18. Roll Mill* (C-264) + *Screen* (H-265)**



Neraca massa pada *Ball Mill+Screen* :

F1=F+R

R = (100-96)% x F1

R = 0,04.F1 …………………………………………(1)

F1=F+R

F1=F+0,04.F1 maka 0.96 F1 = F……………………..(2)

Laju massa pada F terdiri dari:

- Lemak = 26,4069 kg
- Protein = 133,3822 kg
- Karbohidrat = 1688,700 kg
- Abu = 32,7979 kg
- Air = 369,1241 kg
- Serat = 369,1241 kg

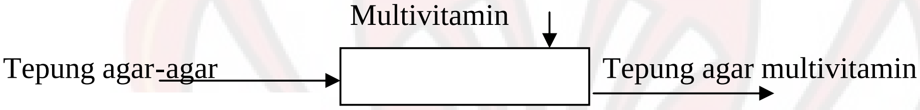
Maka laju massa pada F1:

- Lemak = 26,4069 / 0,96 % = 27,5072 kg
- Protein = 133,3822 / 0,96 % = 138,9398 kg
- Karbohidrat = 1688,700 / 0,96 % = 1759,0627 kg
- Abu = 32,7979 / 0,96 % = 34,1645 kg
- Air = 369,1241 / 0,96 % = 384,504 kg
- Serat = 369,1241 / 0,96 % = 58,9731 kg

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari Tangki penampungan tepung agar-agar (F-261)			Ke *Screw Conveyor*(J-266)		
Tepung agar-agar		**2218.2082**	**Tepung agar**		**2218.2082**
- Lemak	24,3731		- Lemak	24,3731	
- Protein	126,9971		- Protein	126,9971	
- Karbohidrat	1607,861		- Karbohidrat	1607,861	
- Abu	26,5142		- Abu	26,5142	
- Air	357.8898		- Air	357.8898	
- Serat	56,6142		-Serat	56,6142	
- Asam sitrat	17,9592		- Asam sitrat	17,9592	
Total		**2218.2082**	**Total**		**2218.2082**
Laju *Recycle*					

Tepung agar		**92,4253**	
- Lemak	1,0155		
- Protein	5,2915		
- Karbohidrat	66,9942		
- Abu	1,1047		
- Air	14,9120		
- Serat	2,3589		
- Asam sitrat	0,7483		
Total		**92,4253**	

18. Screw Conveyor (J-266)



Vitamin yang ditambahkan pada tepung agar-agar berdasarkan pada kebutuhan vitamin manusia setiap hari dan juga berdasarkan %AKG (Angka Kebutuhan Gizi) yang kita inginkan terkandung dalam tepung agar-agar.

Agar penambahan Vitamin A,D, C dan Kalsium pada tepung agar-agar sesuai dengan kebutuhan yang diinginkan maka kebutuhan multivitamin manusia setiap hari harus dikurangi dengan Vitamin A,D, C dan Kalsium yang terkandung dalam susu bubuk skim. Berikut adalah tabel Vitamin yang terdapat dalam susu bubuk

Tabel A.2 Kandungan gizi pada susu bubuk skim [35]

Jenis Vitamin	Kandungan gizi	% AKG
Vitamin A	216 IU	15
Vitamin D	90 IU	45
Vitamin C	1,2 mg	2
Kalsium	151,36 mg	25

Vitamin A= kebutuhan vitamin A manusia per hari – Vitamin A dalam susu bubuk

Vitamin A= 1440 IU – 216 IU

= 1224 IU $\longrightarrow$ 85 % AKG yang belum terpenuhi

Dalam tepung agar-agar diinginkan kandungan vitamin A sebesar 30% dari AKG yang belum terpenuhi, maka vitamin yang ditambahkan pada tepung agar-agar

= (30% / 85%) x 1244 IU = 432 IU

Dengan cara yang sama dapat ditentukan Vitamin D, C dan kalsium yang ditambahkan pada tepung agar-agar.

Kemudian untuk vitamin dan mineral lainnya yang tidak terdapat dalam susu bubuk skim maka vitamin yang ditambahkan pada tepung agar-agar dihitung berdasarkan %AKG dari kebutuhan vitamin per hari yang ingin ditambahkan pada tepung agar

- Vitamin E= 40% x 15 mg = 6 mg
- Vitamin K= 35% x 19 mcg= 6,65 mcg
- Vitamin B1=25% x 0,56 mg=0,14 mg
- Vitamin B2=40% x 0,6 mg=0,24 mg
- Vitamin B6=30% x 0,6 mg=0,18 mg
- Vitamin B12=40% x 1,0285 mcg=0,4114 mcg
- Kalium= 30% x 940 mg= 282 mg
- Asam folat=25% x 400 mcg = 100 mcg

Tabel A.3 Vitamin dalam tepung agar-agar

Jenis vitamin	**Kebutuhan vitamin manusia setiap hari**	**Vitamin pada susu bubuk skim**	**Vitamin yang ditambahkan di tepung agar-agar**
Vitamin A	1440 IU*)	216 IU	432 IU
Vitamin D	200 IU*)	90 IU	30 IU
Vitamin E	15 mg	-	6 mg
Vitamin K	19 mcg	-	6,65 mcg
Vitamin B1	0,56 mg	-	0,14 mg
Vitamin B2	0,6 mg	-	0,24 mg
Vitamin B6	0,6 mg	-	0,18 mg
Vitamin B12	1,0285 mcg	-	0,4114 mcg
Vitamin C	60 mg	1,2 mg	30 mg
Kalsium	605,454 mg	151,3636 mg	333 mg
Kalium	940 mg	-	282 mg
Asam folat	400 mcg	-	100 mcg

*) 1 IU= 6.10^{-7} gr vitamin A

1 IU= $2,5.10^{-8}$ gr vitamin D

Total multivitamin tiap sachet (10gr) tepung agar-agar (gr) = Vitamin A + Vitamin D + Vitamin E + Vitamin K + Vitamin B1 + Vitamin B2 + Vitamin B6 + Vitamin B12 +Vitamin C + Kalsium + Kalium + Asam folat

= 432 IUx (6.10^{-7} gr vitamin A/IU)+ 30 IU x ($2,5.10^{-8}$ gr vitamin D/IU) + 0,006 gr + $6,65.10^{-6}$ gr + 0,00014 gr + 0,00024 gr + 0,00018 gr + $4,114.10^{-7}$ gr + 0,03 gr + 0,333 gr +0,282 gr +0,00003 gr = 0,65185 gr

Setiap sachet tepung agar-agar mengandung:

Tepung agar-agar = 9,34814 gr

Multivitamin = 0,65185 gr

Massa multivitamin yang ditambahkan dalam 1 hari = massa multivitamin tiap sachet x jumlah sachet setiap hari

= 0,65185 gr x 246,789 buah = 160,8716 gr = 0,1608 kg multivitamin

Kemudian penambahan essence sebesar 0,4 gram essence tiap 10 gr tepung agar-agar (tiap sachet), maka dapat dihitung:

Massa essence = 0,4 gr/10gr = 0,04/1 gr = 88,8104 kg essence

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari Roll mill (C-264) +*screen* (H-265)			Ke *Filling Machine* (X-270)		
Tepung agar-agar		**2218.2082**	**Tepung agar – agar**		**2307,1866**
- Lemak	24,3731		- Lemak	26,4069	
- Protein	126,9971		- Protein	133,3822	
- Karbohidrat	1607,861		- Karbohidrat	1688,7002	
- Abu	26,5142		- Abu	32,7979	
- Air	357.8898		- Air	369,1241	
- Serat	56,6142		-Serat	56,6142	
			- Multivitamin	0,1608	
			- Essence	88,8104	
Tangki penampung multivitamin + essence					
Multivitamin		**0,1608**			
Essence		**88,8104**			
Total		**2307,1866**	**Total**		**2307,1866**

APPENDIX A

PERHITUNGAN NERACA MASSA

A.1. Proses Pembuatan Susu Bubuk Skim

Satuan : kg

Kapasitas produksi : 2.076.468 kg/tahun

1 tahun : 300 hari

1 hari : 6.921,56 kg/hari

Basis : 1 hari

Proses : batch

Jenis susu : susu sapi segar

Untuk mendapatkan susu bubuk skim sebanyak 6.921,56 kg/hari, diperlukan susu segar sebesar 75.633,20 kg/hari.

1. Tangki Standarisasi (M-120)

Komposisi-komposisi susu yang masuk dalam tangki standarisasi, dapat dilihat pada **Tabel A.1**.

Tabel A.1. Komposisi susu sapi [2]

Komposisi	% Berat
Air	87,30
Laktosa	4,60
Lemak	3,90
Protein	3,25
Abu	0,95
Total	**100**

Jumlah masing-masing komponen dalam susu:

- Air = 75.633,20 x 0,873 = 66.027,78 kg
- Laktosa = 75.633,20 x 0,046 = 3.479,13 kg
- Lemak = 75.633,20 x 0,039 = 2.949,69 kg
- Protein = 75.633,20 x 0,0325 = 2.458,08 kg
- Abu = 75.633,20 x 0,0095 = 718,52 kg

____ +

Massa susu sapi segar masuk = 75.633,20 kg

Dalam tangki standarisasi ini, hanya terjadi pengadukan sehingga tidak terjadi pengurangan ataupun penambahan komposisi dari susu sapi segar. Massa susu segar dari *Storage* = massa susu segar ke *Plate Heat Exchanger.*

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari *Storage* Susu Segar (F-110)			Ke *Plate Heat Exchanger* (E-130)		
Susu segar 4^{o}C		**75.633,20**	**Susu segar 4^{o}C**		**75.633,20**
Air	= 66.027,78		Air	= 66.027,78	
Laktosa	= 3.479,13		Laktosa	= 3.479,13	
Lemak	= 2.949,69		Lemak	= 2.949,69	
Protein	= 2.458,08		Protein	= 2.458,08	
Abu	= 718,52		Abu	= 718,52	
Total	=	**75.633,20**	**Total**	=	**75.633,20**

2. Plate Heat Exchanger (E-130)

Susu segar, 4^{o}C → Plate Heat Exchanger (E-130) → Susu segar, 72^{o}C

Air, laktosa, lemak protein, abu (dari tangki standarisasi) → Air, laktosa, lemak protein, abu (ke tangki susu pasteurisasi)

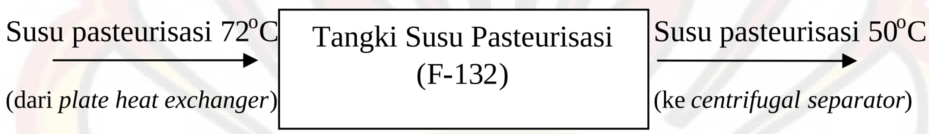
Suhu yang akan digunakan dalam *Plate Heat Exchanger* ini adalah 72^{o}C selama 15 detik.

Asumsi: tidak ada kadar air yang hilang dalam *Plate Heat Exchanger* ini, karena pemanasan susu dalam waktu yang sangat singkat.

Massa susu segar dari Tangki standarisasi = massa susu segar ke Tangki penampungan susu pasteurisasi.

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari Tangki Standarisasi (M-120)			Ke Tangki susu pasteurisasi (F-132)		
Susu segar 4^{o}C			**Susu pasteurisasi 72^{o}C**		
		75.633,20			**75.633,20**
Air	=	66.027,78	Air	=	66.027,78
Laktosa	=	3.479,13	Laktosa	=	3.479,13
Lemak	=	2.949,69	Lemak	=	2.949,69
Protein	=	2.458,08	Protein	=	2.458,08
Abu	=	718,52	Abu	=	718,52
Total	=	**75.633,20**	**Total**	=	**75.633,20**

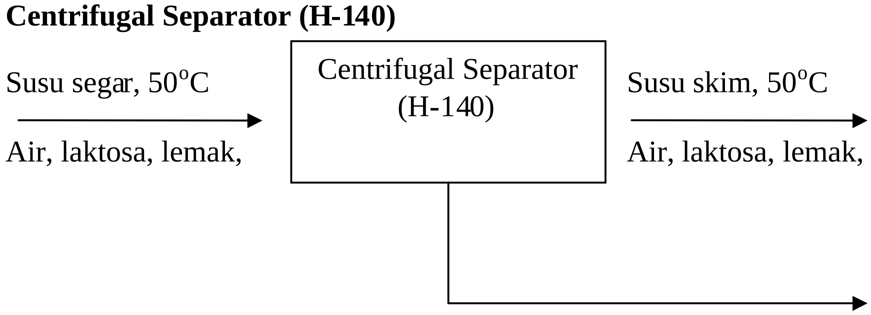
3. Tangki Penampung Susu Pasteurisasi (F-132)



Massa susu pasteurisasi dari *plate heat exchanger* = massa susu pasteurisasi ke *centrifugal separator.*

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari Plate heat exchanger (E-130)			Ke *Centrifugal separator* (H-140)		
Susu pasteurisasi 72^{o}C			**Susu pasteurisasi 50^{o}C**		
		75.633,20			**75.633,20**
Air	=	66.027,78	Air	=	66.027,78
Laktosa	=	3.479,13	Laktosa	=	3.479,13
Lemak	=	2.949,69	Lemak	=	2.949,69
Protein	=	2.458,08	Protein	=	2.458,08
Abu	=	718,52	Abu	=	718,52
Total	=	**75.633,20**	**Total**	=	**75.633,20**

4. Centrifugal Separator (H-140)



protein, abu
(dari Tangki susu pasteurisasi)

protein, abu
(ke tangki penampungan susu skim)

Lemak (ke tangki penampungan *cream*)

Kandungan lemak pada susu skim keluar dari *centrifugal separator* adalah 0,08 % [8]. Massa lemak pada susu (X):

$$\frac{X}{75.633,20-(2.949,69-X)} = 0,08\%$$

$$X = 58,19 \text{ kg}$$

Masuk (kg)	Keluar (kg)
Dari Tangki susu pasteurisasi (F-132)	Ke Tangki Penampungan Susu Skim (F-141)
Susu pasteurisasi 50^{o}C **75.633,20** Air = 66.027,78 Laktosa = 3.479,13 Lemak = 2.949,69 Protein = 2.458,08 Abu = 718,52	**Susu skim 50^{o}C** **72.741,70** Air = 66.027,78 Laktosa = 3.479,13 Lemak = 58,19 Protein = 2.458,08 Abu = 718,52
	Ke Tangki Penampungan *Cream* (F-142)
	Lemak = **2.891,50**
Total = 75.633,20	**Total = 75.633,20**

5. Tangki Penampungan Susu Skim (F-141)

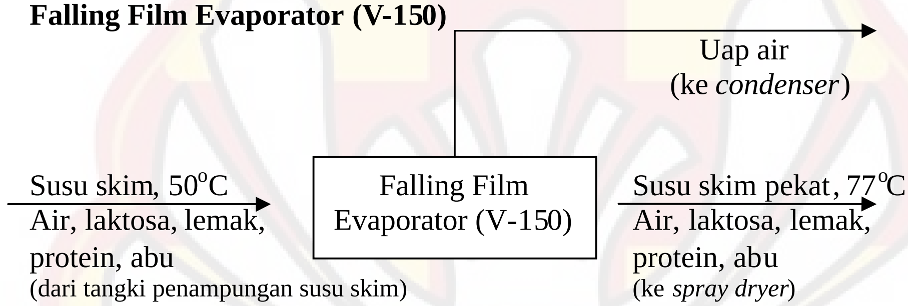
Susu skim, 50^{o}C
Air, laktosa, lemak, Protein, abu
(dari *centrifugal separator*)

→ Tangki Penampungan Susu Skim (E-141) →

Susu skim, 50^{o}C
Air, laktosa, lemak, protein, abu
(ke *falling film evaporator*)

Masuk (kg)			Keluar (kg)		
Dari Tangki Standarisasi (M-120)			Ke *Centrifugal Separator* (H-140)		
Susu skim 50^{o}C		**72.741,70**	**Susu skim 50^{o}C**		**72.741,70**
Air	= 66.027,78		Air	= 66.027,78	
Laktosa	= 3.479,13		Laktosa	= 3.479,13	
Lemak	= 58,19		Lemak	= 58,19	
Protein	= 2.458,08		Protein	= 2.458,08	
Abu	= 718,52		Abu	= 718,52	
Total	**=**	**72.741,70**	**Total**	**=**	**72.741,70**

6. Falling Film Evaporator (V-150)



Dalam *falling film evaporator* ini, susu sapi dapat dihilangkan kadar airnya hingga kurang lebih 45-55% [1]. Kadar air maksimal susu skim pekat yang dapat masuk ke *spray dryer* adalah 55% [9].

Massa air yang teruapkan = 0,45 x massa air susu skim yang masuk

= 0,45 x 66.027,78 kg

= 29.712,50 kg

Massa air sisa dalam susu = 0,55 x massa air dari susu skim yang masuk

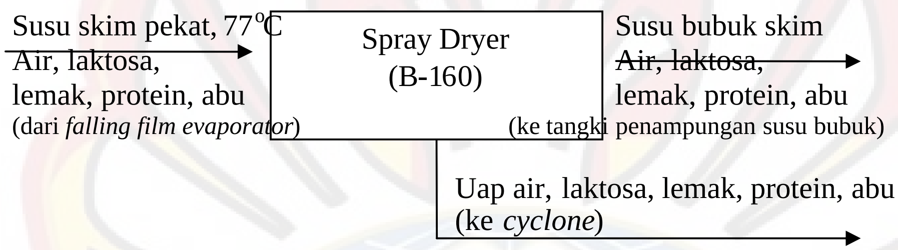
= 0,55 x 66.027,78 kg

= 36.315,28 kg

Masuk (kg)	Keluar (kg)
Dari Tangki Penampungan Susu Skim	Ke *Spray Dryer* (B-160)

(F-141)	
Susu skim 50^oC **72.741,70**	**Susu skim pekat 77^oC** **43.029,20**
Air = 66.027,78	Air = 36.315,28
Laktosa = 3.479,13	Laktosa = 3.479,13
Lemak = 58,19	Lemak = 58,19
Protein = 2.458,08	Protein = 2.458,08
Abu = 718,52	Abu = 718,52
	Ke *Condenser* (G-151)
	Uap air = 29.712,50
Total = 72.741,70	**Total = 72.741,70**

7. **Spray Dryer (B-160)**



Asumsi: massa laktosa, lemak, protein, abu ke *cyclone* adalah 0,5%.

Total massa komponen masuk cyclone adalah 0,005 x massa komponen laktosa, lemak, protein, abu ke spray dryer = 0,005 x (3.479,13 + 58,19 + 2.458,08 + 718,52) = 33,57 kg

Dengan menghitung perbandingan komposisi susu, maka didapatkan komponen susu yang masuk ke *cyclone*:

Massa laktosa (51,94%) = 0,5194 x 33,57 = 17,40 kg

Massa lemak (0,86%) = 0,0086 x 33,57 = 0,29 kg

Massa protein (36,6%) = 0,366 x 33,57 = 12,29 kg

Massa abu (10,6%) = 0,107 x 33,57 = 3,59 kg

Massa laktosa yang masuk dalam tangki penampungan = massa laktosa yang masuk ke *spray dryer* – massa laktosa ke *cyclone*

3.479,13 kg – 17,40 kg = 3.461,73 kg

Dengan cara yang sama seperti diatas, dapat ditentukan massa lemak, protein, dan abu ke tangki penampungan.

Kandungan air dalam susu bubuk yang keluar dari *spray dryer* adalah 3% [11]. Massa air yang keluar dari *spray dryer* menuju tangki penampungan, dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan dibawah ini:

$$\%\ \text{air ke tangki penampungan} = \frac{m.air}{m.air + m.laktosa + m.lemak + m.protein + m.abu}$$

$$3\ \% = \frac{m.air}{m.air + 6.680,35} \times 100\%$$

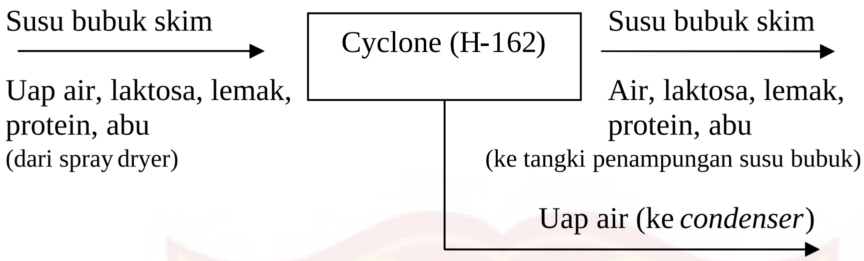
Massa air = 206,61 kg

Massa air yang keluar ke *cyclone* = 36.315,28 kg – 206,61 kg

= 36.108,67 kg

Masuk (kg)	Keluar (kg)
Dari *Falling Film Evaporator* (V-150)	Ke Tangki Penampungan Susu Bubuk Skim (F-161)
Susu skim pekat 77°C **43.029,20** Air = 36.315,28 Laktosa = 3.479,13 Lemak = 58,19 Protein = 2.458,08 Abu = 718,52	**Susu bubuk skim** **6.886,95** Air = 206,61 Laktosa = 3.461,73 Lemak = 57,90 Protein = 2.445,79 Abu = 714,92
	Ke *Cyclone* (H-162)
	Susu bubuk skim **33,57** Laktosa = 17,40 Lemak = 0,29 Protein = 12,29 Abu = 3,59
	Ke *Condenser*
	Uap air **36.108,67**
Total = 43.029,20	**Total = 43.029,20**

8. Cyclone (H-162)



Kandungan air dalam susu bubuk haruslah dibawah 3%, karena dapat mencegah tumbuhnya jamur.

$$\text{\% air ke tangki penampungan} = \frac{m.air}{m.air + m.laktosa + m.lemak + m.protein + m.abu}$$

$$3\ \% = \frac{m.air}{m.air + 33{,}57} \times 100\%$$

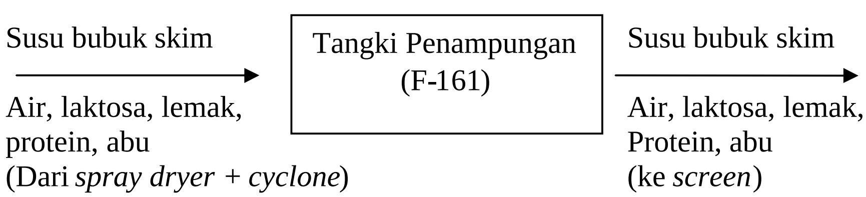
Massa air = 1,04 kg

Massa air sisa yang ke *condenser* = massa air dari *spray dryer* – massa air ke tangki penampungan.

36.108,67 kg – 1,04 kg = 36.107,63 kg

Masuk (kg)	Keluar (kg)
Dari *Spray Dryer* (B-160)	Ke Tangki Penampungan (F-161)
Susu bubuk skim **36.142,24**	**Susu bubuk skim** **34,61**
Laktosa = 17,40	Air = 1,04
Lemak = 0,29	Laktosa = 17,40
Protein = 12,29	Lemak = 0,29
Abu = 3,59	Protein = 12,29
Uap air = 36.108,67	Abu = 3,59
	Ke *Condenser* (G-163)
	Uap air = 36.107,63
Total = 36.142,24	**Total = 36.142,24**

9. Tangki Penampungan (F-161)



Massa air keluar = massa air dari *spray dryer* + massa air dari *cyclone*

= 206,61 kg + 1,04 kg

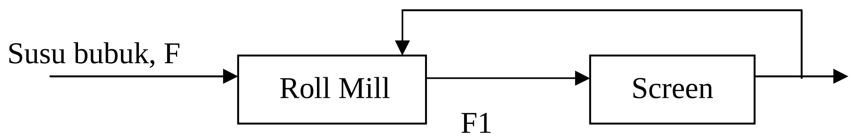
= 207,65 kg

Dengan cara yang sama seperti diatas, didapatkan massa laktosa, lemak, protein, abu yang keluar dari tangki penampungan.

Masuk (kg)	Keluar (kg)
Dari *Spray Dryer* (B-160)	Ke Roll Mill (C-165) + *Screen* (H-164)
Susu bubuk skim **6.886,95** Air = 206,61 Laktosa = 3.461,73 Lemak = 57,90 Protein = 2.445,79 Abu = 714,92	**Susu bubuk skim** **6.921,56** Air = 207,65 Laktosa = 3.479,13 Lemak = 58,19 Protein = 2.458,08 Abu = 718,52
Dari *Cyclone* (H-162)	
Susu bubuk skim **34,61** Air = 1,04 Laktosa = 17,40 Lemak = 0,29 Protein = 12,29 Abu = 3,59	
Total = **6.921,56**	**Total** = **6.921,56**

10. Roll Mill (C-164) + Screen (H-165)

Recycle, R



Neraca massa pada *Roll Mill+Screen* :

F1=F+R

R = (100-96)% x F1

R = 0,04.F1 …………………………………………(1)

F1=F+R

F1=F+0,04.F1 maka 0.96 F1 = F……………………..(2)

Laju massa pada F terdiri dari:

- Air = 207,65 kg
- Laktosa = 3.479,13 kg
- Lemak = 58,19 kg
- Protein = 2.458,08 kg
- Abu = 718,52 kg

Maka laju massa pada F1:

- Air = 207,65 / 0,96 = 216,30 kg
- Laktosa = 3.479,13 / 0,96 = 3.624,09 kg
- Lemak = 58,19 / 0,96 = 60,61 kg
- Protein = 2.458,08 / 0,96 = 2.560,50 kg
- Abu = 718,52 / 0,96 = 748,46 kg

Masuk (kg)	Keluar (kg)
Dari Roll Mill (C-165) + *Screen* (H-164)	Ke Tangki Penampungan Susu Bubuk Skim (F-167)
Susu bubuk skim **6.921,56** Air = 207,65 Laktosa = 3.479,13 Lemak = 58,19 Protein = 2.458,08 Abu = 718,52	**Susu bubuk skim** **6.921,56** Air = 207,65 Laktosa = 3.479,13 Lemak = 58,19 Protein = 2.458,08 Abu = 718,52
Total = **6.921,56**	**Total** = **6.921,56**
Laju *Recycle*	
Susu bubuk skim	

		288,39	
Air	=	8,65	
Laktosa	=	144,96	
Lemak	=	2,42	
Protein	=	102,42	
Abu	=	29,94	
Total	**=**	**288,39**	

B.1. Rumput Laut

Suhu referensi = 25 °C

Satuan energi = kilo Joule (kJ)

Satuan massa = kg

Tipe operasi = batch

Basis waktu = 1 hari

Daftar harga Cp (kJ/kg^{o}C) padatan untuk tiap komponen :

- Lemak = 1,979 kkal/kg^{o}C
- Protein= 2,627 kkal/kg^{o}C
- Karbohidrat= 1,518 kkal/kg^{o}C
- Abu=0,1871 kkal/kg^{o}C
- Air=4,1785 kkal/kg^{o}C
- Serat= 1,338 kkal/kg^{o}C

(BPOM, 2005)

Cp air = $18,2964 + 47,212.10^{-2}$ T – $133,88.10^{-5}$ T^2 + $1314,2.10^{-9}$ T^3 (kJ/kmol.^{o}K)

(Himmelblau, 1996)

Cp kaporit $Ca(OCl)_2$ dengan fase padatan dicari dengan menggunakan persamaan *Kopp`s Rule*:

- Cp Ca pada T=25^{o}C adalah 26,3736 kJ/molK

- Cp O_2 pada T=25^{o}C adalah 26,0207 kJ/molK

- Cp Cl_2 pada T=25^oC adalah 35,3498 kJ/molK

Maka Cp $Ca(OCl)_2$ = Cp Ca + Cp O_2 + Cp Cl_2

= 26,3736 + 26,0207 + 35,3498 = 87,7442 kJ/molK

Panas kelarutan $Ca(OCl)_2$ = -535,552 kJ/mol

Cp $C_6H_8O_7$ (asam sitrat) dengan fase padatan dicari dengan menggunakan persamaan *Kopp`s Rule*:

- Cp C pada T=25^oC adalah 1,8 kkal/kmol

- Cp H pada T=25^oC adalah 2,3 kkal/kmol

- Cp O pada T=25^oC adalah 4 kkal/kmol

Cp $C_6H_8O_7$ = 6 x Cp C + 8 x Cp H + 7 x Cp O

= 6 x 1,8 + 8 x 2,3 + 7 x 4 = 57,2 kkal/kmol = 1,2472 kJ/kgC

Panas kelarutan asam sitrat = -363,2804 kkal/mol x 4,184 kj/kkal

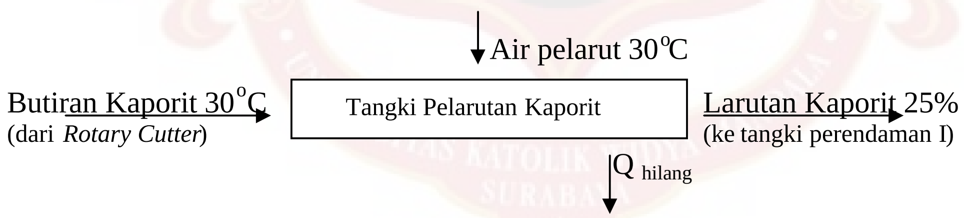
= 1519,9651 Kj/mol

(Perry 7th ed, 1997)

Cp uap air = $33,46 - 0,6880.10^{-2}\ T + 0,7604.10^{-5}\ T^2 - 3,593.10^{-9}\ T^3$ (J/mol.^oC)

(Himmelblau, 1996)

2. Tangki Pelarutan Kaporit



MASUK

- Kaporit 30^oC

Massa kaporit masuk = 1425,3325 kg

BM kaporit = 142,98 gr/mol

ΔH_1 = mol kaporit.$Cp_{kaporit}$. ΔT

= (27081,31 gr/ 142,98 gr/mol). 87,7442 kJ/mol^{o}K. (303-298)^{o}C

= 4,373506 kJ

- Air pelarut 30^{o}C

ΔH_2 = m.Cp_{air}. ΔT

= 4275,9975 kg. 4,1785 J/mol^o K. (303-298)^{o}K

= 89337,5776 kJ

- Panas pelarutan kaporit = -535,552 kJ/mol x (27081,31 gr/ 142,98 gr/mol)

= 5338,78634 kJ

$Q_{masuk\ total}$ = ΔH_1 + ΔH_2 + Panas pelarutan kaporit

= 94680,73752 kJ

KELUAR

neraca panas dari tangki pelarutan kaporit adalah sebagai berikut:

Q kaporit + Q air + panas pelarutan kaporit = Q output + Q hilang

T input ≠ T output sehingga untuk mencari suhu keluar harus di trial

Asumsi: Q hilang = 5% x Q panas pelarutan kaporit = 0,05 x 5338,78634

= 266.9393 kJ

Q output = Total entalpi masuk – Q hilang

= 94680,73752 kJ - 266.9393 kJ = 94413,7982 kJ

Q output = Q kaporit keluar + Q air pelarut keluar

94413,7982 kJ = 874,70126 x (T_{output} -25) + 17867,51553 x (T_{output} -25)

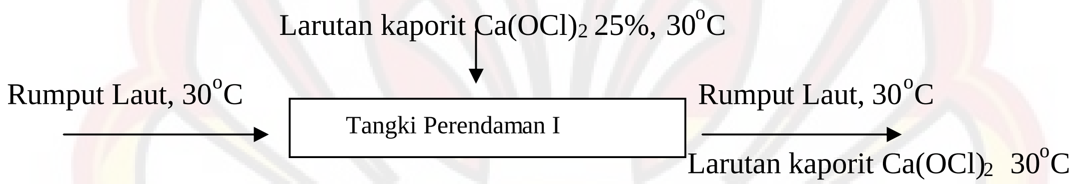
T_{output} = 30.037^{o}C = 30^{o}C

Q kaporit keluar = 874,70126 x (30 - 25) ^{o}C = 4197,8221 kJ

Q air pelarut keluar = 17867,51553 x (30 -25) ^{o}C= 85748,8785 kJ

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari warehouse kaporit		Ke Tangki Perendaman (M-210)	
Kaporit	**4,3735**	**Larutan kaporit 25%**	**89946,70064**
Air pelarut	**89337,5776**	**-** Kaporit	4197,8221
Q pelarutan kaporit	**5338,7863**	- Air	85748,87851
		Q hilang	**4734,0368**
Total	**94680,73752**	**Total**	**94680,73752**

2. Tangki Perendaman (M-210)



<u>MASUK</u>

- Entalpi rumput laut masuk ke Tangki Perendaman (M-210)

Q rumput laut 30^{o}C

- Lemak

$\Delta H_1 = m.Cp_{lemak}.\ \Delta T$

$= 27{,}08131$ kg. $1{,}979$ kJ/kg.^{o}C. $(30\text{-}25)^o$C$= 267{,}9739$ kJ

- Protein

$\Delta H_2 = m.Cp_{protein}.\ \Delta T$

$= 141{,}1079$ kg. $2{,}62755$ kJ/kg.^{o}C. $(30\text{-}25)^o$C

$= 1853{,}8419$ kJ

- Karbohidrat

$\Delta H_3 = m.Cp_{karbohidrat}.\ \Delta T$

$= 1786{,}5117$ kg. $1{,}5187$ kJ/kg.^{o}C. $(30\text{-}25)^o$C

$= 13566{,}6988$ kJ

- Abu

$\Delta H_4 = m.Cp_{abu}. \Delta T$

$= 132{,}5559$ kg. 0,18715 kJ/kg.^oC. (30-25)^oC

= 124,0394 kJ

- Air

$\Delta H_5 = m.Cp_{air}. \Delta T$

$= 480{,}3370$ kg. 4,1785 kJ/kg.^oC. (30-25)^oC= 10035,5878 kJ

- Serat

$\Delta H_6 = m.Cp_{serat}. \Delta T$

$= 283{,}0710$ kg. 1,3888 kJ/kg.^oC. (30-25)^oC= 1894,9907 kJ

$Q_{\text{masuk rumput laut } 30\,^oC} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6$

= 27743,13278 kJ

- Entalpi larutan kaporit 25% keluar dari Tangki pelarutan kaporit = Entalpi larutan kaporit masuk ke Tangki Perendaman

Entalpi Larutan kaporit 25% masuk tangki perendaman I

- Kaporit	4197,8221
- Air	85748,87851+
	89946,70064 kJ

Maka total entalpi masuk = Entalpi rumput laut masuk tangki perendaman I + Entalpi larutan kaporit masuk tangki perendaman I

= 27743,13278 kJ + 89946,70064 kJ = 117.689,8334 kJ

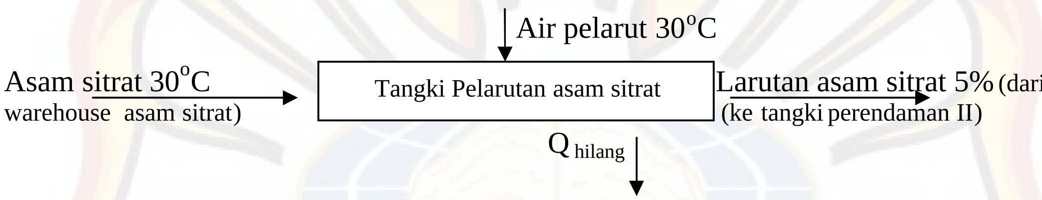
KELUAR

Entalpi masuk = Entalpi keluar dari Tangki Perendaman I

= 117.689,8334 kJ

Masuk (kJ)	Keluar (kJ)
Dari *Rotary Cutter* (C-201)	Ke *Screen+Washer* I (H-211)
Rumput laut 30^oC 27743,13278	**Rumput laut 30^oC 27743,13278**
- Lemak 267,9739	- Lemak 267,9739
- Protein 1853,8419	- Protein 1853,8419
- Karbohidrat 13566,6988	- Karbohidrat 13566,6988
- Abu 124,0394	- Abu 124,0394
- Air 10035,5878	- Air 10035,5878
- Serat 1894,9907	- Serat 1894,9907
Dari Tangki Pelarutan Kaporit	Ke *Screen+Washer* I (H-211)
Larutan kaporit 25% 89946,70064	**Larutan kaporit 25% 89946,70064**
- Kaporit 4197,8221	- Kaporit 4197,8221
- Air 85748,87851	- Air 85748,87851
Total 117.689,8334	**Total 117.689,8334**

3. Tangki pelarutan asam sitrat



MASUK

- Asam sitrat 30^oC

Massa asam sitrat masuk = 299,3198 kg

BM asam sitrat= 210 gr/mol

ΔH_1 = massa asam sitrat.$Cp_{asam\ sitrat}$. ΔT

= 299,3198 kg . 1,2472 kj/kg^{o}K. (303-298)^{o}K

= 1866,5584 kJ

- Air pelarut 30^oC

ΔH_2 = m.Cp_{air}. ΔT

= 5687,0766 kg. 4,1785 kJ/mol^o C. (30-25)^{o}C= 118.818,9783 kJ

- Panas pelarutan asam sitrat = -1519,9651 Kj/mol x (299,3198 gr / 210 gr/mol)

= -13510,0183 kJ

$Q_{masuk\ total}$ = $\Delta H_1 + \Delta H_2$ + Panas pelarutan asam sitrat

= 134.195,555 kJ

<u>KELUAR</u>

neraca panas dari tangki pelarutan asam sitrat adalah sebagai berikut:

Q asam sitrat + Q air + panas pelarutan asam sitrat = Q output + Q hilang

T input ≠ T output sehingga untuk mencari suhu keluar harus di trial

Asumsi: Q hilang = 5% x Q panas pelarutan asam sitrat = 0,05 x 13510,0183 kJ= 675,5009 kJ

Q output = Total entalpi masuk – Q hilang

= 134.195,555 kJ - 675,5009 kJ = 127.485,7773 kJ

Q output = Q asam sitrat keluar + Q air pelarut keluar

127.485,7773 kJ = 373,3116 x (Toutput -25) + 23763,79566 x (Toutput -25)

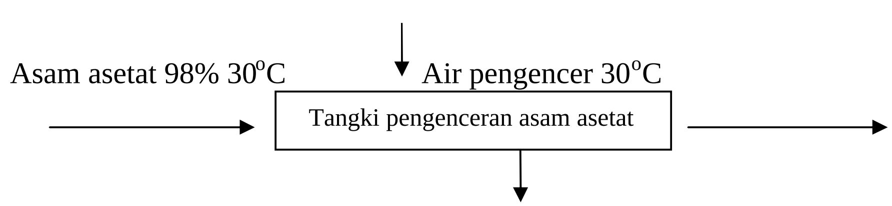
Toutput = 30,53^{o}C = 30^{o}C

Q asam sitrat keluar = 373,3116 x (30,53 - 25) ^{o}C = 1971,73297 kJ

Q air pelarut keluar = 23763,79566 x (30,53 -25) ^{o}C= 125514,0443 kJ

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari tangki penampungan asam sitrat (F-110)		Ke Tangki Perendaman II (E-130)	
Asam sitrat	**1866,5584**	**Larutan asam sitrat 5%**	**127.485,8**
Air pelarut	**118.818,9783**	**-** asam sitrat	1971,73297
Q pelarutan kaporit	**13.510,0183**	- Air	125514,0443
		Q hilang	**675,5009**
Total	**134.195,555**	**Total**	**134.195,555**

4. Tangki pengenceran asam asetat



Larutan asam asetat 0,5%

Q hilang

MASUK

1. CH_3COOH 98% = 29,931 kg

Dari Perry p 3-145 tabel 3-191 diperoleh

Cp CH_3COOH pada 98 % =0,5607 kkal/kg^oC = 2,3459 kJ/ kg^oC

ΔH_1= m . Cp CH_3COOH . ΔT

= 29,931 kg . 2,3459 kJ/ kg^oC . (30-25) ^oC= 343,791 kJ

2. H2O dalam larutan CH_3COOH 98% = 0.6108 kg

ΔH_2 = m.Cp_{air}. ΔT

= 0.6108 kg. 4,1785 kJ/kg.^oC. (30-25)^oC= 12,7611 kJ

3. Air pengencer masuk = 5955,854 kg

ΔH_3 = m.Cp_{air}. ΔT

= 5955,854 kg. 4,1785 kJ/kg.^oC. (30-25)^oC= 124432,68 kJ

4. Entalpi pengenceran CH_3COOH

Larutan CH_3COOH 98%

BM CH_3COOH = 60 gr/mol

Mol CH_3COOH = 29,931 kg / 60 gr/mol = 0,49885 mol

Mol Air = 0.6108 kg / 18 gr/mol = 0,0339 mol

Dari Hougen p.320 fig 75 diperoleh entalpi pengenceran pada suhu 25^oC sebesar – 343 kkal/mol

ΔH_4 = m.entalpi pengenceran

= 0,49885 mol x -343 kkal/mol = 171,1055 kkal = -715,9056 kJ

$Q_{masuk\ total}$ = ΔH_1 + ΔH_2 + ΔH_3 + ΔH_4 + Panas pengenceran CH_3COOH

= 125.195,7256 kJ

Asumsi : Q hilang = 5% x 715,9056 kJ = 35,79528 kJ

KELUAR

1. CH_3COOH 0,5% = 29,931 kg

Dari Perry p 3-145 tabel 3-191 diperoleh

Cp CH_3COOH pada 98 % =0,5607 kkal/kg^oC = 2,3459 kJ/ kg^oC

ΔH_1= m . Cp CH_3COOH . ΔT

= 29,931 kg . 2,3459 kJ/ kg^oC . (T-25) ^oC

2. H2O dalam larutan CH_3COOH 0,5% = 5956.4648 kg

ΔH_2 = m.Cp_{air}. ΔT

= 5956.4648 kg. 4,1785 kJ/kg.^oC. (T-25)^oC

neraca panas dari tangki pelarutan asam sitrat adalah sebagai berikut:

Q masuk + panas pengenceran CH_3COOH = Q output + Q hilang

Q output = Total entalpi masuk – Q hilang

= 125.195,7 kJ - 35,79528 kJ = 125159.9 kJ

Q output = Q CH_3COOH 0,5% + Q air

125159.9 kJ = 70,2151 x (Toutput -25) + 24889,0882 x (Toutput -25)

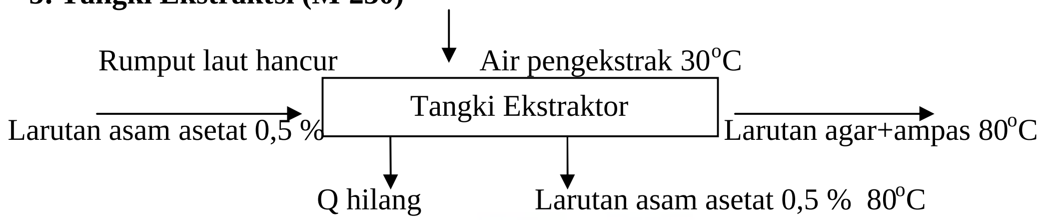
T output = 30.01^oC

Q CH_3COOH 0,5% keluar = 334,5887 kJ

Q air keluar = 118601,3 kJ

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari Tangki penampungan CH_3COOH		Ke Tangki Ekstraksi (M-230)	
Larutan CH_3COOH 98 %	**47.1402**	**Larutan CH_3COOH 0,5%**	**125.159,9**
- CH_3COOH 343,791		- CH_3COOH 334,5887	
- Air 12,7611		- Air 118.601,3	
Dari Tangki penampungan air		**Q hilang**	**35,79528**
Air pengencer	**124.432,68**		
Entalpi pengenceran	**715,9056**		
Total	**125.195,7256**	**Total**	**125.195,7256**

5. Tangki Ekstraktsi (M-230)



MASUK

- Entalpi rumput laut masuk tangki ekstraktor = 33.847,7794 kJ

Q rumput laut 30°C

- Lemak

$\Delta H_1 = m.Cp_{lemak}.\ \Delta T$

$= 27{,}08131$ kg. $1{,}979$ kJ/kg.°C. (30-25)°C= 267,9739 kJ

- Protein

$\Delta H_2 = m.Cp_{protein}.\ \Delta T$

$= 141{,}1079$ kg. $2{,}62755$ kJ/kg.°C. (30-25)°C

= 1853,8419 kJ

- Karbohidrat

$\Delta H_3 = m.Cp_{karbohidrat}.\ \Delta T$

$= 1786{,}5117$ kg. $1{,}5187$ kJ/kg.°C. (30-25)°C= 13566,6988 kJ

- Abu

$\Delta H_4 = m.Cp_{abu}.\ \Delta T$

$= 132{,}5559$ kg. $0{,}18715$ kJ/kg.°C. (30-25)°C

= 124,0394 kJ

- Air

$\Delta H_5 = m.Cp_{air}.\ \Delta T$

$= 722{,}5302$ kg. $4{,}1785$ kJ/kg.°C. (30-25)°C= 15095,46 kJ

- Serat

$\Delta H_6 = m.Cp_{serat}. \Delta T$

$= 283,0710$ kg. 1,3888 kJ/kg.^oC. (30-25)^oC= 1894,9907 kJ

- Asam sitrat

$\Delta H_7 = m.Cp_{asam\ sitrat}. \Delta T$

= 89.7959 kg. 1,2472 kJ/kg.C. (30-25)^oC= 559.9672 kJ

$Q_{masuk\ rumput\ laut\ 30\ ^oC} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6 + \Delta H_7$

= 38962,644 kJ

- Entalpi larutan CH_3COOH 0,5% keluar dari tangki pengenceran CH_3COOH= Entalpi larutan CH_3COOH 0,5% masuk tangki ekstraktor = 125.159,9 kJ

- Entalpi air pengekstrak 30^oC

$\Delta H_3 = m.Cp_{air}. \Delta T$ = 29931.9825 kg x 4,1785 kJ/kg.^oC. (30-25)^oC= 625.353,94 kJ

- Entalpi steam yang di suplai= Qs

maka total entalpi masuk

= 33.362,972 kJ + 125.159,9 kJ + 625.353,94 kJ + Qs

= 783.876,8119 + Qs

KELUAR

Larutan Agar T= 80^oC

- Lemak

$\Delta H_1 = m.Cp_{lemak}. \Delta T$

= 27,08131 kg. 1,979 kJ/kg.^oC. (80-25)^oC= 2947,66519 kJ

- Protein

$\Delta H_2 = m.Cp_{protein}. \Delta T$

$= 141,1079$ kg. $2,62755$ kJ/kg.^oC. $(80-25)^oC$

$= 20.392,2434$ kJ

- Karbohidrat

$\Delta H_3 = m.Cp_{karbohidrat}. \Delta T$

$= 1786,5117$ kg. $1,5187$ kJ/kg.^oC. $(80-25)^oC$

$= 149.224,643$ kJ

- Abu

$\Delta H_4 = m.Cp_{abu}. \Delta T$

$= 132,5559$ kg. $0,18715$ kJ/kg.^oC. $(80-25)^oC$

$= 1364,43102$ kJ

- Air

$\Delta H_5 = m.Cp_{air}. \Delta T$

$= 25557,9221$ kg. $4,1785$ kJ/kg.^oC. $(80-25)^oC = 5.873.657,76$ kJ

- Serat

$\Delta H_6 = m.Cp_{serat}. \Delta T$

$= 283,0710$ kg. $1,3888$ kJ/kg.^oC. $(80-25)^oC = 21622.0953$ kJ

- Asam asetat CH_3COOH

$\Delta H_7 = m.Cp_{asam\ asetat}. \Delta T$

$= 29,9319$ kg. $2,3459$ kJ/ kg. $(80-25)^oC$

$= 3861,94843$ kJ

- Asam sitrat

$\Delta H_8 = m.Cp_{asam\ sitrat}. \Delta T$

$= 89.7959$ kg. $1,2472$ kJ/kg.C. $(80-25)^oC = 6159.6395$ kJ

Uap air pada suhu 80^{o}C

$$cp\,uap\,air = \int_{293}^{353} Cp\,dT_{\ air}$$

$$= \int_{293}^{353} (34,46 + 0,6880^{-2}T + 0,7604.10^{-5}T^2 - 3,593.10^{-9}.T^3).dT$$

$$= 34,46 + \left[\frac{0,6880.10^{-2}}{2}(80\ \ + 25\ )\right] + \left[\frac{0,7604.10^{-5}}{3}.(80^2 + 80.25 + 25^2)\right]$$
$$-\left[\frac{3,593.10^{-9}}{4}(80^2\ + 25^2)\ (80 + 25)\right]$$

= 34,8434 kJ/mol ^{o}C

ΔH_9 = m.$Cp_{uap\ air}$. ΔT

= (10.953,3952 kg/18 gr/mol). 34,8434 kJ/mol ^{o}C. (80-25)^{o}C

= 1.166.163,5650 kJ

Total entalpi keluar = $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6 + \Delta H_7 + \Delta H_8 + \Delta H_9$

= 7.245.393,991 kJ

Q hilang = 5% x total entalpi masuk

= 0,05 x (783.876,8119 + Qs) = 39193,8406 + 0,05 Qs

neraca panas dari tangki ekstraktor adalah sebagai berikut:

Q masuk + Qs = Q keluar + Q hilang

783.876,8119 + Qs = 7.245.393,991 kJ + 39193,8406 + 0,05 Qs

Qs = 6.842.853,7048 kJ

Masuk (kJ)	Keluar (kJ)
Dari *rotary cutter* II (C-222)	Ke Filter Press (H-240)
Rumput laut 30^{o}C 33362,972	**Larutan Agar 80^{o}C 7.245.393,991**
- Lemak = 267,9739	- Lemak = 2947,6651
- Protein = 1853,8419	- Protein = 20.392,2434
- Karbohidrat= 13566,6988	- Karbohidrat= 149.224,6425
- Abu = 124,0394	- Abu = 1364,4310
- Air = 15095,46	- Air = 5.873.657,762
- Serat = 1894,9907	- Serat = 21.622,0952
-Asam sitrat = 559,9672	- asam asetat = 3861,9484
Larutan CH_3COOH 0,5% 118.935,9	-asam sitrat = 6159,6395

Air pengekstrak 30^{o}C	**625.353,94**	**Uap air**	**1.166.163,565**
Q steam	**6.842.853,7048**	**Q hilang**	**381.336,5258**
Total	**7.626.730,5167**	**Total**	**7.626.730,5167**

6. *Filter Press* (H-240)

<u>MASUK</u>

- Entalpi larutan agar keluar tangki ekstraktor = Entalpi Larutan agar masuk filter press = 7.245.393,991 kJ

Total Entalpi masuk = 7.245.393,991 kJ

<u>KELUAR</u>

Asumsi Q loss = 10% x 7.245.393,991 = 724.539,4 kJ

Larutan agar (filtrat)

- Lemak

$\Delta H_1 = m.Cp_{lemak}.\ \Delta T$

$= 24{,}3731\ kg.\ 1{,}979\ kJ/kg.^oC.\ (T\text{-}25)^oC$

- Protein

$\Delta H_2 = m.Cp_{protein}.\ \Delta T$

$= 126{,}9971\ kg.\ 2{,}62755\ kJ/kg.^oC.\ (T\text{-}25)^oC$

- Karbohidrat

$\Delta H_3 = m.Cp_{karbohidrat}.\ \Delta T$

$= 1607{,}861$ kg. 1,5187 kJ/kg.^oC. (T-25)^oC

- Abu

$\Delta H_4 = m.Cp_{abu}.\ \Delta T$

$= 26{,}5142$ kg. 0,18715 kJ/kg.^oC. (T-25)^oC

- Air

$\Delta H_5 = m.Cp_{air}.\ \Delta T$

$= 25495{,}64$ kg. 4,1785 kJ/kg.^oC. (T-25)^oC

- Serat

$\Delta H_6 = m.Cp_{serat}.\ \Delta T$

$= 56{,}6142$ kg. 1,3888 kJ/kg.^oC. (T-25)^oC

- Asam asetat CH_3COOH

$\Delta H_7 = m.Cp_{asam\ asetat}.\ \Delta T$

$= 26{,}9387$ kg. 2,3459 kJ/ kg. (T-25)^oC

- Asam sitrat

$\Delta H_8 = m.Cp_{asam\ sitrat}.\ \Delta T$

$= 17{,}95918$ kg. 1,2472 kJ/kg.C. (T-25)^oC

neraca panas dari *filter press* adalah sebagai berikut:

Q masuk = Q keluar + Q hilang

maka,Q keluar = (7.245.393,991 - 724.539,4) kJ = 6.520.854,5918 kJ

6.520.854,5918 kJ = 27,0813 kg. 1,979 kJ/kg.^oC. (T-25)^oC + 141,1079 kg. 2,62755 kJ/kg.^oC. (T-25)^oC + 1786,512 kg. 1,5187 kJ/kg.^oC. (T-25)^oC + 132,5559 kg. 0,18715 kJ/kg.^oC. (T-25)^oC + 25.557,92 kg. 4,1785 kJ/kg.^oC. (T-25)^oC + 283,071 kg. 1,3888 kJ/kg.°C. (T-25)°C + 29,9319 kg. 2,3459 kJ/ kg. (T-25)°C + 89,7959 kg. 1,2472 kJ/kg. °C. (T-25)°C

Maka didapatkan T output sebesar 74,5 °C

Cake

- Entalpi serat = 0,8 x 283,0710 kg. 1,3888 kJ/kg.°C. (74,5 -25)°C = 18554,1165 kJ

- Entalpi abu = 0,8 x 132,5559 kg. 0,18715 kJ/kg.°C. (74,5 -25)°C = 1170,8306 kJ

-Entalpi lemak = 0,1 x 27,08131 kg. 1,979 kJ/kg.°C. (74,5 -25)°C = 316,1771 kJ

-Entalpi protein= 0,1 x 141,1079 kg. 2,62755 kJ/kg.°C. (74,5 -25)= 2187,346 kJ

-Entalpi karbohidrat= 0,1 x1786,5117 kg.1,5187 kJ/kg.°C.(74,5 -25)°C

= 16006,3786 kJ

-Entalpi air = 0,1 x 25557,9221 kg. 4,1785 kJ/kg.°C. (74,5 -25)°C

= 630.029,8903 kJ

- Entalpi asam asetat = 0,1 x 29,9319 kg. 2,3459 kJ/ kg. (74,5 -25)°C

= 414,2466 kJ

-Entalpi asam sitrat = 0,8 x 17,95918 kg. 1,2472 kJ/kg. °C. (74,5 -25)°C

= 5285,6427 kJ

Filtrat (Larutan Agar)

- Lemak = 3161.7717 kJ - 316,1771 kJ= 2845,5945 kJ

-Protein= 21.873,461 kJ - 2187,346 kJ= 19.686,1156 kJ

-Karbohidrat = 160.063,7869 kJ - 16006,3786 kJ= 144.057,4082 kJ

- Abu = 1463,5383 kJ - 1170,8306 kJ = 292,7076 kJ

-Air = 6.300.298,903 kJ - 630.029,8903 kJ= 5.670.269,013 kJ

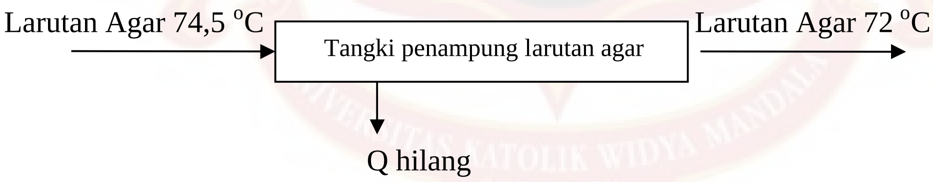
-Serat= 23192,645 kJ - 18554,1165 kJ = 4638,5291 kJ

-Asam asetat= 4142,46 kJ - 414,2466 kJ= 3728,2196 kJ

- Asam sitrat = 6607,053 kJ - 5285,6427 = 1321,4106 kJ

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari Tangki Ekstraksi (M-230)		Ke Filtrat Bin (F-241)	
Larutan Agar 80^{o}C	**7.245.393,991**	**Larutan Agar 74,5 C**	**5.846.838,999**
- Lemak	2947,6651	- Lemak	2845,5945
- Protein	20.392,2434	- Protein	19.686,1156
- Karbohidrat	149.224,6425	- Karbohidrat	144.057,4082
- Abu	1364,4310	- Abu	292,7076
- Air	5.873.657,762	- Air	5.670.269,013
- Serat	21.622,0952	- Serat	4638,5291
- asam asetat	3861,9484	- asam asetat	3728,2196
- Asam sitrat	6159,6395	- asam sitrat	1321,4106
		Ke Tangki penampungan cake	
		Cake 74,5 ^{o}C	**673.964,6289**
		- Lemak	316,177
		- Protein	2187,3461
		- Karbohidrat	16006,3786
		- Abu	1170,8306
		- Air	630029,8903
		- Serat	18554,1165
		- asam asetat	414,2466
		- asam sitrat	5285,6427
		Q hilang	**724.539,3991**
Total	**7.245.393,991**	**Total**	**7.245.393,991**

7. Filtrat Bin (F-241)



<u>MASUK</u>

Entalpi larutan agar keluar dari *Filter Press* = Entalpi larutan agar masuk tangki penampungan = 5.846.838,999 kJ

<u>KELUAR</u>

Asumsi: Q hilang = 5% x 5.846.838,999 kJ = 292.341,9499 kJ

Neraca panas pada tangki penampungan agar-agar

Q masuk = Qkeluar +Qloss

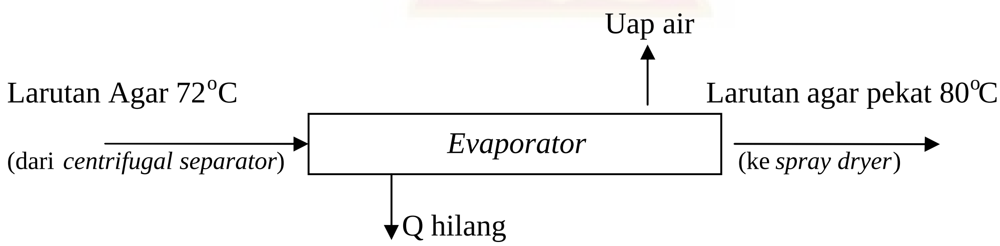
Q keluar = 5.846.838,999 - 292.341,9499 = 5.554.497,049 kJ

5.554.497,049 kJ = 24,3731 kg. 1,979 kJ/kg.^{o}C. (T-25)^{o}C + 126,9971 kg. 2,62755 kJ/kg.^{o}C. (T-25)^{o}C + 1607,861 kg. 1,5187 kJ/kg.^{o}C. (T-25)^{o}C + 26,5142 kg. 0,18715 kJ/kg.^{o}C. (T-25)^{o}C + 25495,64 kg. 4,1785 kJ/kg.^{o}C. (T-25)^{o}C + 56,6142 kg. 1,3888 kJ/kg.^{o}C. (T-25)^{o}C + 26,9387 kg. 2,3459 kJ/ kg. (T-25)^{o}C + 17,9591 kg. 1,2472 kJ/kg. ^{o}C. (T-25)^{o}C

Maka T output = 72,02 ^{o}C = 72 ^{o}C

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari *Filter Press* (H-240)		Ke *Evaporator* (V-250)	
Larutan Agar 74,5 ^{o}C	**5.846.838,999**	**Larutan Agar 72^{o}C**	**5.554.497,049**
- Lemak	2845,5945	- Lemak	2446,1093
- Protein	19.686,1156	- Protein	16.922,4833
- Karbohidrat	144.057,4082	- Karbohidrat	123.833,9701
- Abu	292,7076	- Abu	251,6446
- Air	5.670.269,013	- Air	5.402.634,995
- Serat	4638,5291	- Serat	3987,3502
- asam asetat	3728,2196	- asam asetat	3204,8332
-asam sitrat	1321,4106	- asam sitrat	1135,89967
		Q hilang	**292.341,9499**
Total	**5.846.838,999**	**Total**	**5.183.165,981**

8. *Evaporator* (V-250)



MASUK

Q larutan agar 72°C

Q masuk *evaporator* = Q keluar tangki penampungan filtrat

= 5.554.497,049 kJ

Total Entalpi masuk = 5.554.497,049 kJ + Qsteam

KELUAR

Larutan Agar 80°C

- Lemak

$\Delta H_1 = m.Cp_{lemak}. \Delta T$

= 24,3731 kg. 1,979 kJ/kg.°C. (80-25)°C= 2652,89 kJ

- Protein

$\Delta H_2 = m.Cp_{protein}. \Delta T$

= 126,9971 kg. 2,62755 kJ/kg.°C. (80-25)°C

= 18.353,0176 kJ

- Karbohidrat

$\Delta H_3 = m.Cp_{karbohidrat}. \Delta T$

= 1607,861 kg. 1,5187 kJ/kg.°C. (80-25)°C

= 134.302,2175 kJ

- Abu

$\Delta H_4 = m.Cp_{abu}. \Delta T$

= 26,5142kg. 0,18715 kJ/kg.°C. (80-25)°C

= 272,9172 kJ

- Air

$\Delta H_5 = m.Cp_{air}. \Delta T$

= 14022,5992 kg. 4,1785 kJ/kg.°C. (80-25)°C = 3.222.638,692 kJ

- Serat

$\Delta H_6 = m.Cp_{serat}. \Delta T$

$= 56{,}6142$ kg. 1,3888 kJ/kg.°C. (80-25)°C

$= 4324{,}4190$ kJ

- Asam asetat CH_3COOH

$\Delta H_7 = m.Cp_{asam\ asetat}. \Delta T$

$= 26{,}9387$ kg. 2,3459 kJ/ kg. (80-25)°C

$= 3475{,}7522$ kJ

- Asam sitrat

$\Delta H_8 = m.Cp_{asam\ sitrat}. \Delta T$

$= 17{,}95918$ kg. 1,2472 kJ/kg.C. (80-25)°C

$= 1231{,}9224$ kJ

Q uap air ke *condenser*

$$cp\ uap\ air = \int_{293}^{353} Cp\ dT_{\ air}$$

$$= \int_{293}^{353} (34,46 + 0,6880^{-2} T + 0,7604.10^{-5} T^2 - 3,593.10^{-9}.T^3).dT$$

$$= 34,46 + \left[\frac{0,6880.10^{-2}}{2}(80 \quad + 25\ )\right] + \left[\frac{0,7604.10^{-5}}{3}.(80^2 + 80.25 + 25^2)\right]$$

$$-\left[\frac{3,593.10^{-9}}{4}(80^2 \ + 25^2)\ (80 + 25)\right]$$

$= 67{,}6917$ kJ/mol °C

$\Delta H_8 = m.Cp_{uap\ air}. \Delta T$

$= (12.747{,}8175$ kg/18 gr/mol). 67,6917 kJ/mol °C. (80-25)°C

$= 2.636.705{,}554$ kJ

Total entalpi keluar = $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6 + \Delta H_7 + \Delta H_8$

= 6.023.957,382 kJ

Q hilang = 5% x total entalpi masuk

= 0,05 x (5.554.497,049 kJ + Qs) = 277.724,8525 + 0,05 Qs

neraca panas dari tangki ekstraktor adalah sebagai berikut:

Q masuk + Qs = Q keluar + Q hilang

5.554.497,049 kJ + Qs = 6.023.957,382 kJ + 277.724,8525 + 0,05 Qs

Qs = 786.594,6829 kJ

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari Filtrat Bin (F-241)		Ke *Spray dryer* (B-260)	
Larutan Agar 74,5 ^oC	**5.554.497,049**	**Larutan Agar 80^oC**	**3.387.251,828**
- Lemak	2446,1093	- Lemak	2652,8900
- Protein	16.922,4833	- Protein	18.353,0176
- Karbohidrat	123.833,9701	- Karbohidrat	134.302,2175
- Abu	251,6446	- Abu	272,9172
- Air	5.402.634,995	- Air	3.222.638,692
- Serat	3204,8332	- Serat	4324,4190
- asam asetat	3204,8332	- asam asetat	3475,7522
- asam sitrat	1135,89967	-asam sitrat	1231,9224
Q steam	**786.594,6829**	Ke Condensor (E-251)	
		Kondensat	**2.636.705,554**
		Q hilang	**317.054,5866**
Total	**6.341.011,969**	**Total**	**6.341.011,969**

9. Spray Dryer (B-260)

MASUK

Q larutan agar pekat 80^{o}C

Q masuk ke *spray dryer* = Q keluar *evaporator*

= 3.387.251,828 kJ

KELUAR

Q tepung agar ke Tangki Penampungan Tepung Agar (F-161)

- Lemak

$\Delta H_1 = m.Cp_{lemak}. \Delta T$

= 24,2513 kg. 1,979 kJ/kg.^{o}C. (120-25)^{o}C= 4559,3656 kJ

- Protein

$\Delta H_2 = m.Cp_{protein}. \Delta T$

= 126,3621 kg. 2,62755 kJ/kg.^{o}C. (120-25)^{o}C
= 31542,1599 kJ

- Karbohidrat

$\Delta H_3 = m.Cp_{karbohidrat}. \Delta T$

= 1599,8213 kg. 1,5187 kJ/kg.^{o}C. (120-25)^{o}C

= 230.816,8775 kJ

- Abu

$\Delta H_4 = m.Cp_{abu}. \Delta T$

= 26,3817 kg. 0,18715 kJ/kg.^{o}C. (120-25)^{o}C

= 469,0468 kJ

- Air

$\Delta H_5 = m.Cp_{air}. \Delta T$

= 356,1181 kg. 4,1785 kJ/kg.^{o}C. (120-25)^{o}C= 141.363,7507 kJ

- Serat

$\Delta H_6 = m.Cp_{serat}. \Delta T$

= 56,3311kg. 1,3888 kJ/kg.^{o}C. (120-25)^{o}C

= 7432,100 kJ

- Asam sitrat

$\Delta H_7 = m.Cp_{asam\ sitrat} . \Delta T$

$= 17,8693$ kg. 1,2472 kJ/kg.C. $(120\text{-}25)^{o}C$= 2117,2261 kJ

Total entalpi keluar **(tangki penampungan tepung agar)**

$= \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6 = 418.300,5267$ kJ

Q Larutan Agar ke *cyclone*

- Lemak

$\Delta H_1 = m.Cp_{lemak} . \Delta T$

$= 0,1218$ kg. 1,979 kJ/kg.^{o}C. $(120\text{-}25)^{o}C$= 22,8990 kJ

- Protein

$\Delta H_2 = m.Cp_{protein} . \Delta T$

$= 0,6349$ kg. 2,62755 kJ/kg.^{o}C. $(120\text{-}25)^{o}C$

= 158,4819 kJ

- Karbohidrat

$\Delta H_3 = m.Cp_{karbohidrat} . \Delta T$

$= 8,0393$ kg. 1,5187 kJ/kg.^{o}C. $(120\text{-}25)^{o}C$

= 1159,8820 kJ

- Abu

$\Delta H_4 = m.Cp_{abu} . \Delta T$

$= 0,1325$ kg. 0,18715 kJ/kg.^{o}C. $(120\text{-}25)^{o}C$

= 32,7209 kJ

- Serat

ΔH_5 = m.Cp_{serat}. ΔT

= 0,2830 kg. 1,3888 kJ/kg.^oC. (120-25)^oC

= 94,4758 kJ

- Asam sitrat

ΔH_6 = m.$Cp_{asam\ sitrat}$. ΔT

= 0,0897 kg. 1,2472 kJ/kg.C. (120-25)^oC= 11,8346 kJ

$Q_{keluar\ (cyclone)}$ = $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5 + \Delta H_6$

= 1480,2945 kJ

Q uap asam asetat 120^oC = 393 K

Menentukan Cp asam asetat(uap) yang dicari dengan menggunakan persamaan:

$Cp = A + BT + CT^2 + DT^3 + ET^4$ (kJ/kg)

A= 34,850 ; C = $2,8311.10^{-4}$ E = $9,2646.10^{-11}$

B= $3,7626.10^{-2}$; D = $-3,0767.10^{-7}$

(Kirk and Othmer, 1978)

$$Cp = 34,850 + 3,7626.10^{-2}\,T + 2,8311.10^{-4}\,T^2 - 3,0767.10^{-7}\,T^3 + 9,2646.10^{-11}\,T^4$$

$$= 34,850\,(393-298) + \frac{3,7626.10^{-2}}{2}(393^2-298^2) + \frac{2,8311.10^{-4}}{3}(393^3-298^3) - \frac{3,0767.10^{-7}}{4}(393^4-298^4) + \frac{9,2646.10^{-11}}{5}(393^5-298^5)$$

= 4072.6135 kJ/Kmol

= 214,631 kJ/kg

Q uap asam asetat = 28,2932 kg x 214,631 kJ/kg= 6072.6135 kJ

Q_{hilang} = 10 % $Q_{udara\ panas}$[16]

Relative humidity rata-rata di Indonesia = 80 % [17]

$H_R = 80 = 100 \ \frac{Pa}{Pas}$ ………………………………...... (B-1)

$T_o = 20^oC$ dan P = 101,325 kPa, maka Pas = 2,346 kPa [18]

Substitusi Pas = 2,346 kPa ke persamaan (1), sehingga didapatkan:

$Pa = \left(\frac{80}{100}\right) . 2,346 \text{ kPa} = 1,8768 \text{ kPa}$

Mencari *humidity* udara masuk *dryer* [18]

$$H_1 = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{Pa}{P-Pa}\right) = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{1,8768}{101,325-1,8768}\right)$$

= 0,0117 kg H_2O/kg udara kering

Suhu udara masuk *dryer* = 125^oC

Entalpi udara masuk *dryer*

$Hg_1 = Cs.(T-To)+H_1.lo$ ……………………………......... (B-2)

Di mana $Cs = 1,005 + 1,88 \ H_1$

lo pada To = 20^oC = 2454,113 kJ/kg [18]

Persamaan (2) menjadi $Hg_1 = (1,005+1,88.H_1).(T\text{-}To) + H_1.2454,113$

= (1,005+1,88.0,0117).(125-20)+0,0117.2454,113

= 136,5477 kJ/kg udara kering

Suhu udara keluar dryer = 120 ^oC

Entalpi udara keluar *spray dryer*

$Hg_2 = (1,005+1,88.H_2).(T\text{-}To)+H_2.lo$

$= (1,005+1,88 \ H_2).(120-20)+H_2.2454,113$

$= 100,5 + 2642,113.H_2$ kJ/kg udara kering

<u>Neraca massa air</u>

$G.H_1$ + air dari bahan masuk = $G.H_2$ + air dari bahan keluar

$G.0,0117 + 14022,5992 = G.H_2 + 356,1181$

$G = \dfrac{13.666,4810}{(H_2 - 0,0117)}$ kg/kg udara kering ………….................. (B-3)

<u>Neraca panas total</u>

Q $_{udara\ masuk}$ + Q $_{larutan\ agar\ masuk}$ = Q $_{udara\ keluar}$ + Q $_{cyclone}$ + Q $_{tepung\ agar}$ + Q $_{uap\ asam\ asetat}$ + Q $_{hilang}$

$G.Hg_1$ + 3.387.251,828 = $G.Hg_2$ + 1480,2945 + 418.300,5267 + 6072.6135 + 10%. $G.Hg_1$

90%. $G.Hg_1$ + 3.813.105,263 = G (100,5 + 2642,113.H_2)

0,9 . 136,5477 G + 3.813.105,263 = G (100,5 + 2642,113.H_2)

G (100,5 + 2642,113.H_2 – 122,89293) = 3.813.105,263

$G = \dfrac{3.813.105,263}{(2642,113.H_2 - 22,3929)}$ .... (B-4)

Dari persamaan (B-3) dan (B-4)

$$\frac{13.666,4810}{(H_2 - 0,0117)} = \frac{3.813.105,263}{(2642,113.H_2 - 22,3929)}$$

H_2 = 0,069132 kg H_2O/kg udara kering

Hg_2 = 100,5 + 2642,113.H_2 = 283,15711 kJ/kg udara kering

$G = \dfrac{3.813.105,263}{(2642,113.H_2 - 22,3929)}$ = 23.792,6178 kg udara kering

Q $_{udara\ masuk}$ = $G.Hg_1$ = 23.792,6178 . 136,5477 = 3.248.827,25 kJ

Q $_{udara\ keluar}$ = $G.Hg_2$ = 23.792,6178. 283,15711 = 5.885.342,919 kJ

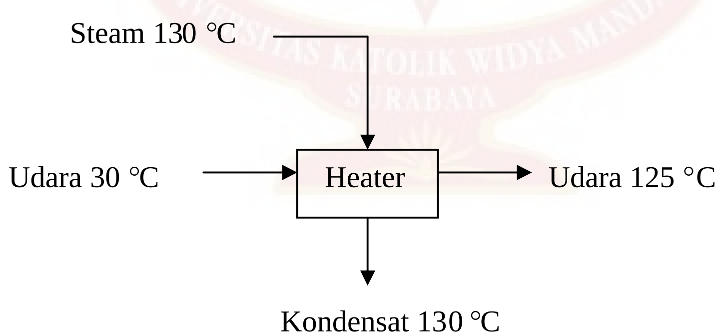
Massa $_{udara\ masuk}$ = (1+H_1).G = (1+0,0117). 23.792,6178 = 24.070,9915 kg

Massa $_{udara\ keluar}$ = (1+H_2).G = (1+0,069132). 23.792,6178 = 25437,16364 kg

Q hilang =0,1 x 3.248.827,25 = 324.882,725 kJ

Masuk (kJ)		Keluar (kJ)	
Dari *Evaporator* (V-250)		Ke Tangki penampungan agar (F-261)	
Larutan Agar 80°C	**3.387.251,828**	**Tepung Agar 120°C**	**418.300,5267**
- Lemak	2652,8900	- Lemak	4559,3656
- Protein	18.353,0176	- Protein	31542,1599
- Karbohidrat	134.302,2175	- Karbohidrat	230.816,8775
- Abu	272,9172	- Abu	469,0468
- Air	3.222.638,692	- Air	141.363,7507
- Serat	4324,4190	- Serat	7432,1001
- asam asetat	3475,7522	-Asam sitrat	2117.2261
-asam sitrat	1231,9224		
Q udara masuk	**3.248.827,25**	Ke Cyclone (H-262)	
		Tepung Agar 120°C	**1480,2945**
		- Lemak	22,8990
		- Protein	158,4819
		- Karbohidrat	1159,8820
		- Abu	32,7209
		- Serat	94,4758
		-asam sitrat	11,83465
		Q uap asam asetat	**6072.6135**
		Q udara keluar	**5.885.342,919**
		Q hilang	**324.882,725**
Total	**6.636.079,078**	**Total**	**6.636.079,078**

10. Heater



Suhu udara masuk = 30 °C

Suhu udara keluar = 125 °C

Massa udara masuk = massa udara masuk spray dryer $_{\text{susu bubuk}}$ + massa udara masuk spray dryer $_{\text{tepung agar-agar}}$

= 3.117.334,5996 kg + 24.070,9915 kg = 3.141.405,591 kg

<u>Neraca panas masuk</u> :

1. Entalpi udara masuk

Relative humidity rata-rata di Indonesia = 80 % [17]

$H_R = 80 = 100 \, \frac{Pa}{Pas}$ …………………………………...... (B-1)

$T_o = 20^oC$ dan P = 101,325 kPa, maka Pas = 2,346 kPa [18]

Substitusi Pas = 2,346 kPa ke persamaan (1), sehingga didapatkan:

$Pa = \left(\frac{80}{100}\right) .$ 2,346 kPa = 1,8768 kPa

Mencari *humidity* udara masuk *heater* [18]

$H_1 = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{Pa}{P-Pa}\right) = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{1,8768}{101,325-1,8768}\right)$

= 0,0117 kg H_2O/kg udara kering

Pers 9.3-9 (Geankoplis,1985) :

ΔHy_1 = m x Cs (T °C - 0) + m x H x 2501.4

Dimana : Cs = 1,005 + 1,88 x H (pers 9.3-6)

Cs = 1,005 + (1,88 x 0,0117)

Cs = 1,02699 kJ/kg °C

ΔHy_1 = (3.141.405,591 x 1,02699 x (30-0)+ (3.141.405,591 x 0,0117 x 2501,4)

ΔHy_1 = 188.723.333,5974 kJ

2. Steam masuk

Q yang disuplai (Qs) = x kJ

Total panas masuk = 188.723.333,5974 + x kkal

Neraca panas keluar :

1. Entalpi udara keluar :

Entalpi udara keluar dari heater = Entalpi udara masuk spray dryer $_{\text{susu bubuk}}$ + Entalpi udara masuk spray dryer $_{\text{tepung agar-agar}}$

= 420.742.186,1276 kJ + 3.248.827,25 kJ = 423.991.013,4 kJ

2. Panas hilang = 5 % dari panas yang disuplai

= 0,05 x Qs

Total panas keluar = 423.991.013,4 + 0,05 Qs

Neraca panas total : $\sum$ panas masuk = $\sum$ panas keluar

188.723.333,5974 + Qs = 423.991.013,4 + 0,05 Qs

Qs = 247.650.189,2424 kJ

$\therefore$ Panas yang disuplai = 247.650.189,2424 kJ

$\therefore$ Panas yang hilang = 5 % x panas yang disuplai

= 5 % x 247.650.189,2424 kJ

= 12.382.509,46

Sebagai media pemanas digunakan steam pada suhu 130 °C

Dari App.A.2-9 (geankoplis,1985) hal 800, pada suhu 130°C didapatkan harga :

H_v = 2.720,5 kJ/kg

H_l = 546,31 kJ/kg

$\lambda = 0,9 \times (hf - hg) = 0,9.(2720,5 - 546,31)$ kJ/kg = 1956,77 kJ/kg

Kebutuhan steam $= \dfrac{\text{Panas yang disuplai}}{\lambda}$

$$= \frac{247.650.189,2424}{1956,77} = 126.565,2319 \text{ kg}$$

APPENDIX B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

Suhu referensi	=	20 °C
Satuan energi	=	kilo Joule (kJ)
Satuan massa	=	kg
Tipe operasi	=	2 batch/hari
Basis waktu	=	1 hari

B.1. Susu

<u>Daftar harga Cp (kJ/kg^{o}K) padatan untuk tiap komponen :</u>

- Protein $= \int Cp.\ dT = \int (2{,}0082 + 1{,}2089.10^{-3}\ T - 1{,}3129.10^{-6}\ T^2)$
- Lemak $= \int Cp.\ dT = \int (1{,}9842 + 1{,}4733.10^{-3}\ T - 4{,}8008.10^{-6}\ T^2)$
- Abu $= \int Cp.\ dT = \int (1{,}0926 + 1{,}8896.10^{-3}\ T - 3{,}6817.10^{-6}\ T^2)$

(Heldman, 1992)

Cp air $= 18{,}2964 + 47{,}212.10^{-2}\ T - 133{,}88.10^{-5}\ T^2 + 1314{,}2.10^{-9}\ T^3$ (kJ/kmol.^{o}K)

(Himmelblau, 1996)

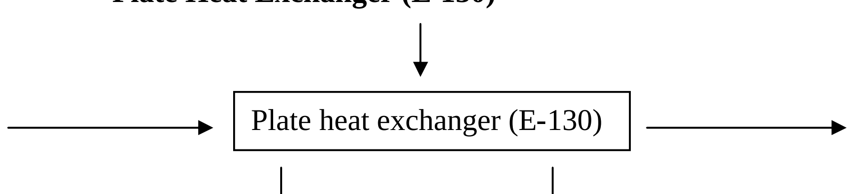
Cp laktosa = 0,287 kkal/kg.^{o}K pada 20^{o}C

(Perry 7th ed, 1997)

Cp uap air $= 33{,}46 - 0{,}6880.10^{-2}\ T + 0{,}7604.10^{-5}\ T^2 - 3{,}593.10^{-9}\ T^3$ (J/mol.^{o}C)

(Himmelblau, 1996)

3. Plate Heat Exchanger (E-130)



Steam

Susu segar 4°C
(dari tangki standarisasi)

Susu pasteurisasi 72°C
(ke tangki susu pasteurisasi)

Kondensat

Q_{hilang}

MASUK

Q susu segar 4°C

- Air

$\int_{293}^{277} Cp \, dT_{air} = \int_{293}^{277} (18{,}2964 + 47{,}212.10^{-2}\,T - 133{,}88.10^{-5}\,T^2 + 1314{,}2.10^{-9}\,T^3).\,dT$

$= [18{,}2964.(277\text{-}293)] + \left[\frac{47{,}212.10^{-2}}{2}(277^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{133{,}88.10^{-5}}{3}(277^3 - 293^3)\right] +$

$\left[\frac{1314{,}2.10^{-9}}{4}(277^4 - 293^4)\right]$

= -1.192,3930 kJ/kmol = -66,2441 kJ/kg

ΔH_1 = m. $\int_{293}^{277} Cp \, dT_{air}$

= 66.027,78 kg. (-66,2441) kJ/kg

= -4.373.951,0996 kJ

- Laktosa

ΔH_2 = m. $Cp_{laktosa}$. ΔT

= 3.479,13 kg. 0,287 kkal/kg.°K. (277-293)°K

= -15.976,1521 kkal = -66.844,2204 kJ

- Lemak

$\int_{293}^{277} Cp \, dT_{lemak} = \int_{293}^{277} (1{,}9842 + 1{,}4733.10^{-3}\,T - 4{,}8008.10^{-6}\,T^2)\,.\,dT$

$= [1{,}9842.(277\text{-}293)] + \left[\frac{1{,}4733.10^{-3}}{2}(277^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{4{,}8008.10^{-6}}{3}(277^3 - 293^3)\right]$

= -32,2247 kJ/kg

ΔH_3 = m. $\int_{293}^{277} Cp \, dT_{lemak}$

= 2.949,69 kg. (-32,2247) kJ/kg

= -95.052,9995 kJ

- Protein

$\int_{293}^{277} Cp\, dT_{\text{protein}} = \int_{293}^{277} (2{,}0082 + 1{,}2089.10^{-3}\, T - 1{,}3129.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [2{,}0082.(277-293)] + \left[\frac{1{,}2089.10^{-3}}{2}(277^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{1{,}3129.10^{-6}}{3}(277^3 - 293^3)\right]$

= -35,9371 kJ/kg

$\Delta H_4 = m. \int_{293}^{277} Cp\, dT_{\text{protein}}$

= 2.458,08 kg. (-35,9371) kJ/kg

= -88.336,2088 kJ

- Abu

$\int_{293}^{277} Cp\, dT_{\text{abu}} = \int_{293}^{277} (1{.}0926 + 1{.}8896.10^{-3}\, T - 3{,}6817.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [1{,}0926.(277-293)] + \left[\frac{1{,}8896.10^{-3}}{2}(277^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{3{,}6817.10^{-6}}{3}(277^3 - 293^3)\right]$

= -21,3122 kJ/kg

$\Delta H_5 = m. \int_{293}^{277} Cp\, dT_{\text{abu}}$

= 718,52 kg. (-21,3122) kJ/kg

= -15.313,1310 kJ

$Q_{\text{masuk susu segar } 4^oC} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$

= -4.639.497,6592 kJ

<u>KELUAR</u>

Q susu keluar 72ºC

➢ Air

$\int_{293}^{345} Cp\, dT_{\,air} = \int_{293}^{345} (18{,}2964 + 47{,}212.10^{-2}\, T - 133{,}88.10^{-5}\, T^2 + 1314{,}2.10^{-9}\, T^3).\, dT$

$= [18{,}2964.(345\text{-}293)] + \left[\frac{47{,}212.10^{-2}}{2}(345^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{133{,}88.10^{-5}}{3}(345^3 - 293^3)\right] +$

$\left[\frac{1314{,}2.10^{-9}}{4}(345^4 - 293^4)\right]$

= 3.916,0170 kJ/kmol = 217,5567 kJ/kg

ΔH_1 = m. $\int_{293}^{345} Cp\, dT_{\,air}$

= 66.027,78 kg. 217,5567 kJ/kg

= 14.364.783,7574 kJ

➢ Laktosa

ΔH_2 = m. $Cp_{\,laktosa}$. ΔT

= 3.479,13 kg. 0,287 kkal/kg.^{o}K. (345-293)^{o}K

= 51.922,4943 kkal = 217.243,7163 kJ

➢ Lemak

$\int_{293}^{345} Cp\, dT_{\,lemak} = \int_{293}^{345} (1{,}9842 + 1{,}4733.10^{-3}\, T - 4{,}8008.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [1{,}9842.(345\text{-}293)] + \left[\frac{1{,}4733.10^{-3}}{2}(345^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{4{,}8008.10^{-6}}{3}(345^3 - 293^3)\right]$

= 102,1575 kJ/kg

ΔH_3 = m. $\int_{293}^{345} Cp\, dT_{\,lemak}$

= 2.949,69 kg. 102,1575 kJ/kg

= 301.333,3550 kJ

➢ Protein

$\int_{293}^{345} Cp\, dT_{\,protein} = \int_{293}^{345} (2{,}0082 + 1{,}2089.10^{-3}\, T - 1{,}3129.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [2,0082.(345-293)] + \left[\frac{1,2089.10^{-3}}{2}(345^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{1,3129.10^{-6}}{3}(345^3 - 293^3)\right]$

= 117,5169 kJ/kg

$\Delta H_4 = m. \int_{293}^{277} Cp\, dT_{\text{protein}}$

= 2.458,08 kg. 117,5169 kJ/kg

= 288.865,9337 kJ

- Abu

$\int_{293}^{345} Cp\, dT_{\text{abu}} = \int_{293}^{345} (1{,}0926 + 1{,}8896.10^{-3}\,T - 3{,}6817.10^{-6}\,T^2)\,.\,dT$

$= [1,0926.(345-293)] + \left[\frac{1,8896.10^{-3}}{2}(345^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{3,6817.10^{-6}}{3}(345^3 - 293^3)\right]$

= 68,6348 kJ/kg

$\Delta H_5 = m. \int_{293}^{345} Cp\, dT_{\text{abu}}$

= 718,52 kg. 68,6348 kJ/kg

= 49.315,1352 kJ

$Q_{\text{keluar susu pasteurisasi } 72^oC} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$

= 15.221.541,8977 kJ

$Q_{\text{masuk susu segar } 4^oC} + Q_{\text{steam}} = Q_{\text{keluar susu pasteurisasi } 72^oC} + Q_{\text{hilang}}$

Asumsi: $Q_{\text{hilang}} = 5\% \ Q_{\text{steam}}$

$-4.639.497{,}6592 \text{ kJ} + Q_{\text{steam}} = 15.221.541{,}8977 \text{ kJ} + 0{,}05\ Q_{\text{steam}}$

Q_{steam} = 20.906.357,4283 kJ

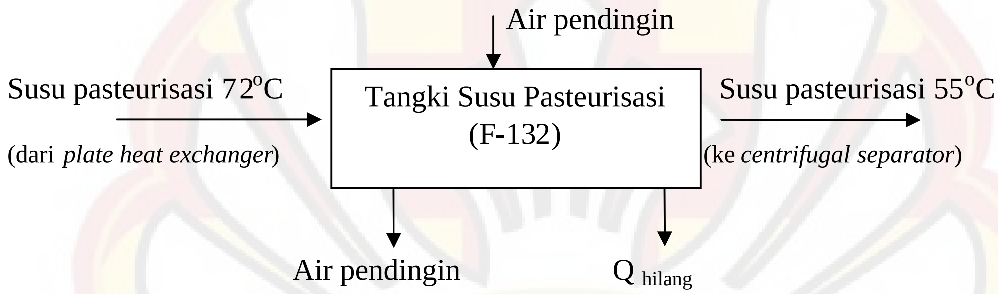
Q_{hilang} = 0,05 x 20.906.357,4283 kJ

= 1.045.317,8714 kJ

Masuk (kJ)	Keluar (kJ)
Dari Tangki standarisasi (M-120)	Ke Tangki susu pasteurisasi (F-132)

Susu segar 4^{o}C			**Susu pasteurisasi 72^{o}C**		
		-4.639.497,6592			**15.221.541,8977**
Air	=	-4.373.951,0996	Air	=	14.364.783,7574
Laktosa	=	-66.844,2204	Laktosa	=	217.243,7163
Lemak	=	-95.052,9995	Lemak	=	301.333,3550
Protein	=	-88.336,2088	Protein	=	288.865,9337
Abu	=	-15.313,1310	Abu	=	49.315,1352
Q_{steam}		**20.906.357,4283**	**Q_{hilang}**		**1.045.317,8714**
Total	**=**	**16.266.859,7691**	**Total**	**=**	**16.266.859,7691**

4. Tangki Susu Pasteurisasi (F-132)



<u>MASUK</u>

Q susu pasteurisasi 72^{o}C

Q masuk tangki pasteurisasi (F-132) = Q keluar *plate heat exchanger* (E-130)

= 15.221.541,8977 kJ

<u>KELUAR</u>

Q susu pasteurisasi 55^{o}C

- Air

$$\int_{293}^{328} Cp\, dT_{air} = \int_{293}^{328} (18{,}2964 + 47{,}212.10^{-2}\, T - 133{,}88.10^{-5}\, T^2 + 1314{,}2.10^{-9}\, T^3).\, dT$$

$$= [18{,}2964.(328-293)] + \left[\frac{47{,}212.10^{-2}}{2}(328^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{133{,}88.10^{-5}}{3}(328^3 - 293^3)\right] + \left[\frac{1314{,}2.10^{-9}}{4}(328^4 - 293^4)\right]$$

= 2.630,0749 kJ/kmol = 146,1154 kJ/kg

$\Delta H_1 = m. \int_{293}^{328} Cp\, dT_{air}$

= 66.027,78 kg. 146,1154 kJ/kg

= 9.647.674,2326 kJ

- Laktosa

ΔH_2 = m. $Cp_{laktosa}$. ΔT

= 3.479,13 kg. 0,287 kkal/kg.°K. (328-293)°K

= 34.947,8327 kkal = 146.221,7321 kJ

- Lemak

$\int_{293}^{328} Cp \, dT_{lemak} = \int_{293}^{328} (1,9842 + 1,4733.10^{-3}\,T - 4,8008.10^{-6}\,T^2)\,.\,dT$

$= [1,9842.(328-293)] + \left[\frac{1,4733.10^{-3}}{2}(328^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{4,8008.10^{-6}}{3}(328^3 - 293^3)\right]$

= 69,2413 kJ/kg

ΔH_3 = m. $\int_{293}^{328} Cp \, dT_{lemak}$

= 2.949,69 kg. 69,2413 kJ/kg

= 204.240,7421 kJ

- Protein

$\int_{293}^{328} Cp \, dT_{protein} = \int_{293}^{328} (2,0082 + 1,2089.10^{-3}\,T - 1,3129.10^{-6}\,T^2)\,.\,dT$

$= [2,0082.(328-293)] + \left[\frac{1,2089.10^{-3}}{2}(328^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{1,3129.10^{-6}}{3}(328^3 - 293^3)\right]$

= 78,9898 kJ/kg

ΔH_4 = m. $\int_{293}^{328} Cp \, dT_{protein}$

= 2.458,08 kg. 78,9898 kJ/kg

= 194.163,2528 kJ

- Abu

$\int_{293}^{328} Cp \, dT_{abu} = \int_{293}^{328} (1,0926 + 1,8896.10^{-3}\,T - 3,6817.10^{-6}\,T^2)\,.\,dT$

$= [1,0926.(328-293)] + \left[\frac{1,8896.10^{-3}}{2}(328^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{3,6817.10^{-6}}{3}(328^3 - 293^3)\right]$

= 46,3397 kJ/kg

ΔH_5 = m. $\int_{293}^{328} Cp \, dT$ $_{abu}$

= 718,52 kg. 46,3397 kJ/kg

= 33.295,7859 kJ

$Q_{\text{keluar susu pasteurisasi } 55^oC} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$

= 10.225.595,7456 kJ

$Q_{\text{masuk susu pasteurisasi } 72^oC} + Q_{\text{air pendingin}} = Q_{\text{keluar susu pasteurisasi } 55^oC} + Q_{\text{hilang}}$

Asumsi: Q_{hilang} = 5% Q_{masuk}

15.221.541,8977 kJ + $Q_{\text{air pendingin}}$ = 10.225.595,7456 kJ + 0,05 Q_{masuk}

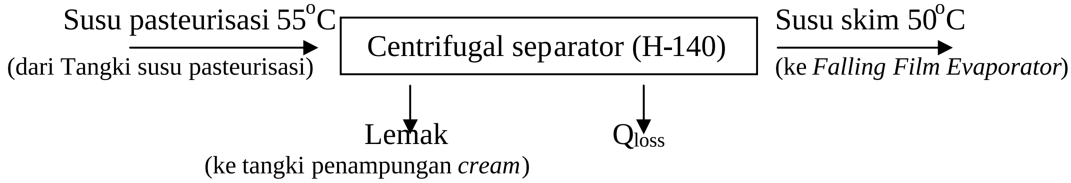
Q_{hilang} = 0,05 x 15.221.541,8977 kJ

= 761.077,0949 kJ

$Q_{\text{air pendingin}}$ = -4.234.869,0573 kJ

Masuk (kJ)	Keluar (kJ)
Dari *Plate heat exchanger* (E-130)	Ke *Centrifugal separator* (H-140)
Susu pasteurisasi 72^{o}C **15.221.541,8977**	**Susu pasteurisasi 55^{o}C** **10.225.595,7456**
Air = 14.364.783,7574	Air = 9.647.674,2326
Laktosa = 217.243,7163	Laktosa = 146.221,7321
Lemak = 301.333,3550	Lemak = 204.240,7421
Protein = 288.865,9337	Protein = 194.163,2528
Abu = 49.315,1352	Abu = 33.295,7859
$Q_{\text{air pendingin}}$ -4.234.869,0573	**Q_{hilang} 761.077,0949**
Total = 10.986.672,8405	**Total = 10.986.672,8405**

5. Centrifugal separator (H-140)



MASUK

Q susu pasteurisasi 55^{o}C

Q masuk *centrifugal separator* (H-140) = Q keluar tangki susu pasteurisasi (F-132)

= 10.225.595,7456 kJ

KELUAR

Q susu skim 50^{o}C ke *Falling Film Evaporator* (V-150)

- Air

$\int_{293}^{323} Cp\, dT_{air} = \int_{293}^{323} (18.2964 + 47.212.10^{-2}\, T - 133.88.10^{-5}\, T^2 + 1314.2.10^{-9}\, T^3).\, dT$

$= [18,2964.(323-293)] + \left[\frac{47,212.10^{-2}}{2}(323^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{133,88.10^{-5}}{3}(323^3 - 293^3)\right] +$

$\left[\frac{1314,2.10^{-9}}{4}(323^4 - 293^4)\right]$

= 2.252,8363 kJ/kmol = 125,1577 kJ/kg

$\Delta H_1 = m. \int_{293}^{323} Cp\, dT_{air}$

= 66.027,78 kg. 125,1577 kJ/kg

= 8.263.882,9493 kJ

- Laktosa

$\Delta H_2 = m.\, Cp_{laktosa}.\, \Delta T$

= 3.479,13 kg. 0,287 kkal/kg.^{o}K. (323-293)^{o}K

= 29.955,2852 kkal = 125.332,9132 kJ

- Lemak

$\int_{293}^{323} Cp\, dT_{lemak} = \int_{293}^{323} (1,9842 + 1,4733.10^{-3}\, T - 4,8008.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [1,9842.(323-293)] + \left[\frac{1,4733.10^{-3}}{2}(323^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{4,8008.10^{-6}}{3}(323^3 - 293^3)\right]$

= 59,4658 kJ/kg

$\Delta H_3 = m. \int_{293}^{323} Cp\, dT_{lemak}$

$= 58{,}19 \text{ kg} . 59{,}4658 \text{ kJ/kg}$

$= 3.460{,}5145 \text{ kJ}$

- Protein

$\int_{293}^{323} Cp \, dT_{\text{protein}} = \int_{293}^{323} (2{,}0082 + 1{,}2089.10^{-3}\, T - 1{,}3129.10^{-6}\, T^2) \, . \, dT$

$= [2{,}0082.(323\text{-}293)] + \left[\frac{1{,}2089.10^{-3}}{2}(323^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{1{,}3129.10^{-6}}{3}(323^3 - 293^3)\right]$

$= 67{,}6769 \text{ kJ/kg}$

$\Delta H_4 = m. \int_{293}^{323} Cp \, dT_{\text{protein}}$

$= 2.458{,}08 \text{ kg} . 67{,}6769 \text{ kJ/kg}$

$= 166.355{,}1018 \text{ kJ}$

- Abu

$\int_{293}^{323} Cp \, dT_{\text{abu}} = \int_{293}^{323} (1{,}0926 + 1{,}8896.10^{-3}\, T - 3{,}6817.10^{-6}\, T^2) \, . \, dT$

$= [1{,}0926.(323\text{-}293)] + \left[\frac{1{,}8896.10^{-3}}{2}(323^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{3{,}6817.10^{-6}}{3}(323^3 - 293^3)\right]$

$= 39{,}7518 \text{ kJ/kg}$

$\Delta H_5 = m. \int_{293}^{323} Cp \, dT_{\text{abu}}$

$= 718{,}52 \text{ kg} . 39{,}7518 \text{ kJ/kg}$

$= 28.562{,}2780 \text{ kJ}$

$Q_{\text{keluar susu skim } 50^{\circ}\text{C (1)}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$

$= 8.587.593{,}7568 \text{ kJ}$

Q susu skim 50°C ke Tangki Penampungan *Cream* (F-142)

- Lemak

$\int_{293}^{323} Cp \, dT_{\text{lemak}} = \int_{293}^{323} (1{,}9842 + 1{,}4733.10^{-3}\, T - 4{,}8008.10^{-6}\, T^2) \, . \, dT$

$= [1{,}9842.(323\text{-}293)] + \left[\frac{1{,}4733.10^{-3}}{2}(323^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{4{,}8008.10^{-6}}{3}(323^3 - 293^3)\right]$

= 59,4658 kJ/kg

$\Delta H \quad = m. \int_{293}^{323} Cp \, dT_{\text{lemak}}$

= 2.891,50 kg. 59,4658 kJ/kg

= 171.945,4391 kJ

$Q_{\text{keluar susu skim } 50^oC\,(2)} = \Delta H_{\text{lemak}}$

= 171.945,4391 kJ

$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar susu skim } 50^oC\,(1)} + Q_{\text{keluar susu skim } 50^oC\,(2)} + Q_{\text{hilang}}$

Asumsi: Q_{hilang} = 5% Q_{masuk}

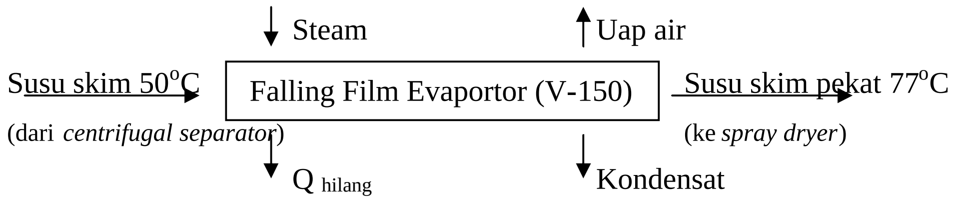
10.225.595,7456 kJ = 8.587.593,7568 kJ + 171.945,4391 kJ + 0,05 Q_{masuk}

Q_{hilang} = 0,05 x 10.225.595,7456 kJ

= 1.466.056,5497 kJ

Masuk (kJ)			Keluar (kJ)		
Dari *Plate Heat Exchanger* (E-130)			Ke *Falling Film Evaporator* (V-150)		
Susu pasteurisasi 55°C		**10.225.595,7456**	**Susu skim 50°C**		**8.587.593,7568**
Air	=	9.647.674,2326	Air	=	8.263.882,9493
Laktosa	=	146.221,7321	Laktosa	=	125.332,9132
Lemak	=	204.240,7421	Lemak	=	3.460,5145
Protein	=	194.163,2528	Protein	=	166.355,1018
Abu	=	33.295,7859	Abu	=	28.562,2780
			Ke Tangki penampungan *cream* (F-142)		
			Lemak		**171.945,4391**
			Q_{hilang}		**1.466.056,5497**
Total	**=**	**10.225.595,7456**	**Total**	**=**	**10.225.595,7456**

6. Falling Film Evaporator (V-150)



MASUK

Q susu skim 50°C

Q masuk *falling film evaporator* (V-150) = Q keluar *centrifugal separator* (H-140)

= 8.587.593,7568 kJ

KELUAR

Q susu skim pekat 77°C

- Air

$\int_{293}^{350} Cp\, dT_{air} = \int_{293}^{350} (18.2964 + 47.212.10^{-2}\, T - 133.88.10^{-5}\, T^2 + 1314.2.10^{-9}\, T^3).\, dT$

$= [18,2964.(350\text{-}293)] + \left[\frac{47,212.10^{-2}}{2}(350^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{133,88.10^{-5}}{3}(350^3 - 293^3)\right] +$

$\left[\frac{1314,2.10^{-9}}{4}(350^4 - 293^4)\right]$

= 4.295,2031 kJ/kmol = 238,6226 kJ/kg

ΔH_1 = m. $\int_{293}^{350} Cp\, dT_{air}$

= 36.315,28 kg. 238,6226 kJ/kg

= 8.665.645,3326 kJ

- Laktosa

ΔH_2 = m. $Cp_{laktosa}$. ΔT

= 3.479,13 kg. 0,287 kkal/kg.°K. (350-293)°K

= 56.915,0419 kkal = 238.132,5352 kJ

- Lemak

$\int_{293}^{350} Cp\, dT_{lemak} = \int_{293}^{350} (1,9842 + 1,4733.10^{-3}\, T - 4,8008.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [1,9842.(350\text{-}293)] + \left[\frac{1,4733.10^{-3}}{2}(350^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{4,8008.10^{-6}}{3}(350^3 - 293^3)\right]$

= 111,7396 kJ/kg

ΔH_3 = m. $\int_{293}^{350} Cp\, dT_{lemak}$

= 58,19 kg. 111,7396 kJ/kg

$= 6.502,5052$ kJ

- Protein

$\int_{293}^{350} Cp\, dT_{protein} = \int_{293}^{350} (2,0082 + 1,2089.10^{-3}\, T - 1,3129.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [2,0082.(350-293)] + \left[\frac{1,2089.10^{-3}}{2}(350^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{1,3129.10^{-6}}{3}(350^3 - 293^3)\right]$

$= 128,8657$ kJ/kg

$\Delta H_4 = m. \int_{293}^{350} Cp\, dT_{protein}$

$= 2.458,08$ kg. $128,8657$ kJ/kg

$= 316.762,0472$ kJ

- Abu

$\int_{293}^{350} Cp\, dT_{abu} = \int_{293}^{350} (1,0926 + 1,8896.10^{-3}\, T - 3,6817.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [1,0926.(350-293)] + \left[\frac{1,8896.10^{-3}}{2}(350^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{3,6817.10^{-6}}{3}(350^3 - 293^3)\right]$

$= 75,1580$ kJ/kg

$\Delta H_5 = m. \int_{293}^{350} Cp\, dT_{abu}$

$= 718,52$ kg. $75,1580$ kJ/kg

$= 54.002,1551$ kJ

$Q_{\text{keluar susu skim pekat } 77^oC} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$

$= 9.281.044,5752$ kJ

Q uap air ke *Condenser* (G-151)

$\int_{20}^{77} Cp\, dT_{uap\ air} = \int_{20}^{77} (33,46 - 0,6880.10^{-2}\, T - 0,7604.10^{-5}\, T^2 - 3,593.10^{-9}\, T^3)\, .\, dT$

$= [33,46.(77-20)] - \left[\frac{0,6880.10^{-2}}{2}(77^2 - 20^2)\right] + \left[\frac{0,7604.10^{-5}}{3}(77^3 - 20^3)\right] - \left[\frac{3,593.10^{-9}}{4}(77^4 - 20^4)\right]$

$= 1.889,3057$ J/mol $= 104,9615$ kJ/kg

$\Delta H \quad = m. \int_{20}^{77} Cp \; dT_{\text{uap air}}$

$= 29.712{,}50 \text{ kg} . 104{,}9615 \text{ kJ/kg}$

$= 3.118.668{,}8762 \text{ kJ}$

$Q_{\text{uap air}} = \Delta H$

$= 3.118.668{,}8762 \text{ kJ}$

$Q_{\text{masuk susu skim } 50^{o}C} + Q_{\text{steam}} = Q_{\text{keluar susu skim pekat } 72^{o}C} + Q_{\text{kondensat}} + Q_{\text{hilang}}$

Asumsi: $Q_{\text{hilang}} = 5\% \; Q_{\text{steam}}$

$8.587.593{,}7568 \text{ kJ} + Q_{\text{steam}} = 9.281.044{,}5752 \text{ kJ} + 3.118.668{,}8762 \text{ kJ} + 0{,}05 \; Q_{\text{steam}}$

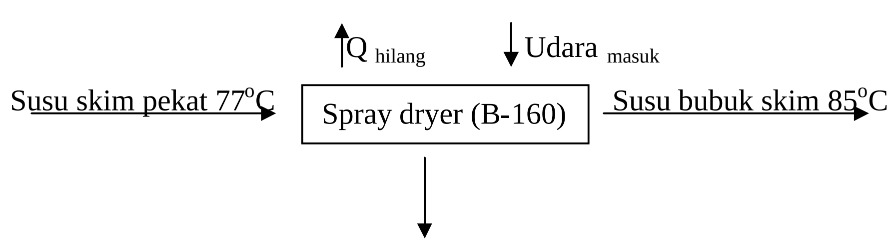
$Q_{\text{steam}} = 4.012.757{,}5733 \text{ kJ}$

$Q_{\text{hilang}} = 0{,}05 \times 4.012.757{,}5733 \text{ kJ}$

$= 200.637{,}8787 \text{ kJ}$

Masuk (kJ)			Keluar (kJ)		
Dari *Centrifugal Separator* (H-140)			Ke *Spray Dryer* (B-160)		
Susu skim 50°C		**8.587.593,7568**	**Susu skim pekat 77°C**		**9.281.044,5752**
Air	=	8.263.882,9493	Air	=	8.665.645,3326
Laktosa	=	125.332,9132	Laktosa	=	238.132,5352
Lemak	=	3.460,5145	Lemak	=	6.502,5052
Protein	=	166.355,1018	Protein	=	316.762,0472
Abu	=	28.562,2780	Abu	=	54.002,1551
			Ke *Condenser* (G-151)		
			Kondensat		**3.118.668,8762**
Q_{steam}		**4.012.757,5733**	**Q_{hilang}**		**200.637,8787**
Total	=	**12.600.351,3301**	**Total**	=	**12.600.351,3301**

7. Spray Dryer (B-160)



(dari *falling film evaporator*) (ke tangki penampungan susu bubuk skim)

lemak, protein, laktosa, abu, uap air (ke *cyclone*) + udara $_{keluar}$

MASUK

Q susu skim pekat 77^{o}C

Q masuk ke *spray dryer* (B-160) = Q keluar *falling film evaporator* (V-150)

= 9.281.044,5752 kJ

KELUAR

Q susu bubuk skim ke Tangki Penampungan Susu Bubuk Skim (F-161)

- Air

$\int_{293}^{358} Cp\, dT_{air} = \int_{293}^{358} (18.2964 + 47{,}212.10^{-2}\,T - 133.88.10^{-5}\,T^2 + 1314.2.10^{-9}\,T^3) .\, dT$

$= [18{,}2964.(358\text{-}293)] + \left[\frac{47{,}212.10^{-2}}{2}(358^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{133{,}88.10^{-5}}{3}(358^3 - 293^3)\right] +$

$\left[\frac{1314{,}2.10^{-9}}{4}(358^4 - 293^4)\right]$

= 4.902,8389 kJ/kmol = 272,3801 kJ/kg

ΔH_1 = m. $\int_{293}^{358} Cp\, dT_{air}$

= 206,61 kg. 272,3801 kJ/kg

= 56.276,0834 kJ

- Laktosa

ΔH_2 = m. $Cp_{laktosa}$. ΔT

= 3.461,73 kg. 0,287 kkal/kg.^{o}K. (358-293)^{o}K

= 64.578,6023 kkal = 270.196,8721 kJ

- Lemak

$\int_{293}^{358} Cp\, dT_{lemak} = \int_{293}^{358} (1{,}9842 + 1{,}4733.10^{-3}\,T - 4{,}8008.10^{-6}\,T^2) .\, dT$

$= [1{,}9842.(358\text{-}293)] + \left[\frac{1{,}4733.10^{-3}}{2}(358^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{4{,}8008.10^{-6}}{3}(358^3 - 293^3)\right]$

= 126,9725 kJ/kg

ΔH_3 = m. $\int_{293}^{358} Cp\, dT_{lemak}$

$= 57{,}90$ kg. $126{,}9725$ kJ/kg

$= 7.352{,}0108$ kJ

- Protein

$\int_{293}^{358} Cp\, dT_{protein} = \int_{293}^{358} (2{,}0082 + 1{,}2089.10^{-3}\, T - 1{,}3129.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [2{,}0082.(358-293)] + \left[\frac{1{,}2089.10^{-3}}{2}(358^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{1{,}3129.10^{-6}}{3}(358^3 - 293^3)\right]$

$= 147{,}0386$ kJ/kg

$\Delta H_4 = m. \int_{293}^{358} Cp\, dT_{protein}$

$= 2.445{,}79$ kg. $147{,}0386$ kJ/kg

$= 359.625{,}3815$ kJ

- Abu

$\int_{293}^{358} Cp\, dT_{abu} = \int_{293}^{358} (1{,}0926 + 1{,}8896.10^{-3}\, T - 3{,}6817.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [1{,}0926.(358-293)] + \left[\frac{1{,}8896.10^{-3}}{2}(358^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{3{,}6817.10^{-6}}{3}(358^3 - 293^3)\right]$

$= 85{,}5589$ kJ/kg

$\Delta H_5 = m. \int_{293}^{358} Cp\, dT_{abu}$

$= 714{,}92$ kg. $85{,}5589$ kJ/kg

$= 61.168{,}0443$ kJ

$Q_{keluar\ susu\ bubuk\ skim} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$

$= 754.618{,}3921$ kJ

Q susu bubuk skim ke *cyclone* (H-162)

- Laktosa

$\Delta H_1 = m.\, Cp_{laktosa}.\, \Delta T$

$= 17{,}40$ kg. 0,287 kkal/kg.°K. (358-293)°K

$= 324{,}5156$ kkal = 1.357,7732 kJ

- Lemak

$\int_{293}^{358} Cp\, dT_{\text{lemak}} = \int_{293}^{358} (1{,}9842 + 1{,}4733.10^{-3}\, T - 4{,}8008.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [1{,}9842.(358-293)] + \left[\frac{1{,}4733.10^{-3}}{2}(358^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{4{,}8008.10^{-6}}{3}(358^3 - 293^3)\right]$

$= 126{,}9725$ kJ/kg

$\Delta H_2 = m. \int_{293}^{358} Cp\, dT_{\text{lemak}}$

$= 0{,}29$ kg. 126,9725 kJ/kg

$= 36{,}9448$ kJ

- Protein

$\int_{293}^{358} Cp\, dT_{\text{protein}} = \int_{293}^{358} (2{,}0082 + 1{,}2089.10^{-3}\, T - 1{,}3129.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [2{,}0082.(358-293)] + \left[\frac{1{,}2089.10^{-3}}{2}(358^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{1{,}3129.10^{-6}}{3}(358^3 - 293^3)\right]$

$= 147{,}0386$ kJ/kg

$\Delta H_3 = m. \int_{293}^{358} Cp\, dT_{\text{protein}}$

$= 12{,}29$ kg. 147,0386 kJ/kg

$= 1.807{,}1627$ kJ

- Abu

$\int_{293}^{358} Cp\, dT_{\text{abu}} = \int_{293}^{358} (1{,}0926 + 1{,}8896.10^{-3}\, T - 3{,}6817.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [1{,}0926.(358-293)] + \left[\frac{1{,}8896.10^{-3}}{2}(358^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{3{,}6817.10^{-6}}{3}(358^3 - 293^3)\right]$

$= 85{,}5589$ kJ/kg

$\Delta H_4 = m. \int_{293}^{358} Cp\, dT_{\text{abu}}$

$= 3{,}59$ kg. 85,5589 kJ/kg

= 307,3771 kJ

$Q_{keluar\ (cyclone)}$ = $\Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4$

= 3.509,2578 kJ

Q_{hilang} = 10 % $Q_{udara\ panas}$ [15]

Relative humidity rata-rata di Indonesia = 80 % [16]

$H_R = 80 = 100\ \frac{Pa}{Pas}$ ………………………………….…... (B-1)

$T_o = 20^oC$ dan P = 101,325 kPa, maka Pas = 2,346 kPa [17]

Substitusi Pas = 2,346 kPa ke persamaan (1), sehingga didapatkan:

$Pa = \left(\frac{80}{100}\right). 2,346\ kPa = 1,8768\ kPa$

Mencari *humidity* udara masuk *dryer* [17]

$H_1 = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{Pa}{P-Pa}\right) = \frac{18,02}{28,97} \cdot \left(\frac{1.8768}{101,325-1,8768}\right)$

= 0,0117 kg H_2O/kg udara kering

Suhu udara masuk *dryer* = 125^oC

Entalpi udara masuk *dryer*

$Hg_1 = Cs.(T-To)+H_1.lo$ ……………………………......... (B-2)

Di mana $Cs = 1,005 + 1,88\ H_1$

lo pada To = 20^oC = 2454,113 kJ/kg [17]

Persamaan (2) menjadi $Hg_1 = (1,005+1,88.H_1).(T-To) + H_1.2454,113$

= (1,005+1,88.0,0117).(125-20)+0,0117.2454,113

= 136,5477 kJ/kg udara kering

Suhu udara keluar dryer = 85 ^oC

Entalpi udara keluar *spray dryer*

$Hg_2 = (1,005+1,88.H_2).(T-To)+H_2.lo$

$= (1,005+1,88\ H_2).(85-20)+H_2.2454,113$

$= 65,325 + 2576,313.H_2$ kJ/kg udara kering

Neraca massa air

$G.H_1$ + air dari bahan masuk = $G.H_2$ + air dari bahan keluar

$G.0,0117 + 36.315,28 = G.H_2 + 206,61$

$G = \frac{36.108,67}{(H_2 - 0,0117)}$ kg/kg udara kering ………….................. (B-3)

Neraca panas total

$Q_{udara\ masuk} + Q_{susu\ masuk} = Q_{udara\ keluar} + Q_{cyclone} + Q_{susu\ keluar} + Q_{hilang}$

$G.Hg_1 + 9.281.044,5752 = G.Hg_2 + 3.509,2578 + 754.618,3921 + 10\%.\ G.Hg_1$

$90\%.\ G.Hg_1 + 9.281.044,5752 = G\ (65,325 + 2576,313.H_2) + 758.127,6499$

$0,9\ .\ 136,5477\ G + 8.522.916,9252 = G\ (65,325 + 2576,313.H_2)$

$G\ (65,325 + 2576,313.H_2 – 122,8929) = 8.522.916,9252$

$G = \frac{8.522.916,9252}{(2576,313.H_2 - 57,5679)}$ .... (B-4)

Dari persamaan (B-3) dan (B-4)

$$\frac{36.108,67}{(H_2 - 0,0117)} = \frac{8.522.916,9252}{(2576,313.H_2 - 57,5679)}$$

$H_2 = 0,0234$ kg H_2O/kg udara kering

$Hg_2 = 65,325 + 2576,313.0,0234 = 125,6589$ kJ/kg udara kering

$G = \frac{8.522.916,9252}{(2576,313 \times 0,0234 - 57,5679)} = 3.081.283,5817$ kg udara kering

$Q_{udara\ masuk} = G.Hg_1 = 3.081.283,5817.\ 136,5477 = 420.742.186,1276$ kJ

$Q_{udara\ keluar} = G.Hg_2 = 3.081.283,5817.\ 125,6589 = 387.190.792,0015$ kJ

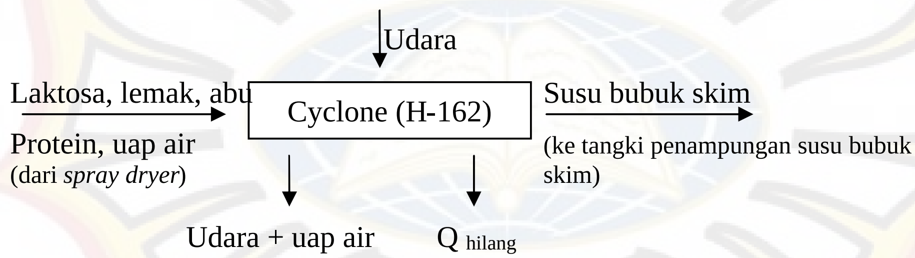
$Massa_{udara\ masuk} = (1+H_1).G = (1+0,0117).\ 3.081.283,5817 = 3.117.334,5996$ kg

$Massa_{udara\ keluar} = (1+H_2).G = (1+0,0234).\ 3.081.283,5817 = 3.153.443,2696$ kg

Masuk (kJ)	Keluar (kJ)
Dari *Falling film evaporator* (V-150)	Ke Tangki penampungan susu bubuk

	skim (F-161)
Susu skim pekat 77^{o}C **9.281.044,5752** Air = 8.665.645,3326 Laktosa = 238.132,5352 Lemak = 6.502,5052 Protein = 316.762,0472 Abu = 54.002,1551	**Susu bubuk skim** **754.618,3921** Air = 56.276,0834 Laktosa = 270.196,8721 Lemak = 7.352,0108 Protein = 359.625,3815 Abu = 61.168,0443
	Ke *Cyclone* (H-162)
	Susu bubuk skim **3.509,2578** Laktosa = 1.357,7732 Lemak = 36,9448 Protein = 1.807,1627 Abu = 307,3771
Q $_{udara\ masuk}$ **420.742.186,1276**	**Q $_{udara\ keluar}$** **387.190.792,0015**
	Q $_{hilang}$ **42.074.311,0513**
Total = 430.023.230,7028	**Total = 430.023.230,7028**

8. Cyclone (H-162)



MASUK

Q susu masuk *cyclone* (H-162) = Q susu keluar *spray dryer* (B-160)

= 3.509,2578 kJ

Q $_{udara\ masuk}$ dari udara keluar *spray dryer* (B-160) = 387.190.792,0015 kJ

Total Q masuk *cyclone* (H-162) = 387.194.301,2594 kJ

KELUAR

Q susu bubuk skim ke Tangki penampungan susu bubuk skim (F-161)

- Air

$\int_{293}^{358} Cp\, dT_{air} = \int_{293}^{358} (18{,}2964 + 47{,}212.10^{-2}\, T - 133{,}88.10^{-5}\, T^2 + 1314{,}2.10^{-9}\, T^3).\, dT$

$= [18,2964.(358\text{-}293)] + \left[\frac{47,212.10^{-2}}{2}(358^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{133,88.10^{-5}}{3}(358^3 - 293^3)\right] +$

$\left[\frac{1314,2.10^{-9}}{4}(358^4 - 293^4)\right]$

= 4.902,8389 kJ/kmol = 272,3801 kJ/kg

$\Delta H_1 = m. \int_{293}^{358} Cp\, dT_{air}$

= 1,04 kg. 272,3801 kJ/kg

= 282,7944 kJ

➢ Laktosa

$\Delta H_2 = m. Cp_{laktosa}. \Delta T$

= 17,40 kg. 0,287 kkal/kg.^{o}K. (358-293)^{o}K

= 324,5156 kkal = 1.357,7732 kJ

➢ Lemak

$\int_{293}^{358} Cp\, dT_{lemak} = \int_{293}^{358} (1,9842 + 1,4733.10^{-3}\, T - 4,8008.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [1,9842.(358\text{-}293)] + \left[\frac{1,4733.10^{-3}}{2}(358^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{4,8008.10^{-6}}{3}(358^3 - 293^3)\right]$

= 126,9725 kJ/kg

$\Delta H_3 = m. \int_{293}^{358} Cp\, dT_{lemak}$

= 0,29 kg. 126,9725 kJ/kg

= 36,9448 kJ

➢ Protein

$\int_{293}^{358} Cp\, dT_{protein} = \int_{293}^{358} (2,0082 + 1,2089.10^{-3}\, T - 1,3129.10^{-6}\, T^2)\, .\, dT$

$= [2,0082.(358\text{-}293)] + \left[\frac{1,2089.10^{-3}}{2}(358^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{1,3129.10^{-6}}{3}(358^3 - 293^3)\right]$

= 147,0386 kJ/kg

$\Delta H_4 = m. \int_{293}^{358} Cp\, dT_{protein}$

$= 12{,}29 \text{ kg} . 147{,}0386 \text{ kJ/kg}$

$= 1.807{,}1627 \text{ kJ}$

- Abu

$\int_{293}^{358} Cp \, dT_{abu} = \int_{293}^{358} (1{,}0926 + 1{,}8896.10^{-3}\,T - 3{,}6817.10^{-6}\,T^2) \, . \, dT$

$= [1{,}0926.(358-293)] + \left[\frac{1{,}8896.10^{-3}}{2}(358^2 - 293^2)\right] - \left[\frac{3{,}6817.10^{-6}}{3}(358^3 - 293^3)\right]$

$= 85{,}5589 \text{ kJ/kg}$

$\Delta H_5 = m. \int_{293}^{358} Cp \, dT_{abu}$

$= 3{,}59 \text{ kg} . 85{,}5589 \text{ kJ/kg}$

$= 307{,}3771 \text{ kJ}$

$Q_{\text{keluar susu bubuk skim}} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3 + \Delta H_4 + \Delta H_5$

$= 3.792{,}0522 \text{ kJ}$

Asumsi : $Q_{\text{hilang}} = 5\ \%\ Q_{\text{masuk}}$

Neraca panas total

$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar ke tangki penampungan susu bubuk}} + Q_{\text{hilang}} + Q_{\text{udara keluar}}$

$387.194.301{,}2594 \text{ kJ} = 3.792{,}0522 \text{ kJ} + 0{,}05.(387.194.301{,}2594 \text{ kJ}) + Q_{\text{udara keluar}}$

$Q_{\text{udara keluar}} = 367.830.794{,}1442 \text{ kJ}$

Masuk (kJ)			Keluar (kJ)		
Dari *Spray Dryer* (B-160)			Ke Tangki Penampungan (F-161)		
Susu bubuk skim		**3.509,2578**	**Susu bubuk skim**		**3.792,0522**
Laktosa	=	1.357,7732	Air	=	282,7944
Lemak	=	36,9448	Laktosa	=	1.357,7732
Protein	=	1.807,1627	Lemak	=	36,9448
Abu	=	307,3771	Protein	=	1.807,1627
			Abu	=	307,3771
			Ke *Condenser* (G-163)		
$Q_{\text{udara masuk}}$		**387.190.792,0015**	**$Q_{\text{udara keluar}}$**		**367.830.794,1442**
			Q_{hilang}		**19.359.715,0630**
Total	=	**387.194.301,2594**	**Total**	=	**387.194.301,2594**

APPENDIX C

SPESIFIKASI PERALATAN

C.1. SUSU

13. Tangki Penampungan susu sapi segar (F-110)

Fungsi : untuk menampung susu sapi segar sementara sebelum dilakukan pengolahan lebih lanjut menjadi susu bubuk.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis.

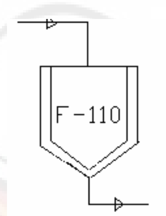
Dasar pemilihan : untuk menampung bahan yang berbentuk cair.

Kondisi operasi :

- T = 4°C
- Tekanan 1 atm

Gambar :

Susu sapi segar



Susu sapi segar

Data :

Massa susu masuk = 37.816,60 kg/batch

ρ susu (4°C) = 1033,7- 0,2308T – 0,00246 T^2 [13]

= 1.032,7374 kg/m^3 = 64,4751 lbm/ft^3

Volume susu (bahan) = $\frac{massa\ susu}{rho\ susu}$ = $\frac{37.816,60\ kg}{1.032,7374\ kg/m^3}$ = 36,6178 m^3

Ditetapkan untuk dimensi tangki:

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.

3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]

4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$

5. Volume ruang kosong = 90% volume tangki

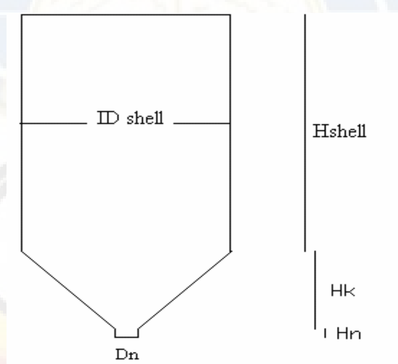
<u>Volume Tangki:</u>

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 36,6178 + 0,1 Volume tangki

Volume tangki = 40,6865 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

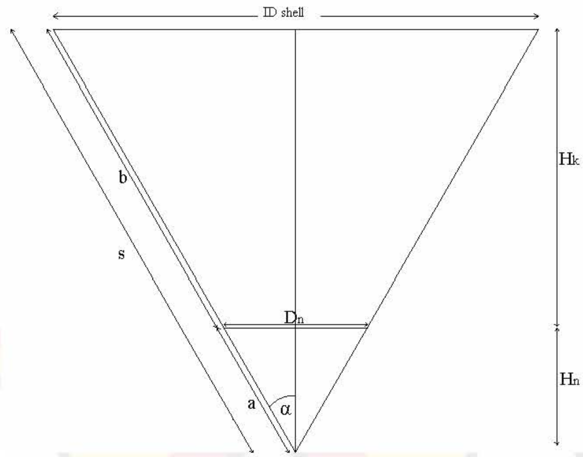
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* $= \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

$Hn = \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan $Hk = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - Hn = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$40{,}6865\ m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$40{,}6865\ m^3 = 1{,}1775\ ID_{shell}{}^3 + 0{,}2266\ ID_{shell}{}^3 - 0{,}0019$

$40{,}6884\ m^3 = 1{,}4041\ ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 3,0715 m = 10,0771 ft = 120,9266 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 3,0715 m = 4,6073 m = 15,1157 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30} = 0{,}1760$ m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(3{,}0715 - 0{,}2302)\ m}{2\ tg\ 30} = 2{,}4841$ m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (4,6073 + 2,4841) m = 7,0914 m = 23,2654 ft

a = $\sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2}$ = $\sqrt{\left(\frac{0,2302}{2}\right)^2 + 0,1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s = $\sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2}$ = $\sqrt{\left(\frac{3,0715}{2}\right)^2 + (2,4841 + 0,1760)^2}$

= 3,0715 m = 10,0771 ft

b = s – a = (3,0715 – 0,2032) m = 2,8683 m = 9,4105 ft

<u>Tinggi Larutan dalam Tangki</u>

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

36,6178 m^3 = $\frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

36,6178 m^3 = $\frac{\pi}{4}\ x\ 3,0715^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (3,0715^3 - 0,2302^3)$

$H_{larutan}$ = 4,0579 m = 13,3133 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (4,0579 + 2,4841) m = 6,5420 m = 21,4630 ft

<u>Tekanan Operasi Tangki</u>

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik = $\frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

= $\frac{64,4715 \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 21,4630\ ft}{144}$ = 9,6094 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 9,6094) psia = 24,3094 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 24,3094 psia = 29,1713 psia = 1,9844 atm

<u>Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki</u>

t_s = $\frac{P\ x\ D}{2\ x\ f\ x\ E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$$t_{shell} = \frac{29{,}1713\ psia \times 120{,}9266\ in}{2 \times 23.000 \times 0{,}8} + 0{,}125\ in$$

= 0,2209 in → standarisasi 4/16 in

Tebal Tutup Konis

$$\text{Tebal alas} = \frac{P \times D}{2\cos\alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$$

$$= \frac{29{,}1713\ psia \times 120{,}9266\ in}{2\cos 30\ (23.000\ psia \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 29{,}1713\ psia)} + 0{,}125\ in$$

= 0,2358 in → standarisasi 4/16 in

Untuk **Jaket Pendingin**, dapat dilihat pada C-222.

SPESIFIKASI

Kapasitas : 40,6865 m^3

ID_{shell} : 3,0715 m

H_k : 2,4841 m

H_{shell} : 4,6073 m

H total : 7,0914 m

Tebal *shell* : 4/16 in

Tebal *head* : 4/16 in

Tebal konis : 4/16 in

Jumlah tangki : 3 buah

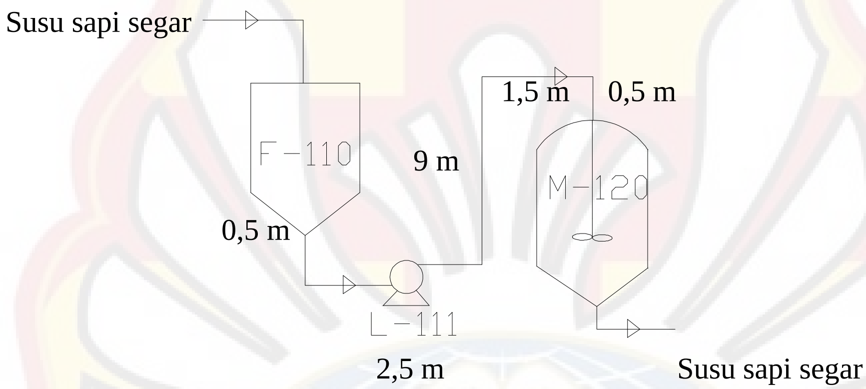
Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

14. Pompa (L-111)

Fungsi : untuk mengalirkan susu sapi segar dari tangki penampungan susu sapi (F-110) ke tangki standarisasi (M-120).

Tipe : *centrifugal pump*

Gambar :



Data :

T_{susu} = 4°C

Massa susu segar 4°C $_{masuk}$ = 37.816,60 kg/batch = 37.816,60 kg/jam

ρ susu (4°C) = 1033,7- 0,2308T – 0,00246 T^2 [13]

= 1.032,7374 kg/m^3 = 64,4715 lbm/ft^3

Viskositas = 0,0009 kg/m.s = 0,0006 lb/ft.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{37.816,60\ kg/jam}{1.032,7374\ kg/m^3}$ = 36,6178 m^3/jam = 0,0102 m^3/s

= 0,3592 ft^3/s

Laju susu segar masuk (m) = 0,0102 m^3/s x 1.032,7374 kg/m^3 = 10,5046 kg/s

<u>Perhitungan Diameter Pompa</u>

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

$$Di,opt = 3,9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13}$$ [21]

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt = 3,9 . $(0,3592)^{0,45}$. $(64,4715)^{0,13}$ = 4,2285 inch ≈ 4,026 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 4 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 4,026 inch = 0,3355 ft = 0,1023 m

A = $0,0884\ ft^2$

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0,3592\ ft^3/s}{0,0884\ ft^2}$ = 4,0634 ft/s = 1,2385 m/s

$N_{Re} = \frac{\rho \times v \times ID}{\mu}$

$= \frac{64,4751 \frac{lbm}{ft^3} \times 4,0634 \frac{ft}{s} \times 0,3355\ ft}{0,0006\ lb/ft.s}$

= 145.329,6352 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, α = 1

FRIKSI

- *Sudden contraction*

$A_{pipa} <<< A_{tangki}$

$Kc = 0,55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right)$ [17, Eq. 2.10-16]

A_{pipa}/A_{tangki} = 0 , karena A_{tangki} (A_1) jauh lebih besar dibanding A_{pipa} (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

$hc = Kc \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha}$ = 0,55 x (1-0) x $\frac{(1.2385)^2}{2.1}$ = 0,4218 J/kg

- *Sudden enlargement*

$hex = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \frac{v^2}{2\alpha} = (1\text{-}0)^2 \times \frac{(1,2385)^2}{2.1}$ = 0,7670 J/kg

- Friksi pada pipa lurus

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

$\varepsilon = 4,6.10^{-5}$ m

harga $\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4{,}6.10^{-5}\ m}{0{,}1023\ m}$ = 0,0004 → f = 0,005 [17, Fig.2.10-3]

ΔL = (0,5 + 2,5 + 9 + 1,5 +0,5) m = 14 m

$F_f = 4f\ x\ \frac{\Delta L}{ID}\ x\ \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

= 4 x 0,005 x $\frac{14\ m}{0{,}1023\ m}\ x\ \frac{(1{,}2385\ m/s)^2}{2}$ = 2,1201 J/kg

➢ <u>Friksi pada *elbow*</u>

Jumlah *elbow* 90^o = 4 buah

Kf *elbow* 90^o = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

Hf = $K_f\ x\ \frac{v^2}{2}$ = 0,75 x $\frac{(1{,}2385)^2}{2}$ = 0,5752 J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 4 buah, maka = 4 x 0,5752 J/kg = 2,3010 J/kg

➢ <u>Friksi pada *globe valve*</u>

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

hf = $K_f\ x\ \frac{v^2}{2}$ = 6 x $\frac{(1{,}2385)^2}{2}$ = 4,6020 J/kg

Σfriksi = (0,4218 + 0,7670 + 2,1201 + 2,3010 + 4,6020)

= 10,2118 J/kg

<u>Power Pompa</u>

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 1,2385 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$z_2 - z_1$ = 4,7918 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

$P_1 = P_2$ = 1 atm

$$-W_s = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2 \times 1}(1{,}2385 - 0)^2 + 9{,}8 \text{ m/s}^2 (4{,}7918) \text{ m} + 0 + 10{,}2118 \text{ J/kg}$$

$$= 57{,}9384 \text{ J/kg}$$

W_s = -57,9384 J/kg

Dengan Q = 36,6178 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 68% [21, Fig. 13-37]

$$\text{Brake Hp} = -\frac{W_s \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-57{,}9384 \text{ J/kg} \times 10{,}5046 \text{ kg/s}}{0{,}68 \times 550} = 1{,}6273 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

$$\text{Power motor} = \frac{1{,}6273}{0{,}8} = 2{,}0342 \text{ Hp} = 2 \text{ Hp}$$

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 36,6178 m^3/jam = 0,3592 ft^3/s

Ukuran pipa : 4 in *schedule* 40

Power pompa : 2 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

15. Tangki standarisasi (M-120)

Fungsi : untuk menyamakan komposisi-komposisi yang ada dalam susu sapi segar.

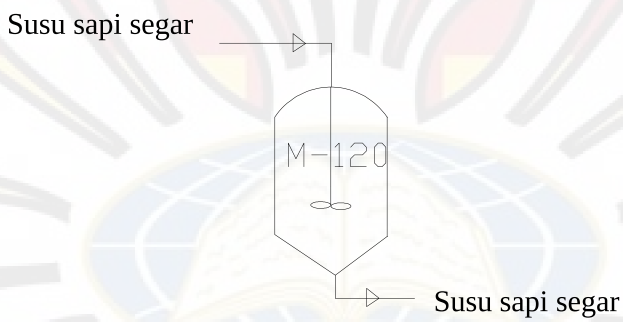
Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis yang dilengkapi dengan pengaduk (*agitator*).

Dasar pemilihan : untuk mempercepat proses pemerataan komposisi dalam susu.

Kondisi operasi :

- T = 4^{o}C
- Tekanan 1 atm
- Waktu pengadukan 15 menit

Gambar :



Data :

Massa susu masuk = 37.816,60 kg/batch

ρ susu (4^{o}C) = 1033,7- 0,2308T – 0,00246 T^2 [13]

= 1.032,7374 kg/m^3 = 64,4751 lbm/ft^3

Volume susu (bahan) = $\frac{massa\ susu}{rho\ susu}$ = $\frac{37.816,60\ kg}{1.032,7374\ kg/m^3}$ = 36,6178 m^3

<u>Ditetapkan untuk dimensi tangki:</u>

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.

3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]

4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$

5. Volume ruang kosong = 80% volume tangki

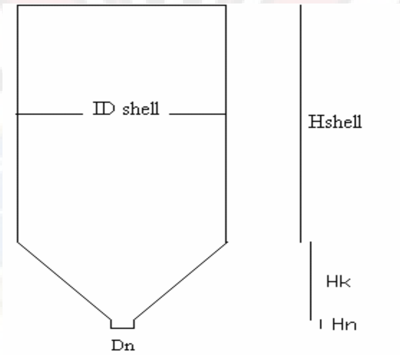
Volume Tangki:

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 36,6178 + 0,2 Volume tangki

Volume tangki = 45,7723 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

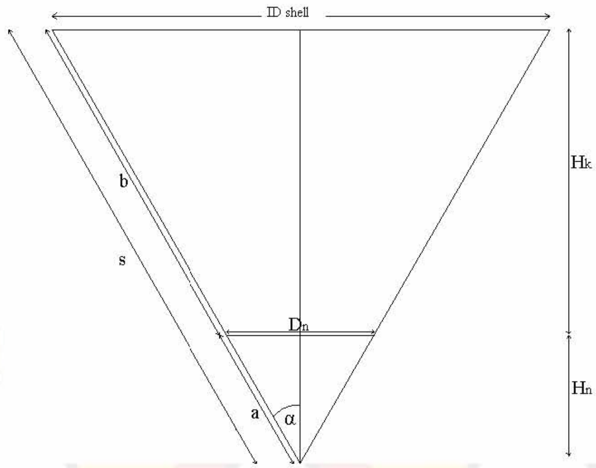
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1} \rightarrow$ volume *shell* $= \frac{\pi}{4} \; x \; ID_{shell}{}^2 \; x \; H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4} \; x \; ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

$Hn = \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan $Hk = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - Hn = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$45{,}7723\ m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$45{,}7723\ m^3 = 1{,}1775\ ID_{shell}{}^3 + 0{,}2266\ ID_{shell}{}^3 - 0{,}0019$

$45{,}7742\ m^3 = 1{,}4041\ ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 3,1945 m = 10,4806 ft = 125,7685 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 3,1945 m = 4,7918 m = 15,7209 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30}$ = 0,1760 m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(3{,}1945 - 0{,}2302)\ m}{2\ tg\ 30}$ = 2,5906 m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (4,7918 + 2,5906) m = 7,3824 m = 24,2200 ft

a = $\sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2}$ = $\sqrt{\left(\frac{0,2302}{2}\right)^2 + 0,1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s = $\sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2}$ = $\sqrt{\left(\frac{3,1945}{2}\right)^2 + (2,5906 + 0,1760)^2}$

= 3,1945 m = 10,4806 ft

b = s – a = (3,1945 – 0,2032) m = 2,9913 m = 9,8139 ft

Tinggi Larutan dalam Tangki

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

36,6178 m^3 = $\frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

36,6178 m^3 = $\frac{\pi}{4}\ x\ 3,1945^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (3,1945^3 - 0,2302^3)$

$H_{larutan}$ = 3,6490 m = 11,9718 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (3,6490 + 2,5906) m = 6,2396 m = 20,4709 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik = $\frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

= $\frac{64,4715 \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 20,4709\ ft}{144}$ = 9,1652 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 9,1652) psia = 23,8652 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 23,8652 psia = 28,6383 psia = 1,9482 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

t_s = $\frac{P\ x\ D}{2\ x\ f\ x\ E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$t_{shell} = \frac{28{,}6383\ psia\ x\ 125{,}7685\ in}{2\ x\ 23.000\ x\ 0{,}8} + 0{,}125\ in$

= 0,2229 in → standarisasi 4/16 in

Tebal Tutup Konis

Tebal alas $= \frac{P\ x\ D}{2\cos\alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$

$= \frac{28{,}6383\ psia\ x\ 125{,}7685\ in}{2\cos 30\ (23.000\ psia\ x\ 0{,}8 - 0{,}6\ x\ 28{,}6383\ psia)} + 0{,}125\ in$

= 0,2381 in → standarisasi 4/16 in

Agitator

Ditetapkan untuk agitator:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *Flat six-blade open turbine.* Viskositas dari susu adalah 0,0009 kg/m.s (Pa.s) sedangkan syarat viskositas untuk agitator jenis turbin adalah μ = 0-500 Pa.s, sehingga jenis agitator ini dapat digunakan [19, Tabel 4.16].
2. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

Dari Tabel 3.4-1 [17, p.158] diperoleh:

$\frac{Da}{Dt} = 0{,}3 - 0{,}5$ $\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$ $\frac{H}{Dt} = 1$

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

Dimana: Da = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$\frac{Da}{Dt}$ = 0,4 → D_a = 0,4 D_t = 0,4 . 3,1945 m = 1,2778 m

2. Lebar *blade* (W)

$\frac{W}{D_a}$ = 0,2 → W = 0,2 D_a = 0,2 . 1,2778 m = 0,2556 m

3. Panjang *blade* (L)

$\frac{L}{D_a}$ = 0,25 → L = 0,25 D_a = 0,25 . 1,2778 m = 0,3195 m

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3}$ → C = $\frac{1}{3}$ D_t = $\frac{1}{3}$. 3,1945 m = 1,0648 m

5. Lebar *buffle* (J)

$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$ → J = $\frac{1}{12}$. D_t = $\frac{1}{12}$. 3,1945 m = 0,2662 m

<u>Perhitungan kecepatan pengadukan:</u>

Syarat [20, p. 238, dan 21]:

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm
- Kecepatan keliling putaran (periperal) pengaduk turbin = 200-250 m/menit.

Trial 1 : N = 75 rpm = 1,25 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 1{,}2778 \text{ m} \times 75 \text{ rpm}$

= 300,9244 m/menit → **Tidak memenuhi syarat**

Trial 2 : N = 50 rpm = 0,8333 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 1,2778$ m × 50 rpm

= 200,6163 m/menit → **Memenuhi syarat**

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [17, p.158]:

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

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg /m³)

μ = viskositas (kg/m.s)

$N_{Re} = \frac{1032,737 \; x \; 0,8333 \; x \; (1.2778)^2}{0,0009}$ = 1.561.345,8624 → **Turbulen**

Nilai Np dapat dicari dari literatur [17, Fig. 3.4-5]

untuk nilai N_{Re} = 1.561.345,8624 dan untuk jenis *Flat six-blade open turbine* maka didapatkan nilai Np = 2,15

P = $Np \, x \, \rho \, x \, N^3 \, x Da^5$ [17, p.159]

P = 2,15 × 1.032,737 kg/m^3 × $(0,8333)^3$ × $(1,2778 \text{ m})^5$

P = 4.377,4079 W = 4,3774 kW = 5,8702 Hp

Effisiensi motor = 80%

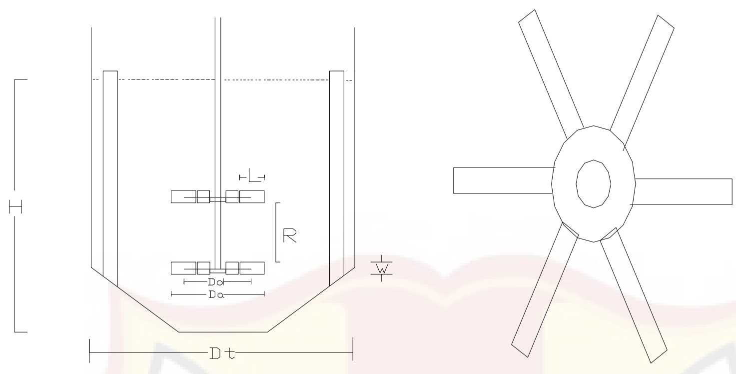
P = $\frac{5,8702}{0,8}$ = 7,3377 Hp = 7 Hp

Sg bahan masuk = $\frac{\rho_{larutan}}{\rho_{air}} = \frac{1032,737 \; kg/m^3}{1000 \; kg/m^3}$ = 1,0327

Jumlah pengaduk = $\frac{Sg \; x \; H_{shell}}{ID_{shell}} = \frac{1,0327 \; x \; 4,7918 \; m}{3,2945 \; m}$ = 1,5491 ≈ 2 buah

Jarak pengaduk (R) = (Tinggi larutan dalam tangki – C) / 3

= (6,2396 – 1,0648) / 3 = 1,7249 m



Gambar Tangki dan Agitator

SPESIFIKASI

Kapasitas : 45,7723 m^3

ID_{shell} : 3,1945 m

H_k : 2,5906 m

H_{shell} : 4,7918 m

H total : 7,3824 m

Tebal *shell* : 4/16 in

Tebal *head* : 4/16 in

Tebal konis : 4/16 in

Jumlah tangki : 1 buah

Jenis pengaduk : *Flat six-blade open turbine*

Diameter pengaduk (Da) : 1,2778 m

Jarak dasar tangki ke pengaduk (C): 1,0648 m

Panjang *blade* (L) : 0,3195 m

Lebar *baffle* (J) : 0,2662 m

Lebar *blade* (W) : 0,2556 m

Jarak pengaduk (R) : 1,7249 m

Jumlah pengaduk : 2 buah

Power : 7 Hp

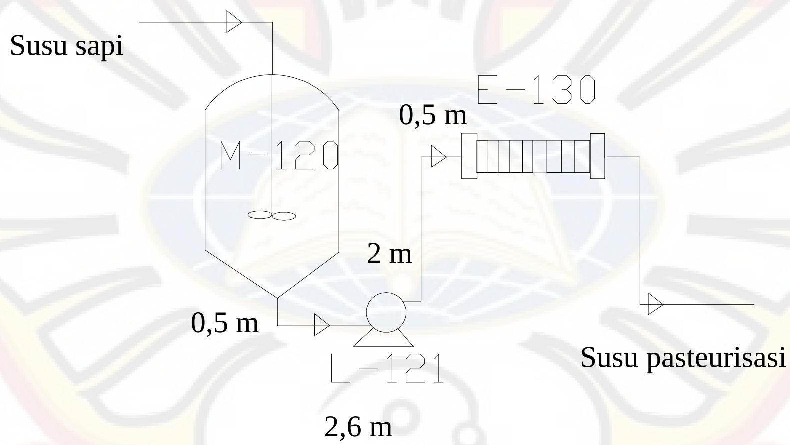
Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

16. Pompa (L-121)

Fungsi : untuk mengalirkan susu sapi segar dari tangki standarisasi (M-120) ke *Plate Heat Exchanger* (E-130).

Tipe : *centrifugal pump*

Gambar :



Data :

T_{susu} = 4°C

Massa susu segar 4°C $_{masuk}$ = 37.816,60 kg/batch = 37.816,60 kg/jam

ρ susu (4°C) = 1033,7- 0,2308T – 0,00246 T^2 [13]

= 1.032,7374 kg/m^3 = 64,4715 lbm/ft^3

Viskositas = 0,0009 kg/m.s = 0,0006 lb/ft.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{37.816,60 \text{ kg/jam}}{1.032,7374 \text{ kg/m}^3}$ = 36,6178 m^3/jam = 0,0102 m^3/s

= 0,3592 ft^3/s

Laju susu segar masuk (m) = 0,0102 m^3/s x 1.032,7374 kg/m^3 = 10,5046 kg/s

Perhitungan Diameter Pompa

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

$$Di,opt = 3,9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13} \quad [21]$$

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt = 3,9 . (0, 3592)^{0,45}. (64,4715)^{0,13} = 4,2285 inch ≈ 4,026 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 4 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 4,026 inch = 0,3355 ft = 0,1023 m

A = 0,0884 ft^2

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0,3592\ ft^3/s}{0,0884\ ft^2}$ = 4,0634 ft/s = 1,2385 m/s

$$N_{Re} = \frac{\rho\ x\ v\ x\ ID}{\mu}$$

$$= \frac{64,4751\frac{lbm}{ft^3} x\ 4,0634\frac{ft}{s} x\ 0,3355\ ft}{0,0006\ lb/ft.s}$$

= 145.329,6352 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, α = 1

<u>FRIKSI</u>

- *<u>Sudden contraction</u>*

$A_{pipa} <<< A_{tangki}$

$$Kc = 0,55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right) \quad [17, Eq. 2.10-16]$$

A_{pipa}/A_{tangki} = 0 , karena A_{tangki} (A_1) jauh lebih besar dibanding A_{pipa} (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

hc = Kc × $\left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)$ x $\frac{v^2}{2\alpha}$ = 0,55 x (1-0) x $\frac{(1.2385)^2}{2.1}$ = 0,4218 J/kg

- *<u>Sudden enlargement</u>*

hex = $\left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2$ x $\frac{v^2}{2\alpha}$ = $(1\text{-}0)^2$ x $\frac{(1{,}2385)^2}{2.1}$ = 0,7670 J/kg

- <u>Friksi pada pipa lurus</u>

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

$\varepsilon = 4{,}6.10^{-5}$ m

harga $\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4{,}6.10^{-5}\ m}{0{,}1023\ m}$ = 0,0004 → f = 0,005 [17, Fig.2.10-3]

ΔL = (0,5 + 2,6 + 2 + 0,5) m = 5,6 m

$F_f = 4f\ x\ \frac{\Delta L}{ID}\ x\ \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

= 4 x 0,005 x $\frac{5{,}6\ m}{0{,}1023\ m}\ x\ \frac{(1{,}2385\ m/s)^2}{2}$ = 0,8396 J/kg

- <u>Friksi pada *elbow*</u>

Jumlah *elbow* 90^o = 3 buah

Kf *elbow* 90^o = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

Hf = $K_f\ x\ \frac{v^2}{2}$ = 0,75 x $\frac{(1{,}2385)^2}{2}$ = 0,5752 J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 3 buah, maka = 3 x 0,5752 J/kg = 1,7257 J/kg

- <u>Friksi pada *globe valve*</u>

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

hf = $K_f\ x\ \frac{v^2}{2}$ = 6 x $\frac{(1{,}2385)^2}{2}$ = 4,6020 J/kg

Σfriksi = (0,4218 + 0,7670 + 0,8396 + 1,7257 + 4,6020)

= 8,3562 J/kg

<u>Power Pompa</u>

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 1,2385 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$z_2 - z_1$ = 2 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

$P_1 = P_2$ = 1 atm

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g\,(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2 \times 1}(1{,}2385 - 0)^2 + 9{,}8\ m/s^2\,(2)\ m + 0 + 8{,}3562\ J/kg$$

= 28,7232 J/kg

Ws = -28,7372 J/kg

Dengan Q = 36,6178 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 68% [21, Fig. 13-37]

$$\text{Brake Hp} = -\frac{Ws \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-28{,}7372\ J/kg \times 10{,}5046\ kg/s}{0{,}68 \times 550} = 0{,}8068\ Hp$$

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

$$\text{Power motor} = \frac{0{,}8068}{0{,}8} = 1{,}0084\ Hp = 1\ Hp$$

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 36,6178 m^3/jam = 0,3592 ft^3/s

Ukuran pipa : 4 in schedule 40

Power pompa : 1 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

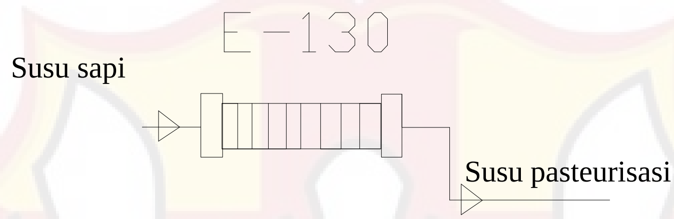
17. Plate Heat Exchanger (E-130)

Fungsi : untuk memanaskan susu sapi segar dari 4^{o}C menjadi 72^{o}C dengan tujuan pasteurisasi susu.

Tipe : *Plate Heat Exchanger* dengan media pemanas berupa *steam.*

Dasar pemilihan : luas perpindahan panas tinggi, *maintenance* mudah, banyak digunakan di industri makanan, membutuhkan *space* yang kecil.

Gambar :



Perhitungan :

<u>Data (*physical properties*) dari fluida panas dan fluida dingin</u>

- Fluida panas (*steam*)

Steam yang digunakan adalah *saturated steam* dengan tekanan 270,1 psia dan $T=130^oC$.

Suhu masuk (t_1) : 130^oC

Suhu keluar (t_2) : 130^oC

Cp_1 : 1.900,88 J/kg.K

μ_1 : $1,413.10^{-5}$ kg/m.s

k_1 : 0,0279 W/m.K

ρ_1 : 0,5524 kg/m^3

- Fluida dingin (susu segar 4^oC)

Laju aliran masuk : 37.816,60 kg/batch = 0,8754 kg/s

Suhu masuk (t_1) : 4^oC

Suhu keluar (t_2) : 72^oC

Suhu rata-rata (t_{avg}) : 38^oC

Cp_2 : 3.927,032 J/kg.K

μ_2 : 0,0008 kg/m.s

k_2 : 0,5896 W/m.K

ρ_2 : 1.021,3774 kg/m^3

<u>Perhitungan Overall Heat Transfer Coefficient</u>

Ditetapkan:

1. Bahan konstruksi untuk *Plate Heat Exchanger* adalah *Stainless Steel* dengan:

   Tebal bahan plat (δ) = 0,0005 m

   R_D total = 0,003

   k = 8.000 W/m.K

   Jenis plate : HM

   HPCD = 0,26 [23]

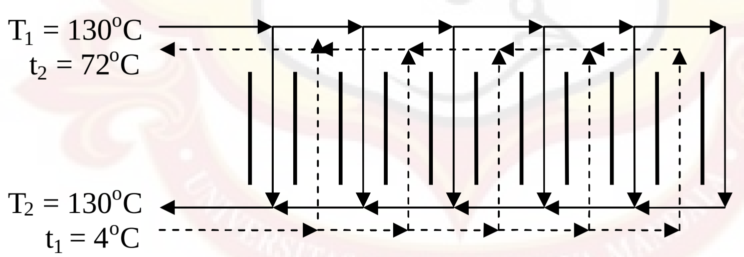
   VPCD = 1,04 [23]

   Port nozzle (D) = 0,075 m

   Compressed pitch = 0,0032 m/plate

   Tipe : gasket

2. Gambar secara sket:



3. Neraca panas:

   Q_H = 20.906.357,4283 kJ/hari

   = 241.969,8947 W

   λ (panas laten) *steam* = hg - hf = (2720,5 - 546,31) = 2.174,19 kJ/kg

   Massa *steam* = $\frac{20.906.357,4283\ kJ/hari}{2.174,19\ kJ/kg}$ = 9.615,6994 kg/hari = 0,1113 kg/s

Q_C = 19.861.039,5569 kJ/hari

= 229.871,4 W

4. Rd total = 0,003

Rd total = $1/U_D - 1/U_C$

Trial U_C = 6550 W/m^2.°K (Dari Perry, 1997, untuk sistem perpindahan panas uap air-air, U_C = 5700 – 7400 W/m^2.°K)

$$U_D = \frac{1}{R_{D\ total} + \frac{1}{U_C}} = \frac{1}{0{,}003 + \frac{1}{6550}} = 317{,}191\ W/m^2.K$$

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}\right)}$$

$$= \frac{(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_2}\right)} = \frac{(130-4) - (130-72)}{\ln\left(\frac{130-4}{130-72}\right)} = 87{,}6471\ K$$

5. A $= \frac{Q_h}{2 \cdot U_d \cdot \Delta T_{LMTD}} = \frac{241.969{,}8947\ W}{2 \times 317{,}191 \frac{W}{m^2K} \times 87{,}6471 K} = 4{,}3518\ m^2$

6. Dipilih plat jenis HM dengan [23]:

projected area = A_p = 0,27 m^2

developed area = A_d = 0,35 m^2

$\varphi = A_d/A_p$ = 0,35/0,27 = 1,296

Jumlah plat untuk perpindahan panas, $n = A/A_d$

n = 4,3518/0,35 = 12,4338 ≈ 12

$$U_D = \frac{241.969{,}8947\ W}{2 \times 12 \times 0{,}35\ m^2 \times 87{,}6471 K} = 317{,}191\ W/m^2.K \qquad (U_D \text{ terkoreksi})$$

$n = n_{ch} + n_{cc} - 1$; dengan n_{ch} = jumlah channel untuk fluida panas dan n_{cc} = jumlah channel untuk fluida dingin

$n + 1 = n_{ch} + n_{cc}$ → 12 + 1 = 6,5 ≈ 7 buah

7. Spesifikasi dari plat:

W = HPCD + D + 0,015 = 0,26 + 0,075 + 0,015 = 0,35 m

$A_p = 0{,}27\ m^2 = L.W = 0{,}35\ L \rightarrow L = 0{,}771\ m$

Pitch/plat (PT) = 0,0032; b = PT – δ = 0,0032 – 0,0005 = 0,0027 m

Luas penampang aliran fluida dalam channel

(Sc) = W.b

= 0,35 m . 0,0027 m

= 0,000945 m^2

$D_e \quad = \frac{2b}{\varphi} = \frac{2\ x\ 0{,}0027\ m}{1{,}296} = 0{,}0042\ m$

Fluida panas (*saturated steam*)	Fluida dingin (susu segar 4°C)
8. $G_h = \frac{m}{n_{ch}.Sc}$ $= \frac{0{,}1113\ kg/s}{7.0{,}000945\ m^2} = 16{,}8243\ kg/m^2\ s$ $R_e = \frac{De.Gh}{\mu}$ $= \frac{0{,}0042\ m.16{,}8243\frac{kg}{m^2}s}{1{,}41.10^{-5}\frac{kg}{m}s} = 5.011{,}4969$	8'. $G_h = \frac{m}{n_{ch}.Sc}$ $= \frac{0{,}8754\ kg/s}{7.0{,}000945\ m^2} = 132{,}3332\ kg/m^2\ s$ $R_e = \frac{De.Gh}{\mu}$ $= \frac{0{,}0042\ m.132{,}3332\frac{kg}{m^2}s}{0{,}0008\frac{kg}{m}.s} = 712{,}5635$
9. $Pr = \frac{Cp.\mu}{k}$ $= \frac{1900{,}88\frac{J}{kg}.K.1{,}41.10^{-5}\frac{kg}{m}.s}{0{,}0279\frac{W}{m}.K} = 0{,}9607$	9'. $Pr = \frac{Cp.\mu}{k}$ $= \frac{3927{,}032\frac{J}{kg}.K.0{,}0008\frac{kg}{m}.s}{0{,}5896\frac{W}{m}.K} = 5{,}1950$
10. $hc = 0{,}37\ x\ N_{Re}^{0,67}\ x\ N_{Pr}^{0,33} . \frac{k}{De}$ $= 0{,}37.(5{,}011{,}4969)^{0,67}.(0{,}9607)^{0,33} . \frac{0{,}0279}{0{,}0042}$ $= 730{,}7735\ W/m^2.^oK$	10'. $hc = 0{,}37\ x\ N_{Re}^{0,67}\ x\ N_{Pr}^{0,33} . \frac{k}{De}$ $= 0{,}37.(712{,}5635)^{0,67}.(5{,}1950)^{0,33} . \frac{0{,}5896}{0{,}0042}$ $= 7.295{,}5845\ W/m^2.^oK$

11. Uc $= \left(\frac{1}{h_h} + \frac{\delta}{k} + \frac{1}{h_c}\right)^{-1}$

$= \left(\frac{1}{730{,}7735} + \frac{0{,}0005}{8.000} + \frac{1}{7.295{,}5845}\right)^{-1} = 664{,}2114\ W/m^2.^oK$

12. Rd $= \frac{1}{Ud} - \frac{1}{Uc} = \frac{1}{317{,}191} - \frac{1}{664{,}2114} = 0{,}0016 < 0{,}003$ (tidak memenuhi syarat perpindahan panas)

Kesimpulannya PHE harus dirancang ulang. Agar Rd lebih besar maka laju aliran tiap *plate* harus diperkecil, yaitu dengan cara menambah *plate*. Dicoba n = 29, sehingga proses perhitungan dimulai dari tahap 8.

Fluida panas (*saturated steam*)	Fluida dingin (susu segar 4°C)
8. $G_h = \frac{m}{n_{ch}.Sc}$ $= \frac{0,1113\ kg/s}{15.0,000945\ m^2}$ = 7,8513 kg/m² s $R_e = \frac{De.Gh}{\mu}$ $= \frac{0,0042\ m.7,8513\frac{kg}{m^2}s}{1,41.10^{-5}\frac{kg}{m}.s}$ = 2.338,6985	8'. $G_h = \frac{m}{n_{ch}.Sc}$ $= \frac{0,8754\ kg/s}{15.0,000945\ m^2}$ = 61,7555 kg/m² s $R_e = \frac{De.Gh}{\mu}$ $= \frac{0,0042\ m.132,3332\frac{kg}{m^2}s}{0,0008\frac{kg}{m}.s}$ = 332,5296
9. $Pr = \frac{Cp.\mu}{k}$ $= \frac{1900,88\frac{J}{kg}.K.1,41.10^{-5}\frac{kg}{m}.s}{0,0279\ \frac{W}{m}.K}$ = 0,9607	9'. $Pr = \frac{Cp.\mu}{k}$ $= \frac{3927,032\frac{J}{kg}.K.0,0008\frac{kg}{m}.s}{0,5896\ \frac{W}{m}.K}$ = 5,1950
10. hc = 0,37 x $N_{Re}^{0,67}$ x $N_{Pr}^{0,33}$. $\frac{k}{De}$ = 0,37.$(2.338,6985)^{0,67}$.$(0,9607)^{0,33}$. $\frac{0,0279}{0,0042}$ = 438,5482 W/m².°K	10'. hc = 0,37 x $N_{Re}^{0,67}$ x $N_{Pr}^{0,33}$. $\frac{k}{De}$ = 0,37.$(332,5296)^{0,67}$.$(5,1950)^{0,33}$. $\frac{0,5896}{0,0042}$ = 4.378,1903 W/m².°K

11. Uc $= \left(\frac{1}{h_h} + \frac{\delta}{k} + \frac{1}{h_c}\right)^{-1}$

$= \left(\frac{1}{438,5482} + \frac{0,0005}{8.000} + \frac{1}{4.378,1903}\right)^{-1}$ = 398,6099 W/m².°K

12. Ud $= \frac{241.969,8947\ W}{2\ x\ 30\ x\ 0,35\ m^2\ x\ 87,6471 K}$ = 131,4633 W/m².K

13. Rd = $\frac{1}{Ud} - \frac{1}{Uc}$ = $\frac{1}{131,4633} - \frac{1}{398,6099}$ = 0,0051 > 0,003 (memenuhi syarat perpindahan panas)

Fluida panas (*saturated steam* 130°C)	**Fluida dingin (susu segar 4°C)**
1. Re = 2.338,6985	1'. Re = 332,5296
2. $f = \frac{2,5}{Re^{0,3}} = \frac{2,5}{2.338,6985^{0,3}}$ = 0,2439	2'. $f = \frac{2,5}{Re^{0,3}} = \frac{2,5}{332,5296^{0,3}}$ = 0,4379
3. $\Delta P_h = \frac{2.f.G^2.L}{\rho.De}$	3'. $\Delta P_c = \frac{2.f.G^2.L}{\rho.De}$

$= \frac{2 \times 0{,}2439 \times (7{,}8513)^2 \times 0{,}771}{0{,}5524 \times 0{,}0042}$ = 9.993,4923 N/m^2 = 1,4494 psia	$= \frac{2 \times 0{,}4379 \times (61{,}7555)^2 \times 0{,}771}{1.021{,}3374 \times 0{,}0042}$ = 600,3314 N/m^2 = 0,0871 psia
4. G" = $\frac{M}{\frac{\pi}{4} Dp^2} = \frac{0{,}1113\ kg/s}{\frac{\pi}{4}.\ (0{,}075\ m)^2}$ = 25,2043 kg/m^2.s	4'. G" = $\frac{M}{\frac{\pi}{4} Dp^2} = \frac{0{,}8754\ kg/s}{\frac{\pi}{4}.\ (0{,}075\ m)^2}$ = 198,2470 kg/m^2.s
5. Re = $\frac{Dp\ .G"}{\mu} = \frac{0{,}075\ .25{,}2043}{1{,}41.10^{-5}}$ = 134.065,5215	5'. Re = $\frac{Dp\ .G"}{\mu} = \frac{0{,}075\ .198{,}2470}{0{,}0008}$ = 18.585,6531
6. $f = \frac{2{,}5}{Re^{0,3}} = \frac{2{,}5}{134.065{,}5215^{0,3}}$ = 0,0724	6'. $f = \frac{2{,}5}{Re^{0,3}} = \frac{2{,}5}{18.585{,}6531^{0,3}}$ = 0,1310
7. $\Delta P_p = \frac{2\ .\ f.G"^2\ .\ L}{\rho\ .\ De}$ $= \frac{2 \times 0{,}0724 \times (25{,}2043)^2 \times 29 \times 0{,}0032}{0{,}5524 \times 0{,}0042}$ = 3.679,3389 N/m^2 = 0,5336 psia	7'. $\Delta P_p = \frac{2\ .\ f.G"^2\ .\ L}{\rho\ .\ De}$ $= \frac{2 \times 0{,}0724 \times (25{,}2043)^2 \times 29 \times 0{,}0032}{0{,}5524 \times 0{,}0042}$ = 3.679,3389 N/m^2 = 0,0323 psia
8. $\Delta P_T = \Delta P_h + \Delta P_p$ = 1,9831 psia	8'. $\Delta P_T = \Delta P_C + \Delta P_p$ = 0,1194 psia

Ringkasan perhitungan

	Fluida panas (*saturated steam*)	**Fluida dingin (susu 4^{o}C)**
h, W/m^2.°K	730,7735	4.378,1903
ΔP *calculated*, psia	1,9831	0,1194
U_C, W/m^2.°K	398,6099	
U_D, W/m^2.°K	131,4633	
Rd *calculated*, m^2.°K/W	0,003	

SPESIFIKASI

Tebal bahan plat, δ : 0,0005 m

HPCD : 0,26 m

VPCD : 1,04 m

Port nozzle, D : 0,075 m

Compressed pitch : 0,0032 m/*plate*.

projected area, A_p : 0,27 m^2

developed area, A_d : 0,35 m^2

Jumlah plat, n : 29

Bahan konstruksi : *stainless steel*

Tipe : gasket

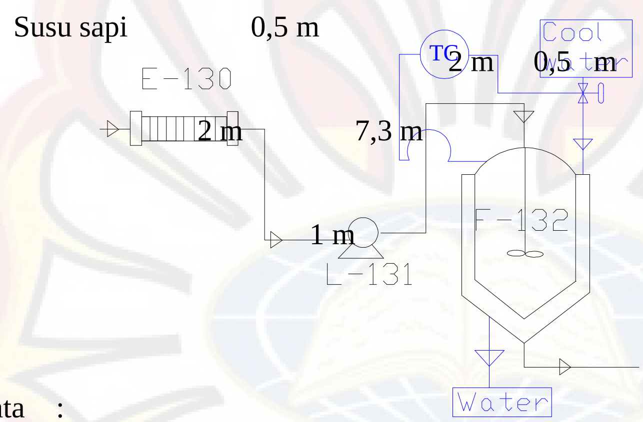
Jenis *plate* : HM

18. Pompa (L-131)

Fungsi : untuk mengalirkan susu pasteurisasi dari *Plate Heat Exchanger* (E-130) ke tangki penampung susu pasteurisasi (F-132).

Tipe : *centrifugal pump*

Gambar :



Data :

T_{susu} = 72°C

Massa susu segar 72°C $_{masuk}$ = 37.816,60 kg/batch = 37.816,60 kg/jam

ρ susu (72°C) = 1033,7- 0,2308T – 0,00246 T^2 [13]

= 1.004,3298 kg/m^3 = 62,6981 lbm/ft^3

Viskositas = 0,000644 kg/m.s = 0,0004 lb/ft.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{37.816{,}60\ kg/jam}{1.004{,}3298\ kg/m^3}$ = 37,6536 m^3/jam = 0,0105 m^3/s

= 0,3694 ft^3/s

Laju susu segar masuk (m) = 0,0105 m^3/s x 1.004,3298 kg/m^3 = 10,5046 kg/s

Perhitungan Diameter Pompa

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

$Di,opt = 3{,}9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13}$ [21]

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt = 3,9 . (0, 3694) ^{0,45}. (62,6981) ^{0,13} = 4,2664 inch ≈ 4,026 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 4 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 4,026 inch = 0,3355 ft = 0,1023 m

A = 0,0884 ft^2

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0{,}3694\ ft^3/s}{0{,}0884\ ft^2}$ = 4,1783 ft/s = 1,2736 m/s

$N_{Re} = \frac{\rho \times v \times ID}{\mu}$

$= \frac{62{,}6981 \frac{lbm}{ft^3} \times 4{,}1783 \frac{ft}{s} \times 0{,}3355\ ft}{0{,}0004\ lb/ft.s}$

= 203.100,4219 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, $\alpha = 1$

FRIKSI

- *Sudden contraction*

$A_{pipa} <<< A_{tangki}$

$Kc = 0{,}55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right)$ [17, Eq. 2.10-16]

$A_{pipa}/A_{tangki} = 0$, karena A_{tangki} (A_1) jauh lebih besar dibanding A_{pipa} (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

$hc = Kc \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha}$ = 0,55 x (1-0) x $\frac{(1{,}2736)^2}{2.1}$ = 0,4460 J/kg

- *Sudden enlargement*

$hex = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \frac{v^2}{2\alpha}$ = $(1\text{-}0)^2$ x $\frac{(1{,}2736)^2}{2.1}$ = 0,8110 J/kg

- Friksi pada pipa lurus

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

$\varepsilon = 4{,}6.10^{-5}$ m

harga $\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4{,}6.10^{-5}\ m}{0{,}1023\ m} = 0{,}0004 \rightarrow f = 0{,}005$ [17, Fig.2.10-3]

$\Delta L = (0{,}5 + 2 + 1 + 7{,}3 + 2 + 0{,}5)\ m = 13{,}3\ m$

$F_f = 4f\ x\ \frac{\Delta L}{ID}\ x\ \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

$= 4 \times 0{,}005 \times \frac{13{,}3\ m}{0{,}1023\ m}\ x\ \frac{(1{,}2736\ m/s)^2}{2} = 2{,}1095$ J/kg

- <u>Friksi pada *elbow*</u>

Jumlah *elbow* 90^o = 5 buah

Kf *elbow* 90^o = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

$Hf = K_f\ x\ \frac{v^2}{2} = 0{,}75 \times \frac{(1{,}2736)^2}{2} = 0{,}6082$ J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 5 buah, maka = 5 x 0,6082 J/kg = 3,0412 J/kg

- <u>Friksi pada *globe valve*</u>

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

$hf = K_f\ x\ \frac{v^2}{2} = 6 \times \frac{(1{,}2736)^2}{2} = 4{,}8660$ J/kg

Σfriksi = (0,4460 + 0,8110 + 2,1095 + 3,0412 + 4,8660)

= 11,2737 J/kg

<u>Power Pompa</u>

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 1,2736 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$z_2 - z_1$ = 6,2995 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

$P_1 = P_2$ = 1 atm

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2 \times 1}(1{,}2736 - 0)^2 + 9{,}8 \text{ m/s}^2 (6{,}2995) \text{ m} + 0 + 11{,}2737 \text{ J/kg}$$

$$= 73{,}8202 \text{ J/kg}$$

Ws = -73,8202 J/kg

Dengan Q = 37,6536 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 70% [21, Fig. 13-37]

$$\text{Brake Hp} = -\frac{Ws \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-73{,}8202 \text{ J/kg} \times 10{,}5046 \text{ kg/s}}{0{,}7 \times 550} = 2{,}0142 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

$$\text{Power motor} = \frac{2{,}0142}{0{,}8} = 2{,}5177 \text{ Hp} = 3 \text{ Hp}$$

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 37,6536 m^3/jam = 0,3694 ft^3/s

Ukuran pipa : 4 in *schedule* 40

Power pompa : 3 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

19. Tangki Penampungan Susu Pasteurisasi (F-132)

Fungsi : sebagai tempat penyimpanan susu sementara dan untuk menurunkan suhu susu dari 72^{o}C menjadi 55^{o}C.

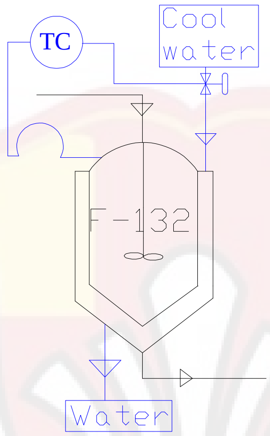
Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis dilengkapi dengan jaket pendingin dan agitator.

Kondisi operasi :

- T_{in} = 72^{o}C

- $T_{out} = 55^oC$
- Tekanan 1 atm
- Waktu tinggal

Gambar :



Data :

Massa susu masuk = 37.816,60 kg/batch

ρ susu (72^{o}C) = 1033,7- 0,2308T – 0,00246 T^2 [13]

= 1.004,3298 kg/m^3 = 62,6981 lbm/ft^3

Volume susu (bahan) = $\frac{massa\ susu}{rho\ susu}$ = $\frac{37.816,60\ kg}{1.004,3298\ kg/m^3}$ = 37,6536 m^3

<u>Ditetapkan untuk dimensi tangki:</u>

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.
3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]
4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$
5. Volume ruang kosong = 80% volume tangki

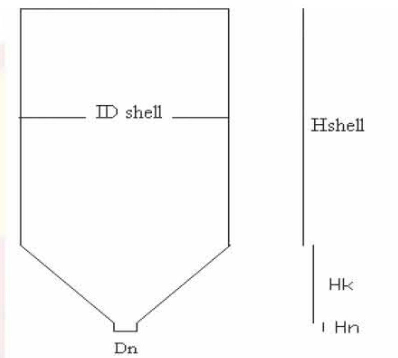
<u>Volume Tangki:</u>

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 37,6536 + 0,2 Volume tangki

Volume tangki = 47,0670 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

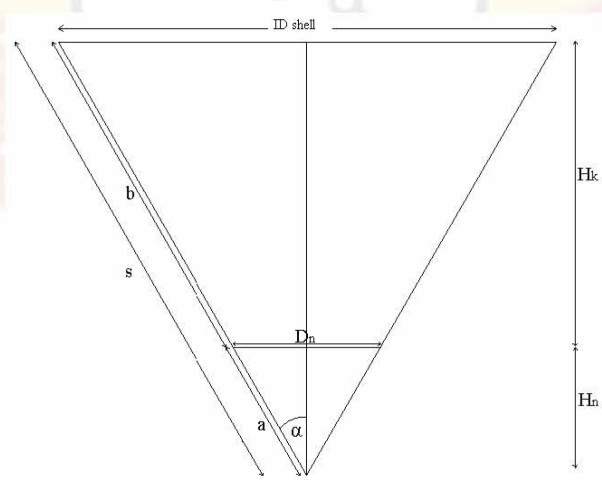
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* $= \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

Hn = $\frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan Hk = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha}$ - Hn = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$47{,}0670\ m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$47{,}0670\ m^3 = 1{,}1775\ ID_{shell}{}^3 + 0{,}2266\ ID_{shell}{}^3 - 0{,}0019$

$47{,}0689\ m^3 = 1{,}4041\ ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 3,2244 m = 10,5785 ft = 126,9432 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 3,2244 m = 4,8365 m = 15,8677 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30}$ = 0,1760 m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(3{,}2244 - 0{,}2302)\ m}{2\ tg\ 30}$ = 2,6164 m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (4,8365 + 2,6164) m = 7,4530 m = 24,4517 ft

a $= \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0{,}2302}{2}\right)^2 + 0{,}1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s $= \sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{3{,}2244}{2}\right)^2 + (2{,}6164 + 0{,}1760)^2}$

= 3,2244 m = 10,5785 ft

b = s – a = (3,2244 – 0,2032) m = 3,0212 m = 9,9118 ft

Tinggi Larutan dalam Tangki

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

$37{,}6536\ m^3 \quad = \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$37{,}6536\ m^3 \quad = \frac{\pi}{4}\ x\ 3{,}2244^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (3{,}2244^3 - 0{,}2302^3)$

$H_{larutan}$ = 3,6831 m = 12,0836 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (3,6831 + 2,6164) m = 6,2995 m = 20,6675 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik $= \frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

$= \frac{62{,}6981 \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 20{,}6675\ ft}{144}$ = 8,9987 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 8,9987) psia = 23,6987 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 23,6987 psia = 28,4384 psia = 1,9346 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

$t_s \quad = \frac{P\ x\ D}{2\ x\ f\ x\ E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$t_{shell} = \frac{28{,}4384\ psia\ x\ 126{,}9432\ in}{2\ x\ 23.000\ x\ 0{,}8} + 0{,}125\ in$

= 0,2231 in → standarisasi 4/16 in

Tebal Tutup Konis

Tebal alas $= \frac{P \times D}{2 \cos \alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$

$= \frac{28{,}4384\ psia \times 126{,}9432\ in}{2 \cos 30\ (23.000\ psia \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 28{,}4384\ psia)} + 0{,}125\ in$

= 0,2384 in → standarisasi 4/16 in

Agitator

Ditetapkan untuk agitator:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *Flat six-blade open turbine.* Viskositas dari susu adalah 0,0009 kg/m.s (Pa.s) sedangkan syarat viskositas untuk agitator jenis turbin adalah μ = 0-500 Pa.s, sehingga jenis agitator ini dapat digunakan [19, Tabel 4.16].
2. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

Dari Tabel 3.4-1 [17, p.158] diperoleh:

$\frac{Da}{Dt}$ = 0,3 – 0,5 $\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$ $\frac{H}{Dt}$ = 1

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

Dimana: Da = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$\frac{Da}{Dt}$ = 0,4 → D_a = 0,4 D_t = 0,4 . 3,2244 m = 1,2897 m

2. Lebar *blade* (W)

$\frac{W}{D_a} = 0{,}2 \rightarrow W = 0{,}2\ D_a = 0{,}2\ .\ 1{,}2897\ m = 0{,}2579\ m$

3. Panjang *blade* (L)

$\frac{L}{D_a} = 0{,}25 \rightarrow L = 0{,}25\ D_a = 0{,}25\ .\ 1{,}2897\ m = 0{,}3224\ m$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3}\ D_t = \frac{1}{3}\ .\ 3{,}2244\ m = 1{,}0748\ m$

5. Lebar *buffle* (J)

$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12}\ .\ D_t = \frac{1}{12}\ .\ 3{,}2244\ m = 0{,}2687\ m$

<u>Perhitungan kecepatan pengadukan:</u>

Syarat [20, p. 238, dan 21]:

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm
- Kecepatan keliling putaran (periperal) pengaduk turbin = 200-250 m/menit.

Trial 1 : N = 75 rpm = 1,25 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 1{,}2897\ m \times 75\ rpm$

= 303,7352 m/menit → **Tidak memenuhi syarat**

Trial 2 : N = 50 rpm = 0,8333 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 1{,}2897\ m \times 50\ rpm$

= 202,4901 m/menit → **Memenuhi syarat**

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [17, p.158]:

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

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

$N_{Re} = \frac{1004,3298 \times 0,8333 \times (1,2897)^2}{0,0009}$ = 1.546.895,3093 → **Turbulen**

Nilai Np dapat dicari dari literatur [17, Fig. 3.4-5]

untuk nilai N_{Re} = 1.546.895,3093 dan untuk jenis *Flat six-blade open turbine* maka didapatkan nilai Np = 2,15

P = $Np \, x \, \rho \, x \, N^3 x Da^5$ [17, p.159]

P = 2,15 × 1.004,3298 kg/m^3 × $(0,8333)^3$ × $(1,2897 \text{ m})^5$

P = 4.459,5591 W = 4,4596 kW = 5,9804 Hp

Effisiensi motor = 80%

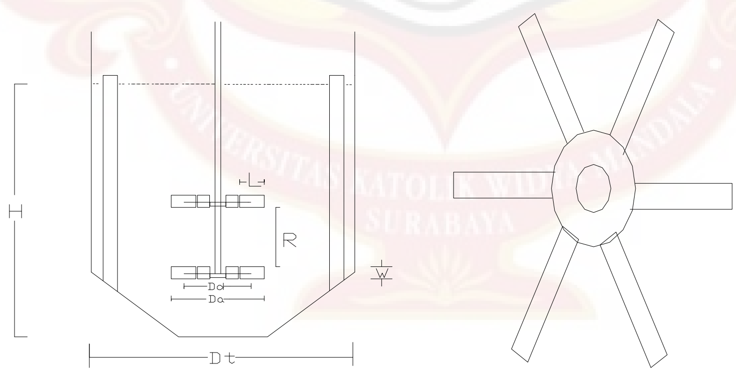
P = $\frac{5,9804}{0,8}$ = 7,4755 Hp = 7 Hp

Sg bahan masuk = $\frac{\rho_{larutan}}{\rho_{air}} = \frac{1004,3298 \; kg/m^3}{1000 \; kg/m^3}$ = 1,0043

Jumlah pengaduk = $\frac{Sg \times H_{shell}}{ID_{shell}} = \frac{1,0043 \times 4,8365 \; m}{3,2244 \; m}$ = 1,5065 ≈ 2 buah

Jarak pengaduk (R) = (Tinggi larutan dalam tangki – C) / 3

= (6,2995 – 1,0748) / 3 = 1,7416 m



Gambar Tangki dan Agitator

Jaket Pendingin

Suhu dalam tangki susu pasteurisasi diajaga 55°C

Agen pendingin yang digunakan adalah air dengan T = 30°C, 1 atm

dimana : entalpi sat'd vapor (hg) = 2556,3 kJ/kg

entalpi liquid (hf) = 125,79 kJ/kg

spesifik volume = 32,894 m^3/kg

ρ = (spesifik volume)$^{-1}$ = (32,894 m^3/kg)$^{-1}$ = 0,0304 kg/m^3

λ (panas laten) air = hg - hf = 2.430,51 kJ/kg

Q yang diserap = 4.234.869,0573 kJ/hari

= 167.244,4007 btu/h

Massa air pendingin = $\frac{4.234.869,0573\ kJ/hari}{2.430,51\ kJ/kg}$ = 1.742,3788 kg/hari

Laju volumetrik air pendingin yang diperlukan = $\frac{1.742,3788\ kg/hari}{0,0304\ kg/m^3}$

= 57.313,8077 m^3/hari

= 0,6634 m^3/s

Tebal shell = 4/16 in = 0,0057 m

Diameter luar (OD) shell = Dt + 2 x tebal shell = 3,2357 m

Diambil spasi jaket = 1 in = 0,025 m

ID jaket = OD shell + 2 x spasi jaket

= 3,2357 + 2 x 0,025 m = 3,2865 m

Laju volumetrik = A x v

$$0,6634\ m^3/s = \frac{\pi}{4} \times [(\text{ID jaket})^2 - (\text{OD shell})^2] \times v$$

$$0,6634\ m^3/s = \frac{\pi}{4} \times [(3,2865)^2 - (3,2357)^2] \text{ x } v$$

v = 2,5505 m/s = 8,3675 ft/s

Perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi dari pemanas menuju liquid dalam tangki (hj):

$$hjh = \frac{j \times k}{D_j} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k}\right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_W}\right)^{0,14} \quad [26]$$

di mana: hj = koefisien perpindahan panas konveksi

j = faktor perpindahan panas Sieder-Tate

k = konduktivitas termal (72^{o}C) = 0,3663 Btu/h.ft.°F

Dj = diameter tangki = 10,5785 ft

Cp = kapasitas panas = 0,9513 btu/lb.°F

μ = viskositas fluida = 1,5579 lbm/ft h

μ_w = viskositas fluida pada suhu T_w = 1,5579 lbm/ft h

Faktor perpindahan panas Sieder-Tate didapat dengan perhitungan:

$$N_{Re,j} = \frac{L^2 \times N \ \rho}{\mu} \quad [26, p.718]$$

dimana : L = panjang pengaduk, ft = 1,0578 ft

N = putaran pengaduk, rph = 3000 rph

μ = viskositas, lb/ft.h = 0,0009 kg/m.s = 2,1772 lb/ft.h

ρ = densitas, lb/ft^3 = 62,6981 lb/ft^3

sehingga didapatkan:

$$N_{Re} = \frac{(1,0578)^2 \ x \ 3000 \ x \ 62,6981}{2,1772} = 96.678,2009$$

Untuk jaket, J_h = 800 [26, fig. 20.2]

Koefisien perpindahan panas konveksi :

$$hj = \frac{j \times k}{D_j} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k}\right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_W}\right)^{0,14}$$

$$= \frac{800 \ x \ 0,3663}{10,5785} \ x \ \left(\frac{0,9513 \ x \ 1,5579}{0,3663}\right)^{1/3} \ x \ \left(\frac{1,5579}{1,5579}\right)^{0,14}$$

= 44,1430 btu/h.ft^2.°F

Perhitungan tinggi jaket pemanas:

hio = 2300 btu/h.ft^2.^{o}F [26, p.835]

$$U_C = \frac{h_j \times h_{io}}{h_j + h_{io}}$$

$$= \frac{44{,}1430 \ x \ 2300}{44{,}1430 + 2300} = 43{,}3117 \text{ btu/h.ft}^2.°F$$

Diambil faktor kekotoran gabungan, Rd = 0,003

$$U_d = \left(\frac{1}{U_C} + R_d\right)^{-1}$$

$$= \left(\frac{1}{43{,}3117} + 0{,}003\right)^{-1} = 38{,}3312$$

Ketinggian jaket dapat dihitung dengan persamaan

$$Q = Ud \ A \Delta T \quad [53, p. 720]$$

Q = 167.244,4007 btu/h

U_d = 38,3312

T_1 = 55^{o}C = 131^{o}F

T_2 = 30^{o}C = 86^{o}F

ΔT = 45^{o}F

167.244,4007 = 38,3312 x A x 45

A = 96,9588 ft^2 = 9,0080 m^2

A = luas jaket pada shell + luas jaket pada konis

A = π . OD shell . H jaket

9,0080 m^2 = π x 3,2357 m x H jaket

H jaket = 0,8866 m

Tinggi jaket 0,8866 m, terlalu kecil dibandingkan dengan tinggi bahan dalam tangki, sehingga tidak akan dapat mempengaruhi suhu dalam tangki. Untuk itu, ditetapkan untuk tinggi jaket sama dengan tinggi bahan dalam tangki, yaitu 6,2995 m.

Diambil tebal jaket = tebal konis = 4/16 in = 0,25 in = 0,0064 m

OD jaket = ID jaket + 2 . tebal jaket

= 3,2865 + 2 (0,0064) = 3,2992 m

SPESIFIKASI

Kapasitas : 47,0670 m^3

ID_{shell} : 3,2244 m

H_k : 2,6164 m

H_{shell} : 4,8365 m

H total : 7,4530 m

Tebal *shell* : 4/16 in

Tebal *head* : 4/16 in

Tebal konis : 4/16 in

Jenis pengaduk : *Flat six-blade open turbine*

Diameter pengaduk (Da) : 1,2897 m

Jarak dasar tangki ke pengaduk (C): 1,0748 m

Panjang *blade* (L) : 0,3224 m

Lebar *baffle* (J) : 0,2687 m

Lebar *blade* (W) : 0,2579 m

Jarak pengaduk (R) : 1,7416 m

Jumlah pengaduk : 2 buah

Power : 7 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

Diameter dalam jaket : 3,2865 m

Tebal jaket : 0,0064 m

Diameter luar jaket : 3,2992 m

Tinggi jaket : 6,2995 m

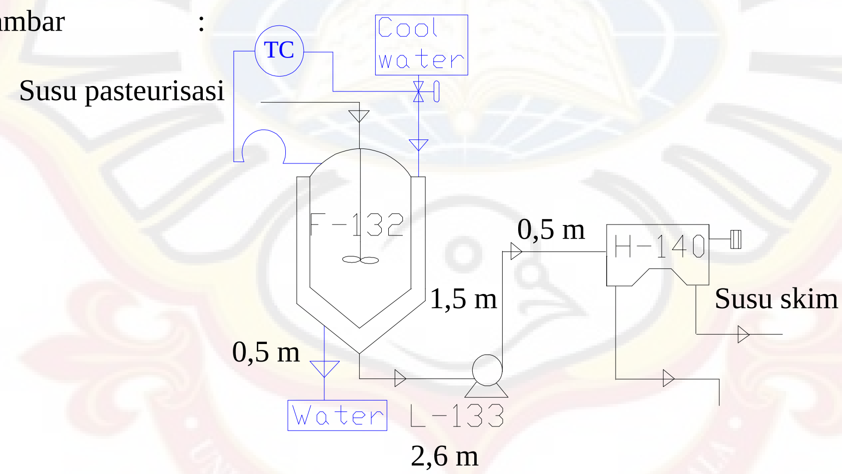
Jumlah tangki : 1 buah

20. Pompa (L-133)

Fungsi : untuk mengalirkan susu pasteurisasi dari Tangki Penampungan Susu Pasteurisasi (F-132) ke *Centrifugal separator* (H-140).

Tipe : *centrifugal pump*

Gambar :



Data:

T_{susu} = 55°C

Massa susu segar 55°C $_{masuk}$ = 37.816,60 kg/batch = 37.816,60 kg/jam

ρ susu (55°C) = 1033,7- 0,2308T – 0,00246 T^2 [13]

= 1.013,5645 kg/m^3 = 63,2746 lbm/ft^3

Viskositas (55°C) = 0,000712 kg/m.s = 0,0005 lb/ft.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{37.816,60\ kg/jam}{1.013,5645\ kg/m^3}$ = 37,3105 m^3/jam = 0,0104 m^3/s

= 0,3660 ft^3/s

Laju susu segar masuk (m) = 0,0104 m^3/s x 1.032,7374 kg/m^3 = 10,5046 kg/s

Perhitungan Diameter Pompa

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

$Di,opt = 3,9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13}$ [21]

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt = 3,9 . (0, 3660) ^{0,45}. (63,2746) ^{0,13} = 4,2539 inch ≈ 4,026 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 4 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 4,026 inch = 0,3355 ft = 0,1023 m

A = 0,0884 ft^2

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0,3660\ ft^3/s}{0,0884\ ft^2}$ = 4,1403 ft/s = 1,2620 m/s

$N_{Re} = \frac{\rho\ x\ v\ x\ ID}{\mu}$

$= \frac{63,2746 \frac{lbm}{ft^3} x\ 4,1403 \frac{ft}{s} x\ 0,3355\ ft}{0,000712\ lb/ft.s}$

= 183.703,1906 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, α = 1

FRIKSI

- ***Sudden contraction***

A_{pipa} <<< A_{tangki}

$Kc = 0,55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right)$ [17, Eq. 2.10-16]

A_{pipa}/A_{tangki} = 0 , karena A_{tangki} (A_1) jauh lebih besar dibanding A_{pipa} (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

hc = Kc × $\left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)$ x $\frac{v^2}{2\alpha}$ = 0,55 x (1-0) x $\frac{(1{,}2620)^2}{2.1}$ = 0,4380 J/kg

➢ *Sudden enlargement*

hex = $\left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2$ x $\frac{v^2}{2\alpha}$ = $(1\text{-}0)^2$ x $\frac{(1{,}2620)^2}{2.1}$ = 0,7963 J/kg

➢ Friksi pada pipa lurus

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

ε = $4{,}6.10^{-5}$ m

harga $\frac{\varepsilon}{ID}$ = $\frac{4{,}6.10^{-5}\ m}{0{,}1023\ m}$ = 0,0004 → f = 0,005 [17, Fig.2.10-3]

ΔL = (0,5 + 2,6 + 1,5 + 0,5) m = 5,1 m

F_f = $4f\ x\ \frac{\Delta L}{ID}\ x\ \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

= 4 x 0,005 x $\frac{5{,}1\ m}{0{,}1023\ m}$ x $\frac{(1{,}2620\ m/s)^2}{2}$ = 0,8020 J/kg

➢ Friksi pada *elbow*

Jumlah *elbow* 90° = 3 buah

Kf *elbow* 90° = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

Hf = $K_f\ x\ \frac{v^2}{2}$ = 0,75 x $\frac{(1{,}2620)^2}{2}$ = 0,5972 J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 3 buah, maka = 3 x 0,5972 J/kg = 1,7916 J/kg

➢ Friksi pada *globe valve*

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

hf = $K_f\ x\ \frac{v^2}{2}$ = 6 x $\frac{(1{,}2620)^2}{2}$ = 4,7777 J/kg

Σfriksi = (0,4380 + 0,7963 + 0,8020 + 1,7916 + 4,7777)

= 8,6065 J/kg

Power Pompa

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 1,2620 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$z_2 - z_1$ = 1,5 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

$P_1 = P_2$ = 1 atm

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2 \times 1}(1{,}2620 - 0)^2 + 9{,}8 \text{ m/s}^2 (1{,}5) \text{ m} + 0 + 8{,}6065 \text{ J/kg}$$

= 24,1019 J/kg

Ws = -24,1019 J/kg

Dengan Q = 37,3105 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 69% [21, Fig. 13-37]

$$\text{Brake Hp} = -\frac{Ws \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-24{,}1019 \text{ J/kg} \times 10{,}5046 \text{ kg/s}}{0{,}69 \times 550} = 0{,}6671 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

$$\text{Power motor} = \frac{0{,}6671}{0{,}8} = 0{,}8339 \text{ Hp} = 1 \text{ Hp}$$

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 37,3105 m^3/jam = 0,3660 ft^3/s

Ukuran pipa : 4 in *schedule* 40

Power pompa : 1 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

21. Centrifugal Separator (H-140)

Fungsi : Memisahkan lemak susu dari susu sapi yang telah dipasteurisasi.

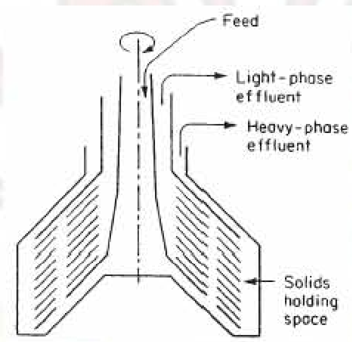
Tipe : Disk

Dasar pemilihan : Dapat digunakan untuk memisahkan lemak susu dari cairan susu, sehingga didapatkan susu skim dan lemak susu.

Kondisi operasi : 50°C

Jumlah : 1 buah

Gambar :



Perhitungan :

Laju susu masuk = 37.816,60 kg/batch

ρ susu 50°C = 1.016,0100 kg/m^3

Waktu operasi = 12 jam/batch

Kapasitas $= \frac{37.816,60\ kg/batch}{1.016,0100\ kg/m^3} \times \frac{1\ batch}{720\ menit}$

= 0,0517 m^3/menit = 13,6564 gal/menit

Dipilih centrifuge dengan spesifikasi sebagai berikut [25, Tbl. 18-12]:

Tipe : Disk

Bowl diameter, in : 13

Speed, rpm : 7.500

Maks. Centrifugal x gravity : 10.400

Kapasitas : liquid 5-50 gpm

Power : 6 Hp

22. Tangki Penampungan Susu Skim (F-141)

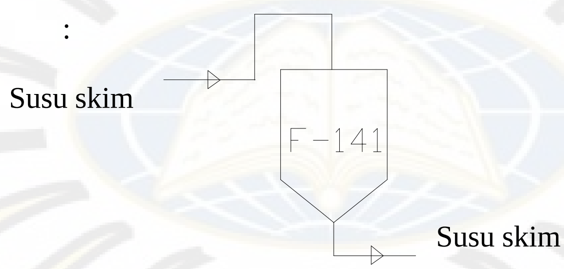
Fungsi : sebagai tempat penyimpanan susu skim sementara setelah dilakukan proses pemisahan lemak.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis.

Kondisi operasi :

- T = 50^oC
- Tekanan 1 atm

Gambar :



Data :

Massa susu masuk = 36.370,85 kg/batch

ρ susu (50^oC) = 1033,7- 0,2308T – 0,00246 T^2 [13]

= 1.016,0100 kg/m^3 = 63,4273 lbm/ft^3

Volume susu (bahan) = $\frac{massa\ susu}{rho\ susu}$ = $\frac{36.370,85\ kg}{1.016,0100\ kg/m^3}$ = 35,7977 m^3

Ditetapkan untuk dimensi tangki:

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.

3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]

4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$

5. Volume ruang kosong = 90% volume tangki

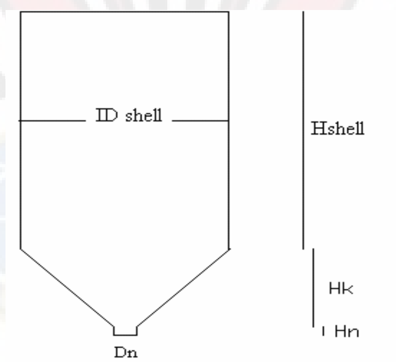
<u>Volume Tangki:</u>

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 35,7977 + 0,1 Volume tangki

Volume tangki = 39,7753 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

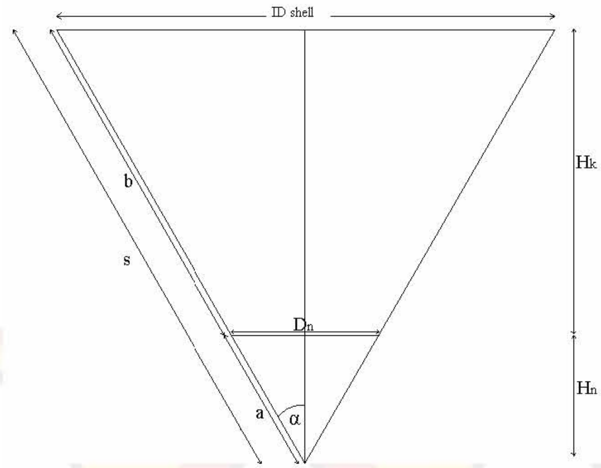
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* = $\frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^{\ 2}\ x\ H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^{\ 3}$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

Hn = $\frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan Hk = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha}$ - Hn = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$39,7753\ m^3 = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$39,7753\ m^3 = 1,1775\ ID_{shell}{}^3 + 0,2266\ ID_{shell}{}^3 - 0,0019$

$39,7772\ m^3 = 1,4041\ ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 3,0484 m = 10,0013 ft = 120,0170 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 3,0484 m = 4,5727 m = 15,0020 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0,2302\ m}{2\ tg\ 30}$ = 0,1760 m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(3,0484 - 0.2302)\ m}{2\ tg\ 30}$ = 2,4641 m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (4,5727 + 2,4641) m = 7,0367 m = 23,0860 ft

a = $\sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2302}{2}\right)^2 + 0,1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s = $\sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{3,0484}{2}\right)^2 + (2,4641 + 0,1760)^2}$

= 3,0484 m = 10,0013 ft

b = s – a = (3,0484 – 0,2032) m = 2,8452 m = 9,3347 ft

Tinggi Larutan dalam Tangki

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

$35,7977\ m^3 = \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$35,7977\ m^3 = \frac{\pi}{4}\ x\ 3,0484^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (3,0484^3 - 0,2302^3)$

$H_{larutan}$ = 4,0274 m = 13,2132 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (4,0274 + 2,4641) m = 6,4915 m = 21,2972 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik = $\frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

= $\frac{63,4273 \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 21,2972\ ft}{144}$ = 9,3807 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 9,3807) psia = 24,0807 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 24,0807 psia = 28,8969 psia = 1,9658 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

$t_s = \frac{P\ x\ D}{2\ x\ f\ x\ E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$$t_{shell} = \frac{28{,}8969\ psia \times 120{,}0170\ in}{2 \times 23.000 \times 0{,}8} + 0{,}125\ in$$

= 0,2192 in → standarisasi 4/16 in

<u>Tebal Tutup Konis</u>

$$\text{Tebal alas} = \frac{P \times D}{2 \cos\alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$$

$$= \frac{28{,}8969\ psia \times 120{,}0170\ in}{2 \cos\ 30\ (23.000\ psia \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 28{,}8969\ psia)} + 0{,}125\ in$$

= 0,2339 in → standarisasi 4/16 in

SPESIFIKASI

Kapasitas : 39,7753 m^3

ID_{shell} : 3,0484 m

H_k : 2,4641 m

H_{shell} : 4,5727 m

H total : 6,4915 m

Tebal *shell* : 4/16 in

Tebal *head* : 4/16 in

Tebal konis : 4/16 in

Jumlah tangki : 1 buah

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

23. Tangki Penampungan Lemak (F-142)

Fungsi : sebagai tempat penyimpanan lemak setelah dilakukan proses pemisahan lemak.

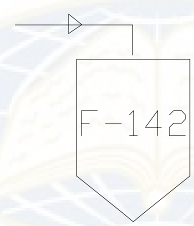
Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis.

Kondisi operasi :

- $T = 50^oC$
- Tekanan 1 atm

Gambar :

Lemak susu



Data :

Massa lemak masuk = 1.445,75 kg/batch

ρ susu (50°C) = $1033,7 - 0,2308T - 0,00246\ T^2$ [13]

= 1.016,0100 kg/m^3 = 63,4273 lbm/ft^3

ρ air (50°C) = 988,07 kg/m^3 [17, App A.2.3]

Untuk menentukan ρ lemak, maka diasumsi bahwa fraksi massa (x) air = fraksi massa (x) komposisi susu selain lemak, dan menggunakan rumus dibawah ini:

$$\frac{1}{\rho_{susu}} = \frac{x_{air}}{\rho_{air}} + \frac{x_{lemak}}{\rho_{lemak}}$$

Komposisi dari susu (App A, hal. A.1), dapat dilihat bahwa:

$x_{air} = x_{komposisi\ susu\ selain\ lemak} = 0,961$

x_{lemak} = 0,039

$$\frac{1}{1.016,0100\ kg/m^3} = \frac{0,961}{988,07\ kg/m^3} + \frac{0,039}{\rho_{lemak}}$$

ρ lemak (50°C) = 3.350,7672 kg/m^3

Volume lemak (bahan) = $\frac{massa\ lemak}{rho\ lemak} = \frac{1.445,75\ kg}{3.350,7672\ kg/m^3}$ = 0,4315 m^3

Ditetapkan untuk dimensi tangki:

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.
3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]
4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$
5. Volume ruang kosong = 90% volume tangki

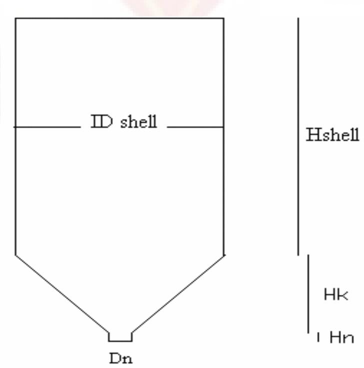
Volume Tangki:

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 0,4315 + 0,1 Volume tangki

Volume tangki = 0,4794 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

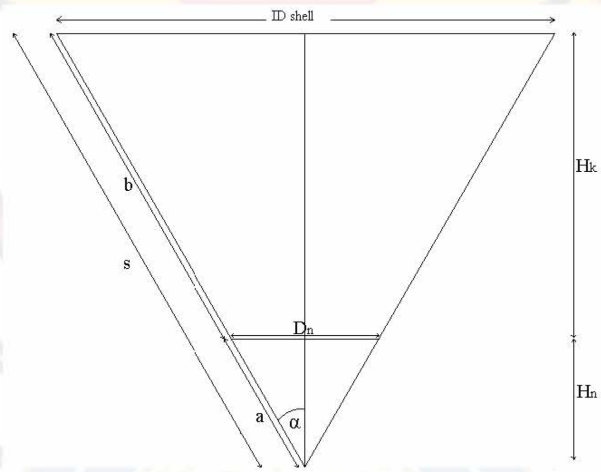
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* $= \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

$Hn = \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan $Hk = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - Hn = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$0,4794\ m^3 = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$0,4794\ m^3 = 1,1775\ ID_{shell}{}^3 + 0,2266\ ID_{shell}{}^3 - 0,0019$

$0,4813\ m^3 = 1,4041\ ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 0,6999 m = 2,2961 ft = 27,5533 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 0,6999 m = 1,0498 m = 3,4441 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30} = 0{,}1760$ m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(0{,}6999 - 0{,}2302)\ m}{2\ tg\ 30} = 0{,}4301$ m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (1,0498 + 0,4301) m = 1,4799 m = 4,8553 ft

a $= \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0{,}2302}{2}\right)^2 + 0{,}1760^2} = 0{,}2032$ m = 0,6667 ft

s $= \sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{0{,}6999}{2}\right)^2 + (0{,}4301 + 0{,}1760)^2}$

= 0,6999 m = 2,2961 ft

b = s – a = (0,6999 – 0,2032) m = 0,4967 m = 1,6294 ft

<u>Tinggi Larutan dalam Tangki</u>

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

$0{,}4315\ m^3 = \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$0{,}4315\ m^3 = \frac{\pi}{4}\ x\ 0{,}6999^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (0{,}6999^3 - 0{,}2302^3)$

$H_{larutan}$ = 0,9251 m = 3,0351 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (0,9251 + 0,4301) m = 1,3552 m = 4,4462 ft

<u>Tekanan Operasi Tangki</u>

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik $= \frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

$= \frac{209{,}1811 \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 4{,}4462\ ft}{144} = 6{,}4587$ psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 6,4587) psia = 21,1587 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 21,1587 psia = 25,3905 psia = 1,7272 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

$$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$$t_{shell} = \frac{25{,}3905\ psia \times 27{,}5533\ in}{2 \times 23.000 \times 0{,}8} + 0{,}125\ in$$

= 0,1440 in → standarisasi 2/16 in

Tebal Tutup Konis

$$\text{Tebal alas} = \frac{P \times D}{2 \cos\alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$$

$$= \frac{25{,}3905\ psia \times 27{,}5533\ in}{2 \cos 30\ (23.000\ psia \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 25{,}3905\ psia)} + 0{,}125\ in$$

= 0,1470 in → standarisasi 2/16 in

SPESIFIKASI

Kapasitas : 0,4794 m^3

ID_{shell} : 0,6999 m

H_k : 0,4301 m

H_{shell} : 1,0498 m

H total : 1,4799 m

Tebal *shell* : 2/16 in

Tebal *head* : 2/16 in

Tebal konis : 2/16 in

Jumlah tangki : 1 buah

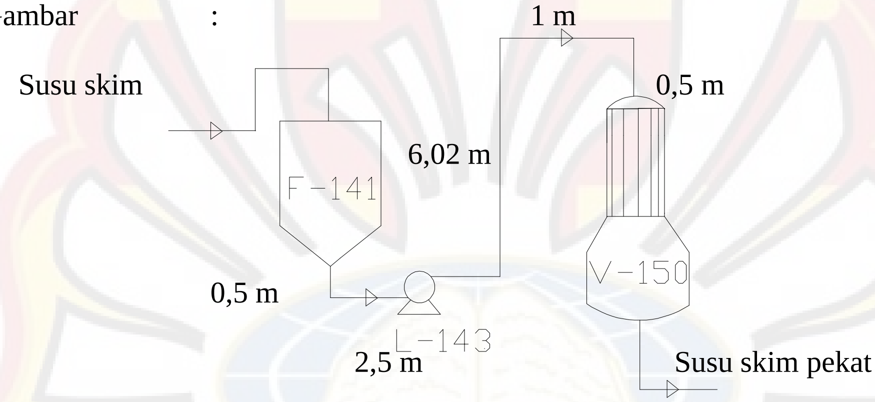
Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

12. Pompa (L-143)

Fungsi : untuk mengalirkan susu skim dari Tangki Penampungan Susu Skim (F-141) ke *Falling Film Evaporator* (V-150).

Tipe : *centrifugal pump*

Gambar :



Data:

T_{susu} = 50°C

Massa susu segar 50°C $_{masuk}$ = 36.370,85 kg/batch = 36.370,85 kg/jam

ρ susu (50°C) = 1033,7- 0,2308T – 0,00246 T^2 [13]

= 1.016,0100 kg/m^3 = 63,4273 lbm/ft^3

Viskositas (50°C) = 0,000732 kg/m.s = 0,0005 lb/ft.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{36.370,85 \text{ kg/jam}}{1.016,0100 \text{ kg/m}^3}$ = 35,7977 m^3/jam = 0,0099 m^3/s

= 0,3512 ft^3/s

Laju susu segar masuk (m) = 0,0099 m^3/s x 1.016,0100 kg/m^3 = 10,1030 kg/s

<u>Perhitungan Diameter Pompa</u>

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

$Di,opt = 3,9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13}$ [21]

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt = 3,9 . (0, 3512) ^{0,45}. (63,4273) ^{0,13} = 4,1767 inch ≈ 4,026 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 4 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 4,026 inch = 0,3355 ft = 0,1023 m

A = 0,0884 ft^2

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0,3512\ ft^3/s}{0,0884\ ft^2}$ = 3,9724 ft/s = 1,2108 m/s

$N_{Re} = \frac{\rho \times v \times ID}{\mu}$

$= \frac{63,4273 \frac{lbm}{ft^3} \times 3,9724 \frac{ft}{s} \times 0,3355\ ft}{0,000732\ lb/ft.s}$

= 171.852,7883 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, α = 1

FRIKSI

➢ *Sudden contraction*

$A_{pipa} <<< A_{tangki}$

$Kc = 0,55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right)$ [17, Eq. 2.10-16]

$A_{pipa}/A_{\ tangki}$ = 0 , karena $A_{\ tangki}$ (A_1) jauh lebih besar dibanding $A_{\ pipa}$ (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

$hc = Kc \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) x\ \frac{v^2}{2\alpha}$ = 0,55 x (1-0) x $\frac{(1,2108)^2}{2.1}$ = 0,4032 J/kg

➢ *Sudden enlargement*

$hex = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2 x\ \frac{v^2}{2\alpha}$ = $(1\text{-}0)^2$ x $\frac{(1,2108)^2}{2.1}$ = 0,7330 J/kg

➢ Friksi pada pipa lurus

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

ε = 4,6.10^{-5} m

harga $\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4{,}6.10^{-5}\ m}{0{,}1023\ m}$ = 0,0004 → f = 0,005 [17, Fig.2.10-3]

ΔL = (0,5 + 2,5 + 6,02 + 1 + 0,5) m = 10,52 m

$F_f = 4f\ x\ \frac{\Delta L}{ID}\ x\ \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

$= 4 \times 0{,}005 \times \frac{10{,}52\ m}{0{,}1023\ m}\ x\ \frac{(1{,}2108\ m/s)^2}{2} = 1{,}5082$ J/kg

➢ <u>Friksi pada *elbow*</u>

Jumlah *elbow* 90^o = 4 buah

Kf *elbow* 90^o = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

$Hf = K_f\ x\ \frac{v^2}{2} = 0{,}75 \times \frac{(1{,}2108)^2}{2} = 0{,}5498$ J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 4 buah, maka = 4 x 0,5498 J/kg = 2,1991 J/kg

➢ <u>Friksi pada *globe valve*</u>

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

$hf = K_f\ x\ \frac{v^2}{2} = 6 \times \frac{(1{,}2108)^2}{2} = 4{,}3981$ J/kg

Σfriksi = (0,4032 + 0,7330 + 1,5082 + 2,1991+ 4,3981)

= 9,2416 J/kg

<u>Power Pompa</u>

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 1,2108 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$z_2 - z_1$ = 5,02 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

P_1 = 1 atm

P_2 = 0,4 bar = 0,3948 atm

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2\times 1}(1{,}2108 - 0)^2 + 9{,}8\ m/s^2 (5{,}02)\ m + \frac{0{,}3948 - 1}{1.016{,}0100} + 9{,}2416\ J/kg$$

$$= 59{,}1700\ J/kg$$

Ws = -59,1700 J/kg

Dengan Q = 37,7977 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 70% [21, Fig. 13-37]

$$\text{Brake Hp} = -\frac{Ws \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-59{,}1700\ J/kg \times 10{,}1030\ kg/s}{0{,}7 \times 550} = 1{,}5527\ Hp$$

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

$$\text{Power motor} = \frac{1{,}5527}{0{,}8} = 1{,}9409\ Hp = 2\ Hp$$

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 37,7977 m^3/jam = 0,3512 ft^3/s

Ukuran pipa : 4 in *schedule* 40

Power pompa : 2 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

13. Evaporator (V-150)

Fungsi : untuk memekatkan susu skim (cair).

Tipe : *Falling Film Evaporator*

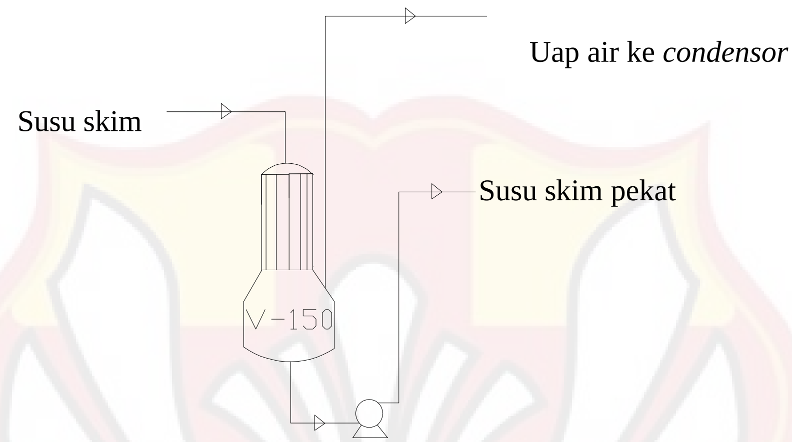
Dasar pemilihan : Digunakan untuk bahan yang tidak dapat tahan terhadap panas.

Kondisi operasi :

Jenis fluida	Panas : Steam 130°C	Dingin : Susu skim 50°C

Flow rate, kg/batch	922,8167	36.370,85
Suhu masuk, ^oC	130	50
Suhu keluar, ^oC	130	77

Gambar :



Perhitungan :

Desain evaporator dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian penguapan dan bagian pemisahan liquida-uap yang berupa drum separator.

Bagian Penguapan

Bagian *Shell*		Bagian *Tube*
ID = 23,25 in	[26]	Jumlah dan panjang 70 buah, 8'0''
B = 15 in		OD,BWG,pitch $1\,^1/_2$ in, 16, $1\,^7/_8$ in square pitch [26, Tbl 9]
Passes = 1		Passes = 2

(1) Neraca Panas

Q *steam* = 4.012.757,5733 kJ/hari = 158.472,7240 btu/h

Q susu skim = 8.587.593,7568 kJ/hari = 339.143,1829 btu/h

(2) T susu skim yang masuk, t_1 = 50^{o}C = 122^{o}F

T susu skim pekat keluar, t_2 = 77^{o}C = 170,6^{o}F

T *steam* masuk, T_1 = T *steam* keluar, T_2 = 130°C = 266°F

Fluida panas		Fluida dingin	*Differences*
266	*Higher temperature* (°F)	170,6	95,4
266	*Lower temperature* (°F)	122	144
0	*Differences*	48,6	48,6

LMTD = 118,0371°F [26, Eq. 5.14]

R = 0/48,6 = 0

S = 48,6/(266-122) = 0,3375

FT = 1 [26, Fig. 18]

Δt = FT x LMTD = 118,0371 °F

(3) Tc = (266 + 266)/2 = 266 °F

tc = (170,6 + 122)/2 = 146,3 °F

Fluida panas, bagian shell, *steam*	**Fluida dingin, bagian *tube*, susu skim**
(4') Luas aliran, as = ID x C'B/144 PT [26, Pers. 7.1] = 23,25 x0,25x 15/144x1 = 0,6055 ft²	(4) a't =1,47 in² [26, Tbl. 10] at = (Nt × a't)/(144n) = (70. 1,47/144.2) = 0,7146 ft²
(5') laju alir massa, Gs = W/as [26, pers. 7.2] = 169,5368/0,6055 = 279,9947 lb/h ft²	(5) Gt = W/at = 9.350,5896 lb/h ft²
(6') De = 4 x luas aliran / frictional wetted perimeter [26,pers. 6.3] = 4 x 0,6055 / (70 x 3,14 x 1,5/12) = 0,0881 ft μ = 0,0342 lb/ft jam [17, A.2-12] R_{es} = De x Gs / μ = 0,0881x 279,9947 / 0,0342 = 206,0682	(6) D = 1,37 in = 0,1142 ft [26, Tbl 10] μ = 1,7708 lb/ft h R_{et} = D Gt/ μ = 603,0254
(7') jH =75 [26, Fig. 28]	

(8’) Pada Tc = 266 ^oF Cp = 0,4540 Btu/lb^oF k = 0,0161 Btu/jam.ft^oF $(cp \times \mu / k)^{1/3}$ = $(0,4540 \times 0,0342/0,0161)^{1/3}$ = 0,9881 (9’) ho/Φs=jH. k/De x $(cp\ \mu /k)^{1/3}$ ho/Φs = 75x0,0161/0,0881 x 0,9881 = 13,5429 (11’) Pada tw= 265,83^oF μw = 0,0313 lb/ft jam $(\mu/ \mu w)^{0,14}$ = $(0,0342/0,0313)^{0,14}$ Φs = 1,0122 (12’) Koefisien koreksi = ho/Φs x Φs [26,pers.6.36] ho = 13,5429 x 1,0122 = 13,7081 Btu/h ft² ºF	(9) Asumsi susu adalah larutan encer [26, p.474] hio = 1.000 Btu/h.ft^{2o}F (10) tw = tc+hio/(hio+ho) (Tc-tc) [26, Eq. 5.31a] = 265,83^oF $(\Delta t)_w$ = 265,83-146,3 = 119,53^oF [26, Fig 15.11], hv > 1.000 (asumsi benar)

(13’) Uc = hio.ho/(hio+ho)

= 1.000 x 13,7081 / (1.000 + 13,7081)

= 13,5228 Btu/h ft² ºF

(14’) a” = 0,1963 [26, Tbl. 10]

A = Nt x L x a”

= 70 x 16 ft x 0,1963

= 219,8560 ft^2

Ud = Q/(A.Δt)

= 13,0685 Btu/h ft² ºF

(15’) Dirt Factor, Rd :

$$Rd = \frac{Uc - Ud}{Uc.Ud}$$

$$= \frac{13{,}5228 - 13{,}0685}{13{,}5228 \times 13{,}0685} = 0{,}0026 \text{ h ft}^2\ ^oF/Btu$$

Kesimpulan

13,7081	h outside	1000,0000
Uc	13,5228	

Ud	13,0685	
Rd calculated		0,0026
Rd required		0,0030

Pressure Drop

(1) Spesifik volume *steam* $V = 73{,}52\ ft^3/lb$ $s = \frac{1/73{,}52}{1 \times 62{,}5} = 0{,}0002$ $R_{es} = 206{,}0682$, f = 0,0046 [26, Fig.29] N+1 = 12 L/B [26, pers 7.48] N+1 = 12.16/15 = 12,8 = 13 Ds = 23,25/12 = 1,9375 ft $\Delta Ps =$ $f\ Gs^2\ Ds\ (N+1)/(5.22 \times 10^{10}\ De\ s\ \Phi s)$ [26, pers.7.44] = 0,0097	s =1 $R_{et} = 603{,}0254$ $f = 0{,}00081\ ft^2/in^2$ [26,Fig.26] $\Delta Pt =$ $f \cdot Gt^2 \cdot L \cdot n/(5.22 \times 10^{10}\ D\ s\ \Phi t)$ [26, pers. 7.45] = 0,00038 psi $V^2/2g' = 0{,}0014$ psi [26, Fig 27] $\Delta Pr = 4n/s \cdot V^2/2g'$ = 0,0112 psi $\Delta PT = \Delta Ps + \Delta Pr$ = 0,0097 psi + 0,0112 psi = 0,0209 psi

<u>Bagian Pemisahan Liquida-Uap (*Drum Separator*)</u>

L = 72.741,70 kg/hari = 6.681,9313 lb/jam = 1,8561 lb/s

V = 29.712,50 kg/hari = 2.729,3407 lb/jam = 0,7582 lb/s

P = 0,4 Bar = 40,53 kPa

Spesifik volume uap = 3,769 m^3/kg [17, A.2-9]

$\rho_{uap} = 0{,}265\ kg/m^3 = 0{,}015\ lb/ft^3$

$\rho_{susu} = 1016{,}0100\ kg/m^3 = 63{,}4273\ lb/ft^3$

$$\frac{WL}{Wv}\sqrt{\frac{\rho V}{\rho L}} = \frac{72.741{,}70}{29.712{,}50}\sqrt{\frac{0{,}015}{63{,}4273}} = 0{,}0376$$

$k_v = 0{,}30$ [30, Tbl. 4-10]

$$V_{max} = kv\sqrt{\frac{\rho L - \rho V}{\rho V}} = 0{,}30\sqrt{\frac{63{,}4273 - 0{,}015}{0{,}015}} = 19{,}51\ ft/s$$

[30, Eq. 4-9]

$V_{design} = 0,75 \cdot V_{max}$

$= 0,75 \cdot 19,51$ ft/s = 14,63 ft/s

qv $= \frac{Wv}{\rho V} = \frac{0,7582\ lb/s}{0,015\ lb/ft^3} = 50,5467\ ft^3/s$

A $= \frac{qV}{V\ design} = \frac{50,5467\ ft^3/s}{14,63\ ft/s} = 3,455\ ft^3$

A $= \pi/4x\ D^2$

D $= \sqrt{\frac{4\ x\ 3,455}{3,14}} = 2,098$ ft = 0,6395 m

Rate liquida = 6.681,9313 lb/jam

Waktu tinggal = 15 menit = 0,25 jam

Volume liquid $= \frac{rate\ liquid}{\rho}\ x\ waktu = \frac{6.681,9313\ lb/jam}{62.4273\ lb/ft^3}\ x\ 0,25\ jam$

= 26,1589 ft

Volume liquid $= \pi/4.\ D^2.H_L$

$26,1589\ ft^3 = \pi/4\ .(2,098\ ft)^2\ .H_L$

H_L = 7,5707 ft = 2,3 m

tinggi ruang uap = 10 in [30, Tbl. 4-11]

H_V = 10 in = 0,28 m

Tinggi drum separator = 2,3 m + 0,28 m = 2,58 m

Tinggi total evaporator = tinggi bagian penguapan + tinggi drum separator

$= \frac{8\ ft}{3,2808\ ft/m} + 2,58$ m

= 5,02 m

SPESIFIKASI

Panjang tube : 8 ft

Jumlah tube : 70 buah

D_o tube : 1 ½ in

D_i tube : 1,37 in

ΔP_{tube} : 0,0112 psi

ΔP_{shell} : 0,0097 psi

Tinggi drum separator : 2,58 m

Tinggi total evaporator : 5,02 m

Jumlah evaporator : 1 buah (*single effect evaporator*)

14. *Condensor* (E-151)

Fungsi : untuk mengkondensasikan uap air dari *Falling Film Evaporator* (V-150).

Tipe : *counter-flow Barometric Condensor*

Dasar pemilihan : konstruksi lebih murah dan mempunyai luas permukaan kontak yang besar.

Data :

- $T_{uap} = 77^oC = 170,6^oF$
- $T_{air\ pendingin} = 30^oC = 86^oF$

Perhitungan :

Laju uap pada $170,6^oF$ (v) = 14.856,25 kg/batch = 32.752,0916 lb/batch

1 batch = 12 jam → v = $\frac{14.856,25\ kg/batch}{12\ jam/batch}$ = 1.238,0209 kg/jam

= 2.729,3410 lb/jam

λ uap pada $170,6^oF$ (λ) = 1.134,548 – 138,571 = 995,9770 btu/lbm

[17, App. A.2-9]

<u>Kebutuhan air pendingin</u>

$W\ (gpm) = \frac{Q}{500\ (Ts - tw - ta)}$ [26, Eq. 14.4, p. 396]

Dimana :

Ts = suhu uap jenuh = 170,6^{o}F

tw = suhu air pendingin = 30^{o}C = 86^{o}F

ta = derajat pendekatan terhadap Ts

untuk *counter flow barometric condensor*, ta = 5 ^{o}F [26, hal.397]

Q = v.λ = 2.729,3410 x 995,9770 = 2.718.360,8311 btu/jam

$W\ (gpm) = \frac{Q}{500\ (Ts - tw - ta)} = \frac{2.718.360{,}8311\ btu/jam}{500\ (170{,}6 - 86 - 5)\ F} = 68{,}3005\ gpm$

Panjang tailing pipa

Persamaan Bernoulli : $P_2 + \rho.g.h = P_1$

$P_2 = P_{uap}$ = 0,4 bar = 40.000 Pa

P_1 = 101,325 kpa = 101.325 Pa

ρ air = 995,68 kg/m^3

g = 9,8 m/s^2

$h = \frac{(P_1 - P_2)}{\rho \cdot g} = \frac{(101.325 - 40.000)}{995{,}68\ kg/m^3\ .\ 9{,}8\ m/s^2} = 6{,}2848\ m$

SPESIFIKASI

Tipe = *counter flow barometic condensor*

Rate uap = 14.856,25 kg/batch = 2.729,3410 lb/jam

Kebutuhan air pendingin = 68,3005 gpm

Panjang tailing pipa = 6,2848 m

Bahan = *Stainless steel* 316-L

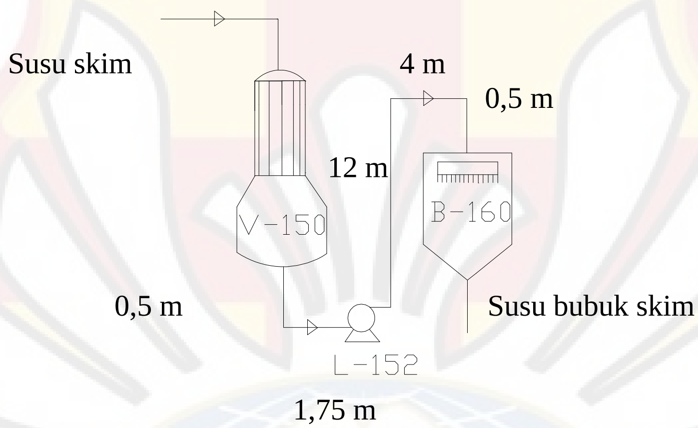
Jumlah = 1 buah

15. Pompa (L-152)

Fungsi : untuk mengalirkan susu skim dari *Falling Film Evaporator* (V-150) ke *Spray Dryer* (B-160).

Tipe : *centrifugal pump*

Gambar :



Data:

T_{susu} = 77°C

Massa susu segar 77°C $_{masuk}$ = 21.514,60 kg/batch = 21.514,60 kg/jam

ρ susu (77°C) = 1033,7- 0,2308T – 0,00246 T^2 [13]

= 1.001,3431 kg/m^3 = 62,5117 lbm/ft^3

Viskositas (77°C) = 0,000624 kg/m.s = 0,0004 lb/ft.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{21.514,60 \text{ kg/jam}}{1.001,3431 \text{ kg/m}^3}$ = 21,4857 m^3/jam = 0,0060 m^3/s

= 0,2108 ft^3/s

Laju susu segar masuk (m) = 0,0060 m^3/s x 1.001,3431 kg/m^3 = 5,9763 kg/s

<u>Perhitungan Diameter Pompa</u>

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

$$Di,opt = 3,9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13}$$ [21]

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt = 3,9 . $(0, 2108)^{0,45}$. $(62,5117)^{0,13}$ = 3,3132 inch ≈ 3,548 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 3,5 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 3,548 inch = 0,2957 ft = 0,0901 m

A = 0,0687 ft^2

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0{,}2108\ ft^3/s}{0{,}0687\ ft^2}$ = 3,0679 ft/s = 0,9351 m/s

$N_{Re} = \frac{\rho\ x\ v\ x\ ID}{\mu}$

$= \frac{62{,}5117\ \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 3{,}0679\ \frac{ft}{s}\ x\ 0{,}2957\ ft}{0{,}000624\ lb/ft.s}$

= 135.228,4989 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, α = 1

<u>FRIKSI</u>

➢ *<u>Sudden contraction</u>*

A_{pipa} <<< A_{tangki}

$Kc = 0{,}55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right)$ [17, Eq. 2.10-16]

A_{pipa}/A_{tangki} = 0 , karena A_{tangki} (A_1) jauh lebih besar dibanding A_{pipa} (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

$hc = Kc \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) x\ \frac{v^2}{2\alpha}$ = 0,55 x (1-0) x $\frac{(0{,}9351)^2}{2.1}$ = 0,2405 J/kg

➢ *<u>Sudden enlargement</u>*

$hex = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2 x\ \frac{v^2}{2\alpha}$ = $(1\text{-}0)^2$ x $\frac{(0{,}9351)^2}{2.1}$ = 0,4372 J/kg

➢ <u>Friksi pada pipa lurus</u>

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

ε = $4{,}6.10^{-5}$ m

harga $\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4{,}6.10^{-5}\ m}{0{,}1023\ m}$ = 0,0004 → f = 0,005 [17, Fig.2.10-3]

$\Delta L = (0{,}5 + 1{,}75 + 12 + 4 + 0{,}5)\ m = 18{,}75\ m$

$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{ID} \times \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

$= 4 \times 0{,}005 \times \frac{18{,}75\ m}{0{,}0901\ m} \times \frac{(0{,}9351\ m/s)^2}{2} = 1{,}8193$ J/kg

- <u>Friksi pada *elbow*</u>

Jumlah *elbow* 90^o = 4 buah

Kf *elbow* 90^o = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

$Hf = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0{,}75 \times \frac{(0{,}9351)^2}{2} = 0{,}3279$ J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 4 buah, maka = 4 x 0,3279 J/kg = 1,3117 J/kg

- <u>Friksi pada *globe valve*</u>

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

$hf = K_f \times \frac{v^2}{2} = 6 \times \frac{(0{,}9351)^2}{2} = 2{,}6233$ J/kg

Σfriksi = (0,2405 + 0,4372 + 1,8193 + 1,3117 + 2,6233)

= 6,4320 J/kg

<u>Power Pompa</u>

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 0,9351 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$z_2 - z_1$ = 10,99 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

P_1 = 0,4 bar = 0,3948 atm

P_2 = 1 atm

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2\times 1}(0{,}9351 - 0)^2 + 9{,}8\ m/s^2 (10{,}99)\ m + \frac{1-0{,}3948}{1.001{,}3431} + 6{,}4320\ J/kg$$

$$= 114{,}5718\ J/kg$$

$Ws = -114{,}5718\ J/kg$

Dengan Q = 21,4857 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 40% [21, Fig. 13-37]

$$\text{Brake Hp} = -\frac{Ws \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-114{,}5718\ J/kg \times 5{,}9763\ kg/s}{0{,}4 \times 550} = 3{,}1123\ Hp$$

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

$$\text{Power motor} = \frac{3{,}1123}{0{,}8} = 3{,}8904\ Hp = 4\ Hp$$

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 21,4857 m^3/jam = 0,2108 ft^3/s

Ukuran pipa : 3,5 in *schedule* 40

Power pompa : 4 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

16. Blower

Fungsi : mengalirkan udara panas

Tipe : centrifugal

Kapasitas : 3.117.334,5996 kg/hari = 1,2485 kmol/s

(BM udara = 28,9 kg/kgmol)

Jumlah : 1 buah

Bahan konstruksi : *carbon steel*

Laju volumetrik : 31,0396 m^3/s

Efisiensi : 70 % [23]

Perhitungan :

K = γ-1 / γ.Ep [23]

N = 1 / 1-K [23]

Dimana : γ udara = 1,4 (untuk gas *diatomic*)

K = 1,4 – 1 / 1,4 . 0,7 = 0,408

N = 1 / 1-0,408 = 1,689

Perhitungan power

$$H = \frac{ZRT}{(N-1)/N}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(N-1)/N} - 1\right]$$

Z = 1; P_2 = 29,4 psia; P_1 = 14,7 psia

$$H = \frac{1.8{,}314\ .(273+30)}{(1{,}689-1)/1{,}689}\left[\left(\frac{29{,}4}{14{,}7}\right)^{(1{,}689-1)/1{,}689} - 1\right]$$

= 2.018,014 J/kmol = 2,018 kJ/kmol

Power = w . M / Ep = 2,018 kJ/kmol . 1,2485 kmol/s / 0,7 = 3,5992 kW

Power = 3,5992 kW / 0,7457 = 4,8267 Hp ≈ 5 Hp

SPESIFIKASI

Kapasitas : 3.117.334,5996 kg/hari = 1,2485 kmol/s

(BM udara = 28,9 kg/kgmol)

Bahan konstruksi : *carbon steel*

Jumlah : 1 buah

Power : 5 Hp

17. *Spray Dryer* (B-160)

Fungsi : untuk mengeringkan susu skim cair menjadi susu bubuk skim.

Tipe : silinder tegak dengan bagian tutup atas berbentuk *dished head* dan bagian bawah berbentuk konis.

Dasar pemilihan : konstruksi lebih murah dan mempunyai luas permukaan kontak yang besar.

Kapasitas : 21.514,60 kg/batch

Kondisi operasi :

- Tekanan operasi = 1 atm
- Suhu masuk *spray dryer* = 77^{o}C
- Suhu susu keluar *spray dryer* = 125^{o}C

Laju pengeringan 18.054,34 kg air/batch

Berdasarkan laju pengeringan dan suhu udara masuk dipilih:

Volume *chamber* = 8.000 ft^3 [27, Fig 20-72]

Diameter = 24,3 ft = 7,406 m [27, Fig 20-72]

Lubang pengeluaran = 5 in = 0,4167 ft [28, hal 85]

Tinggi *shell* (Hs) = 0,4 D = 9,72 ft = 2,963 m [27, Fig 20-72]

Volume silinder $= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times Hs$

$= \frac{\pi}{4} \times (24,3\ ft)^2 \times 9,72\ ft$

$= 4.505,557\ ft^3$

Volume konis = volume *chamber* – volume silinder

$= 8.000 – 4.505,557\ ft^3$

$= 3.494,443\ ft^3$

M = 12 in = 1 ft [27, hal 85]

Volume konis $= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times h_c \times (D^2 + D.M + M^2)$

$3.494,443\ ft^3 = \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times h_c \times (24,3^2 + 24,3 \times 1 + 1^2)$

h_c = 21,69 ft = 6,61 m

Untuk *shell*, tutup bagian atas, dan bawah dipilih bahan konstruksi *stainless steel-316 L* :

- f = allowable stress = 23.000 lb/in^2
- E = efisiensi las *double welded butt joint* = 0,8 [18, Tabel 13.2]
- ID = diameter *shell* = 7,406 m = 291,574 in
- P = 14,7 psia
- c = *Corrosion allowance* = 0,125 in

Tebal *shell*

$$ts = \frac{P \times r_i}{f_{all} \times E - 0.6 \times P}$$ [18, p.254, eq 13.1]

$$ts = \frac{14,7 \times 145,787}{23.000 \times 0,8 - 0,6 \times 14,7} = 0,1165 \text{ in} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

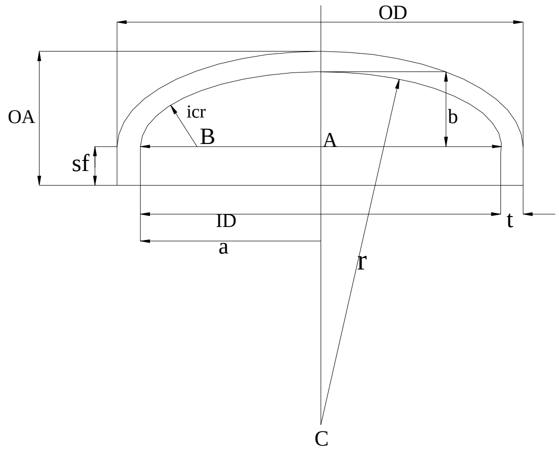
Tebal konis

Untuk ½ sudut puncak (α) tidak lebih besar dari 30^o digunakan persamaan [18, p.118, eq 6.154].

$$t_c = \frac{P \times ID}{2 \times \cos\alpha \times (f_{all} \times E - 0,6 \times P)} + c$$

$$t_c = \frac{14,7 \times 291,574}{2 \times \cos 30 \times (23.000 \times 0,8 - 0,6 \times 14,7)} + 0,125 = 0,2326 \text{ in} \approx \frac{1}{4} \text{ in}$$

Tebal *Dished Head*



r

(*crown radius* / *radius of dish*) = 291,574 in

icr (*inside corner radius* / *knuckle radius*) = 6% x 291,574 in = 17,494 in

W $= \frac{1}{4}\ x\ \left[3 + \sqrt{\frac{r}{icr}}\right]$ [29, pers 7.76]

$= \frac{1}{4}\ x\ \left[3 + \sqrt{\frac{291{,}574}{17{,}494}}\right]$

= 1,7706

a $= \frac{ID}{2} = \frac{291{,}574\ in}{2}$ = 145,787 in

AB $= \frac{ID}{2} - icr = \frac{291{,}574\ in}{2} - 17{,}494\ in$ = 128,293 in

BC = r – icr = (291,574 - 17,494) in = 274,08 in

b = r - $\sqrt{BC^2 - AB^2}$ = 291,574 – $\sqrt{274{,}08^2 - 128{,}293^2}$ = 49,374 in

t_d $= \frac{P\ x\ r\ x\ W}{2\ x\ f\ x\ E - 0{,}2\ x\ P} + c$ [18, pers 7.77, p.138]

t_d $= \frac{14{,}7\ psia\ x\ 291{,}574\ in\ x\ 1{,}7706}{(2\ x\ 23.000\ psia\ x\ 0{,}8) - (0{,}2\ x\ 14{,}7\ psia)} + 0{,}125\ in$

= 0,3312 in $\approx \frac{3}{8}$in

Dipilih panjang *straight-flange* (sf) = 6 in [29, Tbl 5.8, hal.93]

OA $= t_d + b + sf$

$= (\frac{1}{2} + 49{,}374 + 6)$ in

= 55,874 in = 4,656 ft ≈ 4,7 ft

Tinggi total = Hs + hc + OA

= 2,963 m + 6,61 m + 1,419 m

= 10,992 m = 36,063 ft

SPESIFIKASI

Kapasitas	: 21.514,60 kg/batch
Diameter	: 24,3 ft = 7,41 m
Tinggi *spray dryer* total	: 36,063 ft = 10,99 m
Tebal shell	: 0,1165 in ≈ $\frac{3}{16}$ in
Tebal tutup bawah (konis)	: 0,2326 in ≈ $\frac{1}{4}$ in
Tebal tutup atas (dished head)	: 0,3312 in ≈ $\frac{3}{8}$ in
Bahan konstruksi	: *Stainless steel-316 L*
Jumlah *spray dryer*	: 1 buah

18. Atomizer

Jenis : *Centrifugal Dish*

Menentukan putaran *centrifugal dish*:

$$\frac{Dvs}{r} = 0{,}4 \left[\frac{\Gamma}{\rho_L \, x \, N \, x \, r^2}\right]^{0,6} \left[\frac{\mu}{\Gamma}\right]^{0,2} \left[\frac{\alpha \, x \, \rho_L \, x \, L_W}{\Gamma^2}\right]^{0,1}$$ [25, Eq.12-65]

Dvs = diameter semprotan rata-rata = 6.10^{-5} m = $1{,}968.10^{-4}$ft

Di = diameter dish = 0,25 m = 0,82 ft

r = jari-jari dish = 0,41 ft

Γ = kecepatan massa semprotan dari *wetted dish peripheral*, lb/min.ft

ρ_L = densitas slurry = 1,00134 mol/cm^3 [29]

N = putaran dish, rpm

μ = viskositas liquid = 0,0005 lb/ft.s [29]

α = liquid retention,lb/min^2

Lw = *wetted dish peripheral* = π.di = 2,5761 ft

Massa bahan masuk = 21.514,60 kg/batch = 1.792,8832 kg/jam = 65,8765 lb/min

$\Gamma = \frac{massa\ feed\ masuk}{Lw} = \frac{1.792,8832 \frac{kg}{jam} \times 2.2046 \frac{lb}{kg}}{2,5761 \times 60\ menit/jam}$ = 25,5722 lb/min.ft

$\alpha^{(1/4)} = R \times \rho_L$ [25, Eq.12-66]

R = komponen paarachor = 3,0089

ρ_L = densitas slurry, mol/cm^3

α = *liquid retention*

$\alpha^{(1/4)} = R \times \rho_L$ = 3,0089 x 1,00134 = 3,0129

α = 82,4022

$$\frac{1,968.10^{-4}}{0,41} = 0,4 \left[\frac{25,5722}{1,00134 \times N \times 0,41^2}\right]^{0,6} \left[\frac{0,0005}{25,5722}\right]^{0,2} \left[\frac{82,4022 \times 0,0138 \times 2,5761}{25,5722^2}\right]^{0,1}$$

N = 6.650,9768 rpm ≈ 6651 rpm

Menghitung power yang dibutuhkan :

$P = 1,04.10^{-8} \times (r \times N)^2 \times W$

Dimana,

P = netto horse power

r = jari – jari dish

N = putaran dish = 6.651 rpm

W = kecepatan feed = 65,8765 lb/min

$P = 1,04.10^{-8} \times (0,41 \times 6.651)^2 \times 65,8765$

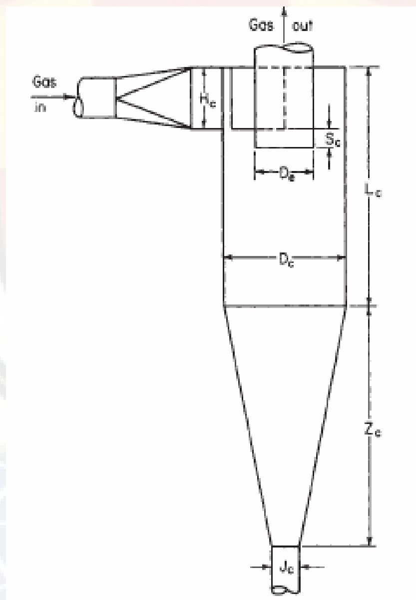
P = 5,0945 hp ≈ 5 hp

19. *Cyclone* (H-162)

Fungsi : untuk memisahkan susu bubuk skim dari aliran udara.

Kapasitas : 33,57 kg padatan/hari

Gambar :



Perhitungan :

Mencari Diameter *cyclone* (Dc)

$$Dp = \left(\frac{9\,\mu\,D_c}{4\pi N_t V(\rho - \rho_g)} \right)^{0,5}$$ [31,Eq. 18.15, p. 618]

$D_{partikel}$ untuk susu bubuk adalah 60µm = 6.10^{-5} m = 0,0001968 ft [31, p. 604]

V= kecepatan masuk cyclone, 120 ft/s [31, p. 617]

Nt, *number of turns gas* = $(0,1079 - 0,00077\ V + 1,924(10^{-6}V^2)V)$

= 5,185

µ = μ_{udara} = 0,0209 cp = $1,4.10^{-5}$ lbm/ft.s

$\rho = \rho_{partikel\ susu} = 75\ lb/ft^3$ [32]

$\rho_g = \rho_{udara} = 0{,}0632\ lb/ft^3$ [17, App.3-3, p. 971]

$$Dp = \left(\frac{9\,\mu\,D_c}{4\pi N_t V(\rho - \rho_g)} \right)^{0,5}$$

$$0{,}0001968 = \left(\frac{9 \times 1{,}4.10^{-5} \times Dc}{4 \times 3{,}14 \times 5{,}185 \times 120 \times (75 - 0{,}0632)} \right)^{0,5}$$

Dc = 5 ft = 1,524 m

5 ft = Bc x 4

BC = 1,25 ft

Hc = 2 x Bc

H_C = 2,5 ft

$De = \frac{Dc}{2} = \frac{5}{2} = 2{,}5$ ft

Lc = 2 . Dc = 2 x 5 ft = 10 ft

$Sc = \frac{Dc}{8} = \frac{5\ ft}{8} = 0{,}625$ ft

Zc = 2 . Dc = 2 x 5 ft = 10 ft

$Jc = \frac{Dc}{4} = \frac{5\ ft}{4} = 1{,}25$ ft

Dimana :

Dc : Diameter cyclone, ft

De : Diameter lubang pengeluaran gas, ft

Hc : Diameter lubang masuk, ft

Lc : Tinggi cyclone bagian silinder, ft

Zc : Tinggi cyclone bagian kerucut, ft

Jc : Diameter lubang pengeluaran partikel, ft

SPESIFIKASI

Tipe : *Effluent Dust cyclone*

Kapasitas : 33,57 kg padatan/hari

Ukuran Bc : 1,25 ft

Dc : 5 ft

De : 2,5 ft

Hc : 2,5 ft

Lc : 10 ft

Sc : 0,625 ft

Zc : 10 ft

Jc : 1,25 ft

20. *Condensor* (E-163)

Fungsi : untuk mengkondensasikan uap air dari *Spray Dryer* (B-160).

Tipe : *counter-flow Barometric Condensor*

Dasar pemilihan : konstruksi lebih murah dan mempunyai luas permukaan kontak yang besar.

Data :

- T_{uap} = 85°C = 185°F
- $T_{air\ pendingin}$ = 30°C = 86°F

Perhitungan :

Laju uap pada 185°F (v) = 18.054,34 kg/batch = 176.932,4946 lb/batch

1 batch = 12 jam → v = $\frac{18.054,34\ kg/batch}{12\ jam/batch}$ = 1.504,5280 kg/jam

= 3.316,8825 lb/jam

λ uap pada 185°F (λ) = 1.140,15 – 153,01 = 987,1400 btu/lbm

[17, App. A.2-9]

Kebutuhan air pendingin

W (gpm) = $\frac{Q}{500\ (Ts - tw - ta)}$ [26, Eq. 14.4, p.396]

Dimana :

Ts = suhu uap jenuh = 185^{o}F

tw = suhu air pendingin = 30^{o}C = 86^{o}F

ta = derajat pendekatan terhadap Ts

untuk *counter flow barometric condensor*, ta = 5 ^{o}F [26, pl.397]

Q = v.λ = 3.316,8825 x 987,1400 = 3.274.227,3534 btu/jam

W (gpm) = $\frac{Q}{500\ (Ts - tw - ta)}$ = $\frac{3.274.227,3534\ btu/jam}{500\ (185 - 86 - 5)F}$ = 69,6644 gpm

Panjang tailing pipa

Persamaan bernoulli = $P_2 + \rho.g.h = P_1$

$P_2 = P_{uap}$ = 0,4 bar = 40.000 Pa

P_1 = 101,325 kpa = 101.325 Pa

ρ air = 995,68 kg/m^3

g = 9,8 m/s^2

h = $\frac{(P_1 - P_2)}{\rho\ .\ g}$ = $\frac{(101.325 - 40.000)}{995,68\ kg/m^3\ .\ 9,8\ m/s^2}$ = 6,2848 m

SPESIFIKASI

Tipe = *counter flow barometic condensor*

Rate uap = 18.054,34 kg/batch = 3.316,8825 lb/jam

Kebutuhan air pendingin = 69,6644 gpm

Panjang tailing pipa = 6,2848 m

Bahan = *Stainless steel* 316-L

Jumlah = 1 buah

21. Tangki Penampungan Susu Bubuk Skim (F-161)

Fungsi : sebagai tempat penyimpanan susu bubuk skim sementara setelah dilakukan proses pengeringan dengan *Spray Dryer*.

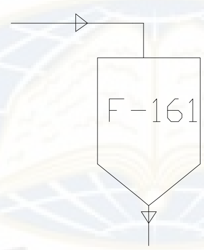
Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis.

Kondisi operasi :

- $T = 85^oC$
- Tekanan 1 atm

Gambar :

Susu bubuk skim



Data :

Massa susu masuk = 3.460,78 kg/batch

ρ susu (85^oC) = $1033{,}7 - 0{,}2308T - 0{,}00246\ T^2$ [13]

= 996,3085 kg/m^3 = 62,1974 lbm/ft^3

Volume susu (bahan) = $\frac{massa\ susu}{rho\ susu} = \frac{3.460{,}78\ kg}{996{,}3085\ kg/m^3}$ = 3,4736 m^3

<u>Ditetapkan untuk dimensi tangki:</u>

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.

3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]

4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$

5. Volume ruang kosong = 90% volume tangki

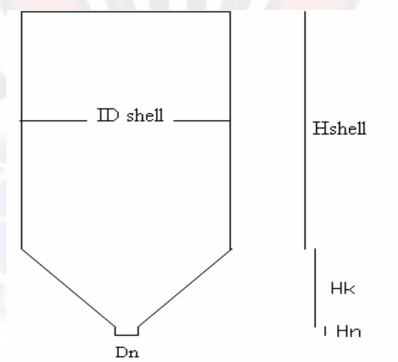
Volume Tangki:

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 3,4736 + 0,1 Volume tangki

Volume tangki = 3,8596 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

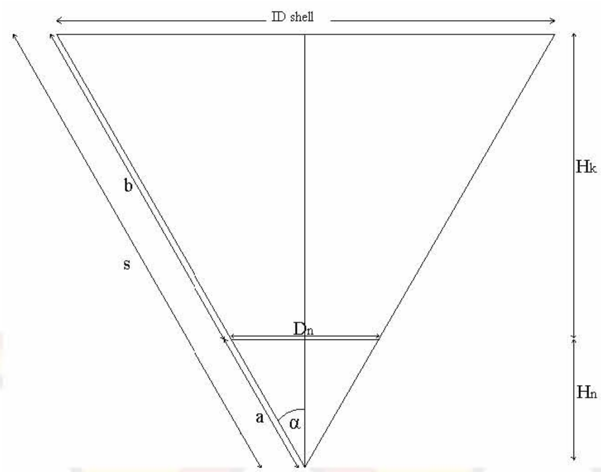
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* $= \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2}$ = 30^o [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

Hn = $\frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan Hk = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha}$ - Hn = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

3,8596 m^3 $= \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

3,8596 m^3 = 1,1775 $ID_{shell}{}^3$ + 0,2266 $ID_{shell}{}^3$ – 0,0019

3,8615 m^3 = 1,4041 $ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 1,4010 m = 4,5965 ft = 55,1589 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 1,4010 m = 2,1016 m = 6,8948 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0,2302\ m}{2\ tg\ 30}$ = 0,1760 m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(1,4010 - 0.2302)\ m}{2\ tg\ 30}$ = 1,0374 m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (2,1016 + 1,0374) m = 3,1389 m = 10,2982 ft

a = $\sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2302}{2}\right)^2 + 0,1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s = $\sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{1,4010}{2}\right)^2 + (1,0374 + 0,1760)^2}$

= 1,4010 m = 4,5965 ft

b = s – a = (1,4010 – 0,2032) m = 1,1978 m = 3,9299 ft

Tinggi Larutan dalam Tangki

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

3,4736 m^3 = $\frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

3,4736 m^3 = $\frac{\pi}{4}\ x\ 1,4010^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (1,4010^3 - 0,2302^3)$

$H_{larutan}$ = 1,8511 m = 6,0730 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (1,8511 + 1,0374) m = 2,8884 m = 9,4764 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik = $\frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

= $\frac{62,1974 \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 9,4764\ ft}{144}$ = 4,0931 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 4,0931) psia = 18,7931 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 18,7931 psia = 22,5517 psia = 1,5341 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

t_s = $\frac{P\ x\ D}{2\ x\ f\ x\ E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$$t_{shell} = \frac{22{,}5517\ psia\ x\ 55{,}1589\ in}{2\ x\ 23.000\ x\ 0{,}8} + 0{,}125\ in$$

= 0,1588 in → standarisasi 3/16 in

Tebal Tutup Konis

$$\text{Tebal alas} = \frac{P\ x\ D}{2 \cos\alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$$

$$= \frac{22{,}5517\ psia\ x\ 55{,}1589\ in}{2 \cos\ 30\ (23.000\ psia\ x\ 0{,}8 - 0{,}6\ x\ 22{,}5517\ psia)} + 0{,}125\ in$$

= 0,1641 in → standarisasi 3/16 in

SPESIFIKASI

Kapasitas : 3,8596 m^3

ID_{shell} : 1,4010 m

H_k : 1,0374 m

H_{shell} : 2,1016 m

H total : 3,1389 m

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jumlah tangki : 1 buah

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

22. Roll Mill (C-164)

Fungsi : untuk menggiling padatan susu bubuk yang keluar dari *spray drying.*

Tipe : *two-roll crusher*

Dasar pemilihan : cocok untuk menggiling padatan

Kondisi operasi :

$P_{operasi}$ = 1 atm

$T_{operasi}$ = 30^oC

Waktu operasi = 1 jam

Kapasitas = 173,039 kg/batch = 0,173 ton/batch

Rate massa = 0,173 ton/jam

Dari [27], untuk kapasitas 0,173 ton/jam, ditetapkan:

Diameter roll = 26 in

Lebar roll = 24 in

Kapasitas maksimum = 50 ton/jam

Power = 20 hp

SPESIFIKASI

Kapasitas : 0,173 ton/jam

Kapasitas maksimum : 50 ton/jam

Diameter roll : 26 in

Lebar roll : 24 in

Power : 20 hp

Jumlah : 1 buah

23. Screen (H-165)

Tipe : *vibrating screen*

Dasar pemilihan : efisiensi tinggi, kapasitas tinggi, *maintenance cost* rendah, ruang yang dibutuhkan kecil. [25, p.19-20]

Fungsi : untuk memisahkan padatan susu bubuk yang berukuran tidak sama.

Perhitungan :

$D_{partikel}$ untuk susu bubuk adalah 0,18 mm [31, p. 604]

Dari [19, p.223] ditetapkan :

ukuran lubang *screen* = 1 cm

panjang *screen* = 2 m

lebar *screen* = 1 m

luas *screen* = 2 m^2

Power $= \frac{1600 \ x \ m}{Dp} = \frac{1600 \ x \ 6.921,56 \ kg}{3600s \ x \ 10.000 \ \mu m}$ = 0,3076 kW [19, p.315]

= 0,4125 hp ≈ 0,4 hp

SPESIFIKASI

Lubang *screen* = 1 cm

Panjang *screen* = 2 m

Lebar *screen* = 1 m

Luas *screen* = 2 m^2

Power = 0,4 hp

Bahan = *stainless steel*

Jumlah = 1 buah

24. Bucket Elevator (J-166)

Fungsi : mengangkut susu bubuk skim dari Tangki Penampungan Susu Bubuk Skim (F-161) ke Tangki Penampungan Susu Bubuk Skim Akhir (F-167).

Tipe : *Centrifugal discharge bucket on belt*

Perhitungan :

Massa susu bubuk = 6.921,56 kg/hari = 0,2884 ton/jam

Tinggi elevasi = 2,1 m = 6,8897 ft

Dari [25, p.21-15, Tbl. 21-8] diperoleh:

- Ukuran *bucket* = 6 × 4 × 4,25 in
- Jarak *bucket* = 12 in
- Elevator center = 25 ft
- Kecepatan *bucket* = 225 ft/min = 68,6 m/menit
- *Head shaft* = 43 rpm
- *Shaft* diameter = *head* : $1\,^{15}/_{16}$ in; *tail* : $1\,^{11}/_{16}$ in
- Lebar *belt* = 7 in

hp = [27, p.1350]

hp = = 0,00397 hp

Effisiensi = 80%

Power motor = $\frac{0,00397}{0,8}$ = 0,00496 hp ≈ 0,005 hp

25. Tangki Penampung Susu Bubuk Skim Akhir (F-167)

Fungsi : sebagai tempat penyimpanan susu bubuk skim akhir untuk dilakukan proses pengemasan.

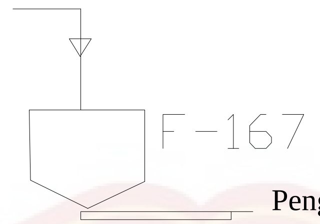
Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis.

Kondisi operasi :

- $T = 85^oC$
- Tekanan 1 atm

Gambar :

Susu bubuk skim



Pengemasan susu bubuk skim

Data :

Massa susu masuk = 3.460,78 kg/batch

ρ susu (30^{o}C) = 1033,7- 0,2308T – 0,00246 T^2 [13]

= 1.024,5620 kg/m^3 = 63,9612 lbm/ft^3

Volume susu (bahan) = $\frac{massa\ susu}{rho\ susu}$ = $\frac{3.460{,}78\ kg}{1.024{,}5620\ kg/m^3}$ = 3,3778 m^3

<u>Ditetapkan untuk dimensi tangki:</u>

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.
3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]
4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1.5}{1}$
5. Volume ruang kosong = 90% volume tangki

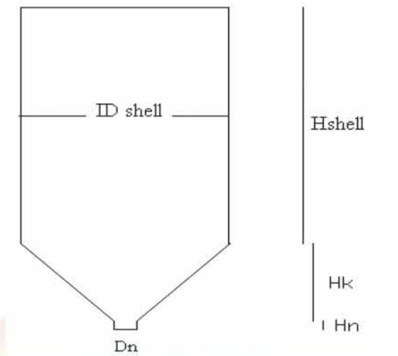
<u>Volume Tangki:</u>

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 3,3778 + 0,1 Volume tangki

Volume tangki = 3,7531 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

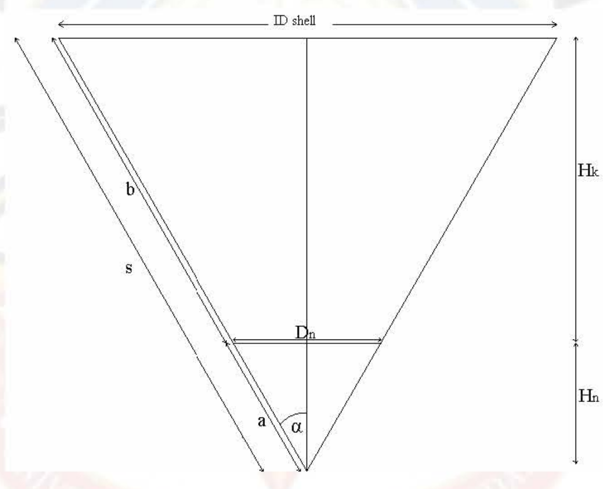
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1{,}5}{1}$ → volume *shell* $= \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^{\ 2}\ x\ H_{shell} = \frac{1{,}5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^{\ 3}$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

$Hn = \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan $Hk = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - Hn = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^{\ 2}\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^{2} \times \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\, tg\, \alpha} + \frac{Dn}{2\, tg\, \alpha}\right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^{2} \times \frac{Dn}{2\, tg\, \alpha}$$

$$= \frac{\pi}{24\, tg\, 30} \left(ID_{shell}^{3} - Dn^{3}\right)$$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$3{,}7531\ m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4} \times ID_{shell}^{3} + \frac{\pi}{24\, tg\, 30} \left(ID_{shell}^{3} - Dn^{3}\right)$

$3{,}7531\ m^3 = 1{,}1775\ ID_{shell}^{3} + 0{,}2266\ ID_{shell}^{3} - 0{,}0019$

$3{,}7550\ m^3 = 1{,}4041\ ID_{shell}^{3}$

ID_{shell} = 1,3880 m = 4,5539 ft = 54,6474 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 1,3880 m = 2,0821 m = 6,8309 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\, tg\, \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\, tg\, 30}$ = 0,1760 m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\, tg\, \alpha} = \frac{(1{,}3880 - 0{,}2302)\ m}{2\, tg\, 30}$ = 1,0261 m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (2,0821 + 1,0261) m = 3,1082 m = 10,1973 ft

a $= \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^{2} + Hn^{2}} = \sqrt{\left(\frac{0{,}2302}{2}\right)^{2} + 0{,}1760^{2}}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s $= \sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^{2} + (Hk + Hn)^{2}} = \sqrt{\left(\frac{1{,}3880}{2}\right)^{2} + (1{,}0261 + 0{,}1760)^{2}}$

= 1,3880 m = 4,5539 ft

b = s – a = (1,38800 – 0,2032) m = 1,1848 m = 3,8872 ft

Tinggi Larutan dalam Tangki

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

$3{,}3778\ m^3 = \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^{2} . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\, tg\, 30} \left(ID_{shell}^{3} - Dn^{3}\right)$

$3{,}3778\ m^3 = \frac{\pi}{4} \times 1{,}3880^{2} . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\, tg\, 30} \left(1{,}3880^{3} - 0{,}2302^{3}\right)$

$H_{larutan}$ = 1,8339 m = 6,0167 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (1,8339 + 1,0261) m = 2,8600 m = 9,3832 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik $= \frac{\rho_{bahan} \times H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

$= \frac{63{,}9612 \frac{lbm}{ft^3} \times 9{,}3832\ ft}{144} = 4{,}1678$ psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 4,1678) psia = 18,8678 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 18,8678 psia = 22,6413 psia = 1,5402 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$t_{shell} = \frac{22{,}6413\ psia \times 54{,}6474\ in}{2 \times 23.000 \times 0{,}8} + 0{,}125\ in$

= 0,1586 in → standarisasi 3/16 in

Tebal Tutup Konis

Tebal alas $= \frac{P \times D}{2 \cos\alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$

$= \frac{22{,}6413\ psia \times 54{,}6474\ in}{2 \cos\ 30\ (23.000\ psia \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 22{,}6413\ psia)} + 0{,}125\ in$

= 0,1639 in → standarisasi 3/16 in

SPESIFIKASI

Kapasitas : 3,7531 m^3

ID_{shell} : 1,3880 m

H_k : 1,0261 m

H_{shell} : 2,0821 m

H total : 3,1082 m

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jumlah tangki : 1 buah

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

C.2. RUMPUT LAUT

35. Warehouse Rumput Laut (F-200)

Fungsi : sebagai tempat menyimpan rumput laut untuk 2 hari proses.

Tipe : gedung dengan konstruksi beton.

Waktu tinggal : 2 hari proses

Kebutuhan rumput laut (2 hari proses) = 2 hari x 2.850,665 kg/hari

= 5.701,33 kg = 12.569,1521 lb

Densitas rumput laut (ρ_p) = 1.544 kg/m^3 = 96,3883 lb/ft^3

Dp rumput laut = 2,32 . 10^{-4}; Sg = 1,55 ; ρ bulk = 1.329,5384 kg/m^3 [34]

ρ bulk = ρ_p (1 – ε_p), dimana ε_p diperoleh dengan persamaan:

$$Sg = \frac{4 \times \varepsilon p}{\rho_p . Dp}$$

$$1,55 = \frac{4 \times \varepsilon p}{2,32.10^{-4} \times 1.544} \rightarrow \varepsilon_p = 0,1388$$

Substitusi ke persamaan:

ρ bulk = ρ_p (1 – ε_p) = 1.544 kg/m^3 (1-0,1388)

= 1.329,6928 kg/m^3 = 83,0098 lb/ft^3

Volume rumput laut = $\frac{5701,33\ kg}{1.329,6928\ kg/m^3}$ = 4,2877 m^3

Asumsi: Volume storage = 1,5 . volume rumput laut

Volume storage = 1,5 x 4,2877 m^3 = 6,4315 m^3

Ditetapkan:

Panjang = Lebar

Tinggi = 5 m

Volume storage = P . L . T

6,4315 m^3 = L. L. 5 m

L^2 = 1,2863 m^2 $\rightarrow$ L = 1,1342 m

Panjang = L = 1,1342 m

Luas = P.L = 1,1342 m x 1,1342 m = 1,2864 m^2

SPESIFIKASI

Kapasitas	: 5,7 ton
Tipe	: gedung dengan konstruksi beton
Panjang	: 1,1342 m
Lebar	: 1,1342 m
Tinggi	: 5 m
Jumlah	: 1 buah

36. Cutter (C-201)

Fungsi : untuk memotong rumput laut.

Tipe : *rotary knife cutter*

Dasar pemilihan : cocok untuk memotong padatan, harga murah, dan umum digunakan.

Kondisi operasi :

$P_{operasi}$: 1 atm

$T_{operasi}$: 30°C

Waktu operasi = 1 jam

Kapasitas = 2.850,665 kg/hari = 2.850,665 kg/jam

Untuk kapasitas 2.850,665 kg/jam diperoleh data sebagai berikut: [27]

Luas alas *cutter* = 102 x 43 in

Kecepatan = 500 rpm

Power = 30 hp

SPESIFIKASI

Kapasitas : 2.850,665 kg/jam

Luas alas *cutter* : 102 x 43 in

Kecepatan : 500 rpm

Power : 30 hp

Tinggi support : 0,5 m

Jumlah : 1 buah

37. Conveyor (J-202)

Fungsi : sebagai alat untuk mendistribusikan rumput laut ke Tangki Perendaman (M-210).

Tipe : *vibratory conveyor*

Data :

- T = 30°C
- Tekanan 1 atm

- Panjang potongan rumput laut 5 cm = 50.000 μm

Ditetapkan:

1. waktu operasi = 15 menit
2. massa rumput laut ke tangki perendaman = 2.850,665 kg/hari = 0,0329 kg/s
3. sudut elevasi = 30^o

Dari [17], diambil data:

Lebar = 0,5 m

Panjang = 5 m

Luas *vibrating conveyor* = 2,5 m^2

Power (Hp) = $\frac{16.000 \; x \; m}{Dp} = \frac{16.000 \; x 0.0329 \; kg/s}{50.000 \; \mu m}$ = 0,0105 hp

SPESIFIKASI

Kapasitas : 2.850,665 kg/hari = 0,0329 kg/s

Lebar conveyor : 0,5 m

Panjang conveyor : 5 m

Luas conveyor : 2,5 m^2

Power : 0,01 Hp

Bahan : *Carbon Steel*

Jumlah : 1 buah

38. Tangki Pelarutan Kaporit

Fungsi : untuk melarutkan air dengan kaporit.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis dilengkapi dengan agitator.

Kondisi operasi :

- T = 30^oC

- Tekanan 1 atm

Data :

Massa kaporit masuk = 1.425,3325 kg/hari

ρ kaporit = 931,123 kg/m^3

Massa air masuk = 4.275,9975 kg/hari

ρ air = 995,68 kg/m^3

$$X\ kaporit = \frac{massa\ kaporit}{massa\ kaporit + massa\ air} = \frac{1.425,3325}{1.425,3325+4.275,9975}$$

= 0,25

$$X\ air = \frac{massa\ air}{massa\ kaporit + massa\ air} = \frac{4.275,9975}{1.425,3325+4.275,9975}$$

= 0,75

$$\rho\ campuran = \frac{1}{\frac{X\ kaporit}{\rho\ kaporit}+\frac{X\ air}{\rho\ air}}\ kg/m^3 = \frac{1}{\frac{0,25}{931,123}+\frac{0,75}{995,68}}\ kg/m^3 = 978,7158\ kg/m^3$$

Volume bahan = 5,8253 m^3

Ditetapkan untuk dimensi tangki:

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.
3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]
4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$
5. Volume ruang kosong = 80% volume tangki

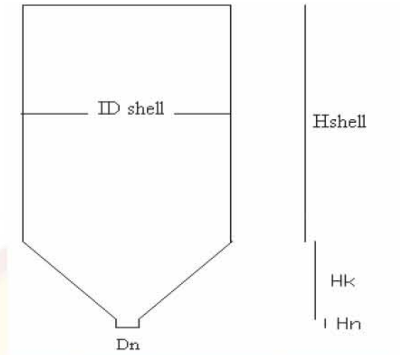
Volume Tangki:

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 5,8253 + 0,2 Volume tangki

Volume tangki = 7,2816 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

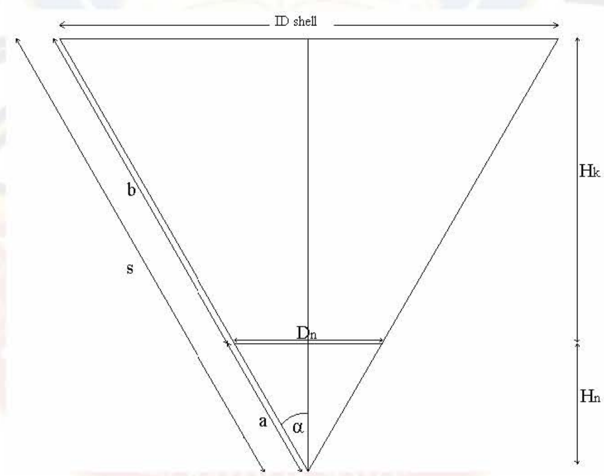
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* = $\frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

Hn = $\frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan Hk = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha}$ - Hn = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3} x \frac{\pi}{4} x ID_{shell}{}^2 x (Hk + Hn) - \frac{1}{3} x \frac{\pi}{4} x Dn^2 x Hn$

$= \frac{1}{3} x \frac{\pi}{4} x ID_{shell}{}^2 x \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2 tg \alpha} + \frac{Dn}{2 tg \alpha}\right) - \frac{1}{3} x \frac{\pi}{4} x Dn^2 x \frac{Dn}{2 tg \alpha}$

$= \frac{\pi}{24 tg 30} (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$7{,}2816\ m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4} x ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24 tg 30} (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$7{,}2816\ m^3 = 1{,}1775\ ID_{shell}{}^3 + 0{,}2266\ ID_{shell}{}^3 - 0{,}0019$

$7{,}2835\ m^3 = 1{,}4041\ ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 1,7311 m = 5,6793 ft = 68,1521 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 1,7311 m = 2,5966 m = 8,5189 ft

Hn $= \frac{Dn}{2 tg \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2 tg 30} = 0{,}1760$ m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2 tg \alpha} = \frac{(1{,}7311 - 0{,}2302)\ m}{2 tg 30} = 1{,}3232$ m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (2,5966 + 1,3232) m = 3,9198 m = 12,8600 ft

a $= \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0{,}2302}{2}\right)^2 + 0{,}1760^2} = 0{,}2032$ m = 0,6667 ft

s $= \sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{1{,}7311}{2}\right)^2 + (1{,}3232 + 0{,}1760)^2}$

= 1,7311 m = 5,6793 ft

b = s – a = (1,7311 – 0,2032) m = 1,5279 m = 5,0126 ft

<u>Tinggi Larutan dalam Tangki</u>

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

$5{,}8253\ m^3 = \frac{\pi}{4} x ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24 tg 30} (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$5{,}8253\ m^3 = \frac{\pi}{4} x 1{,}7311^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24 tg 30} (1{,}7311^3 - 0{,}2302^3)$

$H_{larutan}$ = 1,9775 m = 6,4878 ft

Tinggi larutan dalam tangki $= H_{larutan} + Hk$

$= (1{,}9775 + 1{,}3232)$ m = 3,3007 m = 10,8288 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik $= \frac{\rho_{bahan} \times H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

$= \frac{61{,}0991 \frac{lbm}{ft^3} \times 10{,}8288\ ft}{144} = 4{,}5947$ psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 4,5947) psia = 19,2947 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 19,2947 psia = 23,1536 psia = 1,5751 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$t_{shell} = \frac{23{,}1536\ psia \times 68{,}1521\ in}{2 \times 23.000 \times 0{,}8} + 0{,}125\ in$

= 0,1679 in → standarisasi 3/16 in

Tebal Tutup Konis

Tebal alas $= \frac{P \times D}{2 \cos\alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$

$= \frac{23{,}1536\ psia \times 68{,}1521\ in}{2 \cos 30\ (23.000\ psia \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 23{,}1536\ psia)} + 0{,}125\ in$

= 0,1746 in → standarisasi 3/16 in

Agitator

Ditetapkan untuk agitator:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *Flat six-blade open turbine.* Viskositas dari larutan kaporit adalah 0,001028 kg/m.s (Pa.s) sedangkan syarat viskositas untuk agitator jenis turbin adalah μ = 0-500 Pa.s, sehingga jenis agitator ini dapat digunakan [19, Tabel 4.16].
2. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

Dari Tabel 3.4-1 [17, p.158] diperoleh:

$\frac{Da}{Dt} = 0,3 – 0,5$ $\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$ $\frac{H}{Dt} = 1$

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

Dimana: Da = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$\frac{Da}{Dt} = 0,4 \rightarrow D_a = 0,4\ D_t = 0,4\ .\ 1,7311\ m = 0,6924\ m$

2. Lebar *blade* (W)

$\frac{W}{D_a} = 0,2 \rightarrow W = 0,2\ D_a = 0,2\ .\ 0,6924\ m = 0,1385\ m$

3. Panjang *blade* (L)

$\frac{L}{D_a} = 0{,}25 \rightarrow L = 0{,}25\ D_a = 0{,}25\ .\ 0{,}6924\ m = 0{,}1731\ m$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3}\ D_t = \frac{1}{3}\ .\ 1{,}7311\ m = 0{,}5770\ m$

5. Lebar *buffle* (J)

$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12}\ .\ D_t = \frac{1}{12}\ .\ 1{,}7311\ m = 0{,}1443\ m$

<u>Perhitungan kecepatan pengadukan:</u>

Syarat [20, p. 238, dan 21]:

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm
- Kecepatan keliling putaran (periperal) pengaduk turbin = 200-250 m/menit.

Trial 1 : N = 150 rpm = 2,5 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}6924\ m \times 150\ rpm$

= 326,1331 m/menit → **Tidak memenuhi syarat**

Trial 2 : N = 100 rpm = 1,6667 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}6924\ m \times 100\ rpm$

= 217,4220 m/menit → **Memenuhi syarat**

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [17, p.158]:

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

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

$N_{Re} = \frac{978{,}7158\ x\ 1.6667\ x\ (0.6924)^2}{0.001028}$ = 760.493,9993 → **Turbulen**

Nilai Np dapat dicari dari literatur [17, Fig. 3.4-5]

untuk nilai N_{Re} = 760.493,9993 dan untuk jenis *Flat six-blade open turbine* maka didapatkan nilai Np = 2,4

$P \;=\; Np \; x \; \rho \; x \; N^3 \; x \; Da^5$ [17, p.159]

$P \;= 2{,}4 \times 978{,}7158 \text{ kg/m}^3 \times (1{,}6667)^3 \times (0{,}6924 \text{ m})^5$

P = 1.658,8241 W = 1,6588 kW = 2,2245 Hp

Effisiensi motor = 80%

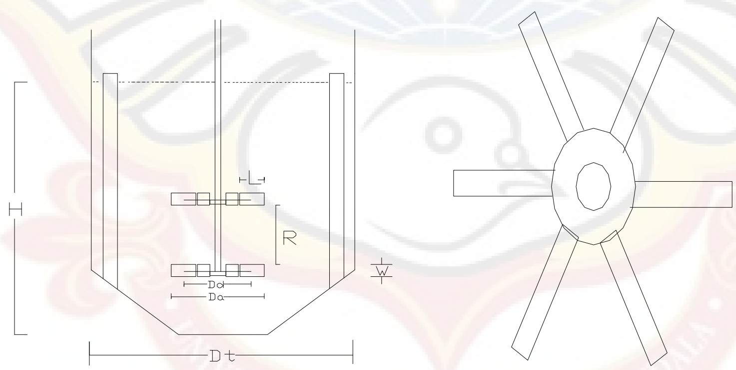
$P \;= \frac{2{,}2245}{0{,}8} = 2{,}7806 \text{ Hp} = 3 \text{ Hp}$

Sg bahan masuk $= \frac{\rho_{larutan}}{\rho_{air}} = \frac{978{,}7158 \; kg/m^3}{1000 \; kg/m^3} = 0{,}9787$

Jumlah pengaduk $= \frac{Sg \; x \; H_{shell}}{ID_{shell}} = \frac{0{,}9787 \; x \; 2{,}5966 \; m}{1{,}7311 m} = 1{,}4681 \approx 1$ buah

Jarak pengaduk (R) = (Tinggi larutan dalam tangki – C) / 3

= (3,3007 – 0,5770) / 3 = 0,9079 m



Gambar Tangki dan Agitator

SPESIFIKASI

Kapasitas : 7,2816 m^3

ID_{shell} : 1,7311 m

H_k : 1,3232 m

H_{shell} : 2,5966 m

H total : 3,9198 m

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jenis pengaduk : *Flat six-blade open turbine*

Diameter pengaduk (Da) : 0,6924 m

Jarak dasar tangki ke pengaduk (C): 0,5770 m

Panjang *blade* (L) : 0,1731 m

Lebar *baffle* (J) : 0,1443 m

Lebar *blade* (W) : 0,1385 m

Jarak pengaduk (R) : 0,9079 m

Jumlah pengaduk : 1 buah

Power : 3 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

Jumlah Tangki : 1 buah

39. Pompa

Fungsi : untuk mengalirkan larutan kaporit dari Tangki pelarutan kaporit ke Tangki Perendaman (M-210).

Tipe : *centrifugal pump*

Data:

$T_{operasi} = 30^oC$

Massa larutan kaporit = 5.701,33 kg/hari = 5.701,33 kg/jam

ρ larutan kaporit = 978,7158 kg/m^3 = 61,0991 lb/ft^3

Viskositas larutan kaporit = 0,001028 kg/m.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{5.701,33 \text{ kg/jam}}{978,7158 \text{ kg/m}^3}$ = 5,8253 m^3/jam = 0,0016 m^3/s

= 0,0571 ft^3/s

Laju larutan kaporit masuk (m) = 0,0016 m^3/s x 978,7158 kg/m^3 = 1,5837 kg/s

Perhitungan Diameter Pompa

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

$$Di,opt = 3,9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13} \qquad [21]$$

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt = 3,9 . (0, 0571) ^{0,45}. (61,0991) ^{0,13} = 1,8361 inch ≈ 2,067 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 2 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 2,067 inch = 0,1722 ft = 0,0525 m

A = 0,0233 ft^2

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0,0571 \text{ ft}^3/s}{0,0233 \text{ ft}^2}$ = 2,4525 ft/s = 0,7475 m/s

$$N_{Re} = \frac{\rho \times v \times ID}{\mu}$$

$$= \frac{61,0991 \frac{lbm}{ft^3} \times 2,4525 \frac{ft}{s} \times 0,1722 \text{ ft}}{0,0007 \text{ lb/ft.s}}$$

= 37.350,4657 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, α = 1

FRIKSI

- *Sudden contraction*

A_{pipa} <<< A_{tangki}

$$Kc = 0,55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right) \qquad [17, Eq. 2.10-16]$$

A_{pipa}/A_{tangki} = 0 , karena A_{tangki} (A_1) jauh lebih besar dibanding A_{pipa} (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

$hc = Kc \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) x \frac{v^2}{2\alpha}$ = 0,55 x (1-0) x $\frac{(0,7475)^2}{2.1}$ = 0,1537 J/kg

- *Sudden enlargement*

$hex = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2 x \frac{v^2}{2\alpha}$ = $(1\text{-}0)^2$ x $\frac{(0,7475)^2}{2.1}$ = 0,2794 J/kg

- Friksi pada pipa lurus

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

$\varepsilon = 4{,}6.10^{-5}$ m

harga $\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4{,}6.10^{-5}\ m}{0{,}1023\ m}$ = 0,0004 → f = 0,005 [17, Fig.2.10-3]

ΔL = (0,5 + 2 + 5,3 + 0,5 + 1) m = 9,3 m

$F_f = 4f\ x\ \frac{\Delta L}{ID}\ x\ \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

= 4 x 0,005 x $\frac{9{,}3\ m}{0{,}0525\ m}\ x\ \frac{(0{,}7475\ m/s)^2}{2}$ = 0,9899 J/kg

- Friksi pada *elbow*

Jumlah *elbow* 90^o = 4 buah

Kf *elbow* 90^o = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

$Hf = K_f\ x\ \frac{v^2}{2}$ = 0,75 x $\frac{(0,7475)^2}{2}$ = 0,2096 J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 4 buah, maka = 4 x 0,2096 J/kg = 0,8382 J/kg

- Friksi pada *globe valve*

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

$hf = K_f\ x\ \frac{v^2}{2}$ = 6 x $\frac{(0,7475)^2}{2}$ = 1,6764 J/kg

Σfriksi = (0,1537 + 0,2794 + 0,9899 + 0,8382 + 1,6764)

= 3,9376 J/kg

Power Pompa

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 0,7475 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$z_2 - z_1$ = 3,6347 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

$P_1 = P_2$ = 1 atm

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2 \times 1}(0,7475 - 0)^2 + 9,8 \text{ m/s}^2 (3,6347) \text{ m} + 0 + 3,9376 \text{ J/kg}$$

= 39,8371 J/kg

Ws = -39,8371 J/kg

Dengan Q = 5,8253 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 20% [21, Fig. 13-37]

$$\text{Brake Hp} = -\frac{Ws \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-39,8371 \text{ J/kg} \times 1,5837 \text{ kg/s}}{0,2 \times 550} = 0,5735 \text{ Hp}$$

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

$$\text{Power motor} = \frac{0,5735}{0,8} = 0,7169 \text{ Hp} = 1 \text{ Hp}$$

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 5,8253 m^3/jam = 0,0571 ft^3/s

Ukuran pipa : 2 in *schedule* 40

Power pompa : 1 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

40. Tangki Perendaman (M-210)

Fungsi : untuk merendam rumput laut menjadi putih dan bersih.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis dilengkapi dengan agitator.

Kondisi operasi :

- $T = 30^oC$
- Tekanan 1 atm

Data :

Massa rumput laut masuk = 2.850,665 kg/hari

ρ rumput laut = 1.544 kg/m^3

Massa larutan kaporit masuk = 5.701,33 kg/hari

ρ larutan kaporit = 978,7158 kg/m^3

$$X\ rumput\ laut = \frac{massa\ rumput\ laut}{massa\ rumput\ laut + massa\ larutan\ kaporit} = \frac{2.850,665}{2.850,665 + 5.701,33}$$

$$= 0,333$$

$$X\ larutan\ kaporit = \frac{massa\ larutan\ kaporit}{massa\ rumput\ laut + massa\ larutan\ kaporit} = \frac{5.701,33}{2.850,665 + 5.701,33}$$

$$= 0,667$$

$$\rho\ campuran = \frac{1}{\frac{X\ rumput\ laut}{\rho\ rumput\ laut} + \frac{X\ lar.kaporit}{\rho\ lar.kaporit}}\ kg/m^3 = \frac{1}{\frac{0,333}{1.544} + \frac{0,667}{978,7158}}\ kg/m^3$$

$$= 1.114,7559\ kg/m^3 = 69,5920\ lb/ft^3$$

Volume bahan = 7,6176 m^3

Ditetapkan untuk dimensi tangki:

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.
3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]

4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$

5. Volume ruang kosong = 80% volume tangki

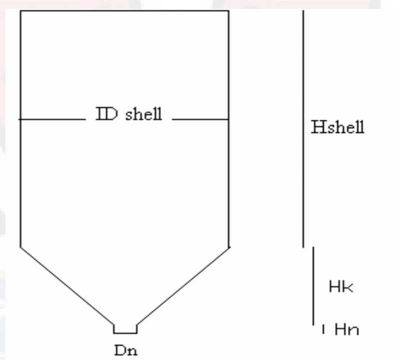
<u>Volume Tangki:</u>

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 7,6176 + 0,2 Volume tangki

Volume tangki = 9,5895 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

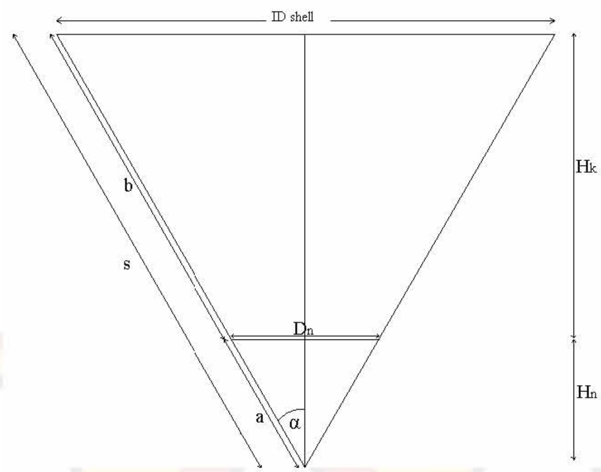
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* = $\frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^{2} \times H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4} \times ID_{shell}^{3}$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

$Hn = \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan $Hk = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - Hn = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$9{,}5895\ m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}^3 - Dn^3)$

$9{,}5895\ m^3 = 1{,}1775\ ID_{shell}^3 + 0{,}2266\ ID_{shell}^3 - 0{,}0019$

$9{,}5914\ m^3 = 1{,}4041\ ID_{shell}^3$

ID_{shell} = 1,8974 m = 6,2250 ft = 74,7009 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 1,8974 m = 2,8461 m = 9,3375 ft

$Hn = \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30} = 0{,}1760\ m$

$Hk = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(1{,}8974 - 0{,}2302)\ m}{2\ tg\ 30} = 1{,}4672\ m$

H_{total} = H_{shell} + Hk = (4,8365 + 2,6164) m = 7,4530 m = 24,4517 ft

a = $\sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2302}{2}\right)^2 + 0,1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s = $\sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{1,8974}{2}\right)^2 + (1,4672 + 0,1760)^2}$

= 1,8974 m = 6,2250 ft

b = s – a = (1,8974 – 0,2032) m = 1,6942 m = 5,5584 ft

Tinggi Larutan dalam Tangki

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

7,6716 m^3 = $\frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

7,6716 m^3 = $\frac{\pi}{4}\ x\ 1,8974^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (1,8974^3 - 0,2302^3)$

$H_{larutan}$ = 2,1675 m = 7,1111 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (2,1675 + 1,4672) m = 3,6347 m = 11,9247 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik = $\frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

= $\frac{69,5920 \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 11,9247\ ft}{144}$ = 5,7630 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 5,7630) psia = 20,4630 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 20,4630 psia = 24,5556 psia = 1,6704 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

t_s = $\frac{P\ x\ D}{2\ x\ f\ x\ E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$$t_{shell} = \frac{24{,}5556\ psia \times 74{,}7009\ in}{2 \times 23.000 \times 0{,}8} + 0{,}125\ in$$

= 0,1748 in → standarisasi 3/16 in

Tebal Tutup Konis

$$\text{Tebal alas} = \frac{P \times D}{2 \cos\alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$$

$$= \frac{24{,}5556\ psia \times 74{,}7009\ in}{2 \cos 30\ (23.000\ psia \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 24{,}5556\ psia)} + 0{,}125\ in$$

= 0,1826 in → standarisasi 3/16 in

Agitator

Ditetapkan untuk agitator:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *Flat six-blade open turbine.* Viskositas dari larutan adalah 0,0011 kg/m.s (Pa.s) sedangkan syarat viskositas untuk agitator jenis turbin adalah μ = 0-500 Pa.s, sehingga jenis agitator ini dapat digunakan [19, Tabel 4.16].
2. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

Dari Tabel 3.4-1 [17, p.158] diperoleh:

$\frac{Da}{Dt} = 0{,}3 - 0{,}5$ $\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$ $\frac{H}{Dt} = 1$

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

Dimana: Da = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$\frac{Da}{Dt} = 0{,}4 \rightarrow D_a = 0{,}4\ D_t = 0{,}4\ .\ 1{,}8974\text{ m} = 0{,}7590\text{ m}$

2. Lebar *blade* (W)

$\frac{W}{D_a} = 0{,}2 \rightarrow W = 0{,}2\ D_a = 0{,}2\ .\ 0{,}7590\text{ m} = 0{,}1518\text{ m}$

3. Panjang *blade* (L)

$\frac{L}{D_a} = 0{,}25 \rightarrow L = 0{,}25\ D_a = 0{,}25\ .\ 0{,}7590\text{ m} = 0{,}1897\text{ m}$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3}\ D_t = \frac{1}{3}\ .\ 1{,}8974\text{ m} = 0{,}6325\text{ m}$

5. Lebar *buffle* (J)

$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12}\ .\ D_t = \frac{1}{12}\ .\ 1{,}8974\text{ m} = 0{,}1581\text{ m}$

Perhitungan kecepatan pengadukan:

Syarat [20, p. 238, dan 21]:

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm
- Kecepatan keliling putaran (periperal) pengaduk turbin = 200-250 m/menit.

Trial 1 : N = 150 rpm = 2,5 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}7590\text{ m} \times 150\text{ rpm}$

= 357,4714 m/menit → **Tidak memenuhi syarat**

Trial 2 : N = 100 rpm = 1,6667 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}7590$ m × 100 rpm

= 238,3142 m/menit → **Memenuhi syarat**

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [17, p.158]:

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

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

$N_{Re} = \frac{1114,7599 \; x \; 1,6667 \; x \; (0,7590)^2}{0,0011}$ = 948.593,4436 → **Turbulen**

Nilai Np dapat dicari dari literatur [17, Fig. 3.4-5]

untuk nilai N_{Re} = 948.593,4436 dan untuk jenis *Flat six-blade open turbine* maka didapatkan nilai Np = 2,4

P = $Np \, x \, \rho \, x \, N^3 \, x Da^5$ [17, p.159]

P = 2,4 × 1.114,7599 kg/m^3 × (1,6667)^3 × (0,7590 m)^5

P = 2.989,2149 W = 2,9892 kW = 4,0086 Hp

Effisiensi motor = 80%

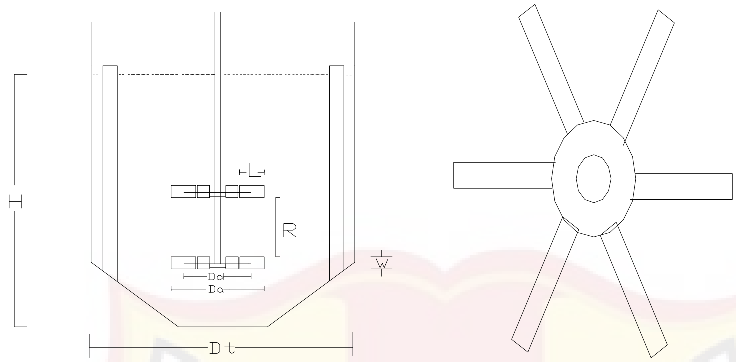
P = $\frac{4,0086}{0,8}$ = 5,0108 Hp = 5 Hp

Sg bahan masuk = $\frac{\rho_{larutan}}{\rho_{air}} = \frac{1114,7599 \; kg/m^3}{1000 \; kg/m^3}$ = 1,1148

Jumlah pengaduk = $\frac{Sg \; x \; H_{shell}}{ID_{shell}} = \frac{1,1148 \; x \; 2,8461 \; m}{1,8974 \; m}$ = 1,6721 ≈ 2 buah

Jarak pengaduk (R) = (Tinggi larutan dalam tangki – C) / 3

= (3,6347 – 0,6325) / 3 = 1,0007 m



Gambar Tangki dan Agitator

SPESIFIKASI

Kapasitas : 9,5895 m^3

ID_{shell} : 1,8974 m

H_k : 1,4672 m

H_{shell} : 2,8461 m

H total : 4,3133 m

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jenis pengaduk : *Flat six-blade open turbine*

Diameter pengaduk (Da) : 0,7590 m

Jarak dasar tangki ke pengaduk (C): 0,6325 m

Panjang *blade* (L) : 0,1897 m

Lebar *baffle* (J) : 0,1581 m

Lebar *blade* (W) : 0,1518 m

Jarak pengaduk (R) : 1,0007 m

Jumlah pengaduk : 2 buah

Power : 5 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

Jumlah Tangki : 1 buah

41. Tangki Pelarutan Asam Sitrat

Fungsi : untuk melarutkan air dengan asam sitrat.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis dilengkapi dengan agitator.

Kondisi operasi :

- T = 30°C
- Tekanan 1 atm

Data :

Massa asam sitrat masuk = 299,3198 kg/hari

ρ asam sitrat = 1.548,85 kg/m^3

Massa air masuk = 5.687,0766 kg/hari

ρ air = 995,68 kg/m^3

X asam sitrat = $\frac{massa\ asam\ sitrat}{massa\ asam\ sitrat + massa\ air} = \frac{299{,}3198}{299{,}3198 + 5.687{,}0766}$

= 0,05

X air = $\frac{massa\ air}{massa\ asam\ sitrat + massa\ air} = \frac{5.687{,}0766}{299{,}3198 + 5.687{,}0766}$

= 0,95

ρ campuran = $\frac{1}{\frac{X\ asam\ sitrat}{\rho\ asam\ sitrat} + \frac{X\ air}{\rho\ air}}$ kg/m^3 = $\frac{1}{\frac{0{,}05}{1.548{,}85} + \frac{0{,}95}{995{,}68}}$ kg/m^3 = 1.013,7836 kg/m^3

Volume bahan = 5,9050 m^3

Ditetapkan untuk dimensi tangki:

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.

3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]

4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$

5. Volume ruang kosong = 80% volume tangki

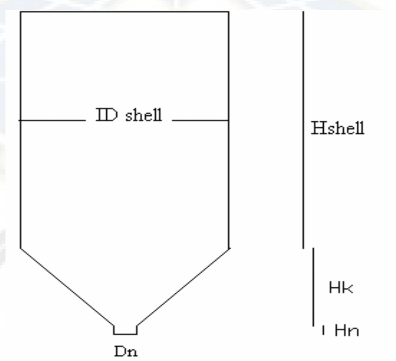
Volume Tangki:

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 5,9050 + 0,2 Volume tangki

Volume tangki = 7,3813 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

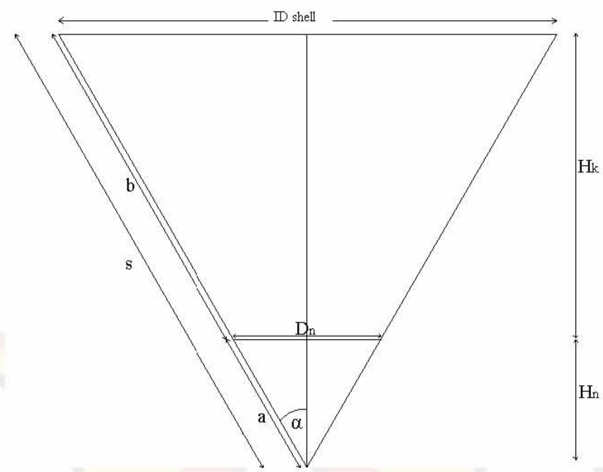
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1} \rightarrow$ volume *shell* $= \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

Hn = $\frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan Hk = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha}$ - Hn = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$7{,}3813\ m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$7{,}3813\ m^3$ = 1,1775 $ID_{shell}{}^3$ + 0,2266 $ID_{shell}{}^3$ – 0,0019

$7{,}3832\ m^3$ = 1,4041 $ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 1,7389 m = 5,7051 ft = 68,4614 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 1,7389 m = 2,6084 m = 8,5576 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30}$ = 0,1760 m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(1{,}7389 - 0{,}2302)\ m}{2\ tg\ 30}$ = 1,3300 m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (2,6084 + 1,3300) m = 3,9384 m = 12,9210 ft

a = $\sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2}$ = $\sqrt{\left(\frac{0,2302}{2}\right)^2 + 0,1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s = $\sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2}$ = $\sqrt{\left(\frac{1,7389}{2}\right)^2 + (1,3300 + 0,1760)^2}$

= 1,7389 m = 8,5576 ft

b = s – a = (1,7389 – 0,2032) m = 1,5357 m = 5,0384 ft

Tinggi Larutan dalam Tangki

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

$5,9050\ m^3 = \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$5,9050\ m^3 = \frac{\pi}{4}\ x\ 1,7389^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (1,7389^3 - 0,2302^3)$

$H_{larutan}$ = 1,9865 m = 6,5172 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (1,9865 + 1,3300) m = 3,3164 m = 10,8806 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik = $\frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

= $\frac{63,2883 \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 10,8806\ ft}{144}$ = 4,7820 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 4,7820) psia = 19,4820 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 19,4820 psia = 23,3785 psia = 1,5904 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

$t_s = \frac{P\ x\ D}{2\ x\ f\ x\ E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$$t_{shell} = \frac{23{,}3785\ psia \times 68{,}4614\ in}{2 \times 23.000 \times 0{,}8} + 0{,}125\ in$$

= 0,1685 in → standarisasi 3/16 in

Tebal Tutup Konis

$$\text{Tebal alas} = \frac{P \times D}{2 \cos\alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$$

$$= \frac{23{,}3785\ psia \times 68{,}4614\ in}{2 \cos 30\ (23.000\ psia \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 23{,}3785\ psia)} + 0{,}125\ in$$

= 0,1753 in → standarisasi 3/16 in

Agitator

Ditetapkan untuk agitator:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *Flat six-blade open turbine.* Viskositas dari asam sitrat adalah 0,000818 kg/m.s (Pa.s) sedangkan syarat viskositas untuk agitator jenis turbin adalah μ = 0-500 Pa.s, sehingga jenis agitator ini dapat digunakan [19, Tabel 4.16].
2. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

Dari Tabel 3.4-1 [17, p.158] diperoleh:

$\frac{Da}{Dt}$ = 0,3 – 0,5 $\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$ $\frac{H}{Dt} = 1$

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

Dimana: Da = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$\frac{Da}{Dt}$ = 0,4 → D_a = 0,4 D_t = 0,4 . 1,7389 m = 0,6956 m

2. Lebar *blade* (W)

$\frac{W}{D_a}$ = 0,2 → W = 0,2 D_a = 0,2 . 0,6956 m = 0,1391 m

3. Panjang *blade* (L)

$\frac{L}{D_a}$ = 0,25 → L = 0,25 D_a = 0,25 . 0,6956 m = 0,1739 m

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3}$ → C = $\frac{1}{3}$ D_t = $\frac{1}{3}$. 1,7389 m = 0,5796 m

5. Lebar *buffle* (J)

$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12}$ → J = $\frac{1}{12}$. D_t = $\frac{1}{12}$. 1,7389 m = 0,1449 m

<u>Perhitungan kecepatan pengadukan:</u>

Syarat [20, p. 238, dan 21]:

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm
- Kecepatan keliling putaran (periperal) pengaduk turbin = 200-250 m/menit.

Trial 1 : N = 150 rpm = 2,5 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}6956 \text{ m} \times 150 \text{ rpm}$

= 327,6131 m/menit → **Tidak memenuhi syarat**

Trial 2 : N = 100 rpm = 1,6667 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}6956$ m × 100 rpm

= 218,4087 m/menit → **Memenuhi syarat**

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [17, p.158]:

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

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

$$N_{Re} = \frac{1.013,7836 \times 1,6667 \times (0,6956)^2}{0,000818} = 999.098,7167$$ → **Turbulen**

Nilai Np dapat dicari dari literatur [17, Fig. 3.4-5]

untuk nilai N_{Re} = 999.098,7167 dan untuk jenis *Flat six-blade open turbine* maka didapatkan nilai Np = 2,3

$$P = Np \times \rho \times N^3 \times Da^5 \qquad [17, p.159]$$

P = 2,3 × 1.013,7836 kg/m^3 × $(1{,}6667)^3$ × $(0{,}6956\ m)^5$

P = 1.757,6032 W = 1,7576 kW = 2,3570 Hp

Effisiensi motor = 80%

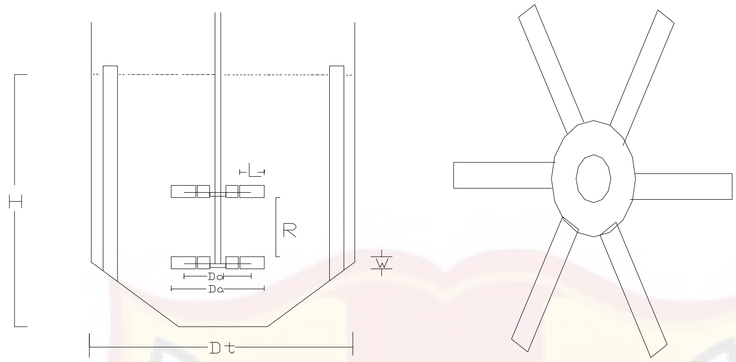
$$P = \frac{2,3570}{0,8} = 2,9462 \text{ Hp} = 3 \text{ Hp}$$

$$\text{Sg bahan masuk} = \frac{\rho_{larutan}}{\rho_{air}} = \frac{1.013,7836\ kg/m^3}{1000\ kg/m^3} = 1,0138$$

$$\text{Jumlah pengaduk} = \frac{Sg \times H_{shell}}{ID_{shell}} = \frac{1,0138 \times 2,6084\ m}{1,7389\ m} = 1,5207 \approx 2 \text{ buah}$$

Jarak pengaduk (R) = (Tinggi larutan dalam tangki – C) / 3

= (3,3164 – 0,5796) / 3 = 0,9123 m



Gambar Tangki dan Agitator

SPESIFIKASI

Kapasitas : 7,3813 m^3

ID_{shell} : 1,7389 m

H_k : 1,3300 m

H_{shell} : 2,6084 m

H total : 3,9384 m

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jenis pengaduk : *Flat six-blade open turbine*

Diameter pengaduk (Da) : 0,6956 m

Jarak dasar tangki ke pengaduk (C): 0,5796 m

Panjang *blade* (L) : 0,1739 m

Lebar *baffle* (J) : 0,1449 m

Lebar *blade* (W) : 0,1391 m

Jarak pengaduk (R) : 0,9123 m

Jumlah pengaduk : 2 buah

Power : 3 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

Jumlah Tangki : 1 buah

42. Screen + Washer (H-211)

Fungsi : untuk memisahkan rumput laut dari larutan kaporit dan juga rumput laut dibersihkan dari larutan kaporit.

Tipe : *vibratory screen*.

Dasar pemilihan : efisiensi tinggi, kapasitas tinggi, *maintenance cost* rendah, ruang yg dibutuhkan kecil.

Perhitungan :

Massa rumput laut (m) = 2.850,665 kg/hari = 0,0329 kg/s

Ukuran rumput laut = 5 cm

Dari [17], ditetapkan:

Ukuran lubang *screen* : 1 cm

Panjang *screen* : 2 m

Lebar *screen* : 1 m

Luas *screen* : 2 m^2

Power (Hp) = $\frac{16.000 \ x \ m}{Dp} = \frac{16.000 \ x 0.0329 \ kg/s}{50.000 \ \mu m}$ = 0,0105 hp

SPESIFIKASI

Kapasitas : 2.850,665 kg/hari = 0,0329 kg/s

Lebar *screen* : 1 m

Panjang *screen* : 2 m

Luas *screen* : 2 m^2

Power : 0,01 Hp

Bahan : *Carbon Steel*

Jumlah : 1 buah

43. Pompa

Fungsi : untuk mengalirkan larutan asam sitrat dari Tangki pelarutan asam sitrat ke Tangki Pelembutan (M-220).

Tipe : *centrifugal pump*

Data:

$T_{operasi}$ = 30°C

Massa larutan asam sitrat = 5.986,3964 kg/hari = 5.986,3964 kg/jam

ρ larutan asam sitrat = 1.013,7836 kg/m^3 = 63,2883 lb/ft^3

Viskositas larutan asam sitrat = 0,000818 kg/m.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{5.986,3964 \text{ kg/jam}}{1.013,7836 \text{ kg/m}^3}$ = 5,9050 m^3/jam = 0,0016 m^3/s

= 0,0579 ft^3/s

Laju larutan asam sitrat masuk (m) = 0,0016 m^3/s x 1.013,7836 kg/m^3 = 1,6629 kg/s

Perhitungan Diameter Pompa

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

Di,opt = $3{,}9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13}$ [21]

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt = 3,9 . (0, 0579)^{0,45}. (63,2883)^{0,13} = 1,8558 inch ≈ 2,067 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 2 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 2,067 inch = 0,1722 ft = 0,0525 m

A = 0,0233 ft^2

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0{,}0579 \text{ ft}^3/\text{s}}{0{,}0233 \text{ ft}^2}$ = 2,4861 ft/s = 0,7578 m/s

$N_{Re} = \frac{\rho \; x \; v \; x \; ID}{\mu}$

$= \frac{63,2883 \frac{lbm}{ft^3} x \, 2,4861 \frac{ft}{s} x \, 0,1722 \; ft}{0,0005 \; lb/ft.s}$

= 49.292,0106 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, α = 1

FRIKSI

➢ *Sudden contraction*

$A_{pipa} <<< A_{tangki}$

$Kc = 0,55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right)$ [17, Eq. 2.10-16]

$A_{pipa}/A_{tangki} = 0$, karena A_{tangki} (A_1) jauh lebih besar dibanding A_{pipa} (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

$hc = Kc \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) x \; \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \; x \; (1\text{-}0) \; x \; \frac{(0,7578)^2}{2.1} = 0,1579$ J/kg

➢ *Sudden enlargement*

$hex = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2 x \; \frac{v^2}{2\alpha} = (1\text{-}0)^2 \; x \; \frac{(0,7578)^2}{2.1} = 0,2871$ J/kg

➢ Friksi pada pipa lurus

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

$\varepsilon = 4,6.10^{-5}$ m

harga $\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4,6.10^{-5} \; m}{0,1023 \; m} = 0,0004$ → f = 0,005 [17, Fig.2.10-3]

ΔL = (0,5 + 1,9 + 5,35 + 0,5 + 1) m = 9,25 m

$F_f = 4f \; x \; \frac{\Delta L}{ID} \; x \; \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

$= 4 \; x \; 0,005 \; x \; \frac{9,25 \; m}{0,0525 \; m} \; x \; \frac{(0,7578 \; m/s)^2}{2} = 1,0117$ J/kg

➢ Friksi pada *elbow*

Jumlah *elbow* 90^o = 4 buah

Kf *elbow* 90^o = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

Hf = $K_f \; x \; \frac{v^2}{2}$ = 0,75 x $\frac{(0,7578)^2}{2}$ = 0,2153 J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 4 buah, maka = 4 x 0,2153 J/kg = 0,8613 J/kg

➢ <u>Friksi pada *globe valve*</u>

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

hf = $K_f \; x \; \frac{v^2}{2}$ = 6 x $\frac{(0,7578)^2}{2}$ = 1,7226 J/kg

Σfriksi = (0,1579 + 0,2871 + 1,0117 + 0,8613 + 1,7226)

= 4,0406 J/kg

<u>Power Pompa</u>

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 0,7578 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$z_2 - z_1$ = 3,6630 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

$P_1 = P_2$ = 1 atm

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g\,(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2 \times 1}(0{,}7578 - 0)^2 + 9{,}8\ m/s^2 (3{,}6630)\ m + 0 + 4{,}0406\ J/kg$$

= 39,9478 J/kg

Ws = -39,9478 J/kg

Dengan Q = 5,9050 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 20% [21, Fig. 13-37]

Brake Hp = $-\frac{Ws \times m}{\eta \times 550}$ = $-\frac{-39,9478\ J/kg\ x\ 1,6629\ kg/s}{0,2\ x\ 550}$ = 0,6039 Hp

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

Power motor = $\frac{0,6039}{0,8}$ = 0,7549 Hp = 1 Hp

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 5,9050 m^3/jam = 0,0579 ft^3/s

Ukuran pipa : 2 in *schedule* 40

Power pompa : 1 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

44. Tangki Pelembutan (M-220)

Fungsi : untuk melembutkan rumput laut sehingga mudah diekstraksi.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis dilengkapi dengan agitator.

Kondisi operasi :

- T = 30°C
- Tekanan 1 atm

Data :

Massa rumput laut masuk = 2.993,1982 kg/hari

ρ rumput laut = 1.544 kg/m^3

Massa larutan asam sitrat masuk = 5.986,39 kg/hari

ρ larutan asam sitrat = 1.013,7836 kg/m^3

X rumput laut = $\frac{massa\ rumput\ laut}{massa\ rumput\ laut + massa\ larutan\ as.sitrat} = \frac{2.993,1982}{2.993,1982 + 5.986,39}$

= 0,333

X larutan as.sitrat = $\frac{massa\ larutan\ as.sitrat}{massa\ rumput\ laut + massa\ larutan\ as.sitrat} = \frac{5.986,39}{2.993,1982 + 5.986,39}$

= 0,667

ρ campuran $= \frac{1}{\frac{X\ rumput\ laut}{\rho\ rumput\ laut}+\frac{X\ lar.kaporit}{\rho\ lar.kaporit}}$ kg/m^3 = $\frac{1}{\frac{0,333}{1.544}+\frac{0,667}{1.015,7836}}$ kg/m^3

= 1.144,8303 kg/m^3 = 71,4693 lb/ft^3

Volume bahan = 7,8436 m^3

Ditetapkan untuk dimensi tangki:

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.
3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]
4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$
5. Volume ruang kosong = 80% volume tangki

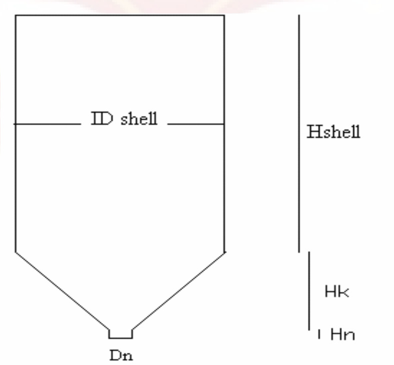
Volume Tangki:

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 7,8436 + 0,2 Volume tangki

Volume tangki = 9,8045 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

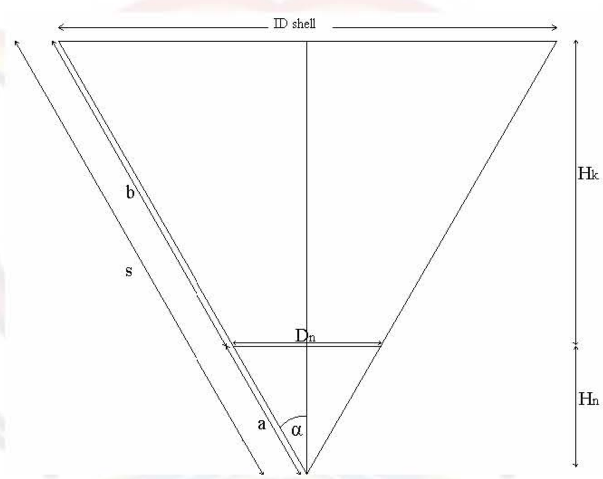
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* $= \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

$Hn = \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan $Hk = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - Hn = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$9,8045\ m^3 = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$9,8045\ m^3 = 1,1775\ ID_{shell}{}^3 + 0,2266\ ID_{shell}{}^3 - 0,0019$

$9,8064\ m^3 = 1,4041\ ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 1,9115 m = 6,2712 ft = 75,2549 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 1,9115 m = 2,8672 m = 9,4068 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30}$ = 0,1760 m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(1{,}9115 - 0{,}2302)\ m}{2\ tg\ 30}$ = 1,4794 m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (2,8672+ 1,4794) m = 4,3466 m = 14,2604 ft

a $= \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0{,}2302}{2}\right)^2 + 0{,}1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s $= \sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{1{,}9115}{2}\right)^2 + (1{,}4794 + 0{,}1760)^2}$

= 1,9115 m = 6,2712 ft

b = s – a = (1,9115 – 0,2032) m = 1,7083 m = 5,6045 ft

Tinggi Larutan dalam Tangki

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

7,8436 m^3 $= \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

7,8436 m^3 $= \frac{\pi}{4}\ x\ 1{,}9115^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (1{,}9115^3 - 0{,}2302^3)$

$H_{larutan}$ = 2,1835 m = 7,1638 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (2,1835 + 1,4794) m = 3,6630 m = 12,0174 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik $= \frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

$= \frac{71{,}4693 \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 12{,}0174\ ft}{144}$ = 5,9644 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 5,9644) psia = 20,6644 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

$= 1{,}2 \cdot 20{,}6644$ psia = 24,7973 psia = 1,6869 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

$t_s = \frac{P \times D}{2 \times f \times E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$t_{shell} = \frac{24{,}7973 \; psia \times 75{,}2549 \; in}{2 \times 23.000 \times 0{,}8} + 0{,}125 \; in$

= 0,1757 in → standarisasi 3/16 in

Tebal Tutup Konis

Tebal alas $= \frac{P \times D}{2 \cos\alpha \, (f.E - 0{,}6\,P)} + c$

$= \frac{24{,}7973 \; psia \times 75{,}2549 \; in}{2 \cos 30 \; (23.000 \; psia \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 24{,}7973 \; psia)} + 0{,}125 \; in$

= 0,1836 in → standarisasi 3/16 in

Agitator

Ditetapkan untuk agitator:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *Flat six-blade open turbine.* Viskositas dari larutan adalah 0,0009 kg/m.s (Pa.s) sedangkan syarat viskositas untuk agitator jenis turbin adalah μ = 0-500 Pa.s, sehingga jenis agitator ini dapat digunakan [19, Tabel 4.16].
2. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

Dari Tabel 3.4-1 [17, p.158] diperoleh:

$\frac{Da}{Dt} = 0{,}3 - 0{,}5$ $\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$ $\frac{H}{Dt} = 1$

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

Dimana: Da = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$\frac{Da}{Dt} = 0,4 \rightarrow D_a = 0,4\ D_t = 0,4\ .\ 1,9115\ m = 0,7646\ m$

2. Lebar *blade* (W)

$\frac{W}{D_a} = 0,2 \rightarrow W = 0,2\ D_a = 0,2\ .\ 0,7646\ m = 0,1529\ m$

3. Panjang *blade* (L)

$\frac{L}{D_a} = 0,25 \rightarrow L = 0,25\ D_a = 0,25\ .\ 0,7646\ m = 0,1911\ m$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3}\ D_t = \frac{1}{3}\ .\ 1,9115\ m = 0,6372\ m$

5. Lebar *buffle* (J)

$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12}\ .\ D_t = \frac{1}{12}\ .\ 1,9115\ m = 0,1593\ m$

<u>Perhitungan kecepatan pengadukan:</u>

Syarat [20, p. 238, dan 21]:

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm

- Kecepatan keliling putaran (periperal) pengaduk turbin = 200-250 m/menit.

Trial 1 : N = 150 rpm = 2,5 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}7646 \text{ m} \times 150 \text{ rpm}$

= 360,1226 m/menit → **Tidak memenuhi syarat**

Trial 2 : N = 100 rpm = 1,6667 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}7646 \text{ m} \times 100 \text{ rpm}$

= 240,0817 m/menit → **Memenuhi syarat**

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [17, p.158]:

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

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

$N_{Re} = \frac{1144{,}8303 \ x \ 1{,}6667 \ x \ (0{,}7646)^2}{0{,}0009}$ = 1.174.430,4567 → **Turbulen**

Nilai Np dapat dicari dari literatur [17, Fig. 3.4-5]

untuk nilai N_{Re} = 1.174.430,4567 dan untuk jenis *Flat six-blade open turbine* maka didapatkan nilai Np = 2,15

P = $Np \, x \, \rho \, x \, N^3 \, x Da^5$ [17, p.159]

P = 2,15 × 1.144,8303 kg/m^3 × (1,6667)^3 × (0,7646 m)^5

P = 2.977,6461 W = 2,9776 kW = 3,9931 Hp

Effisiensi motor = 80%

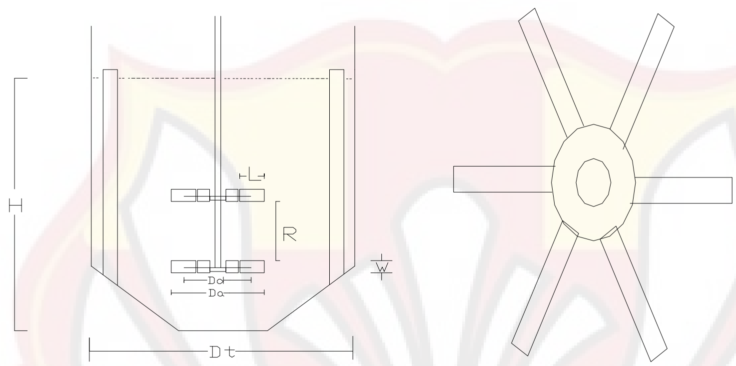
P = $\frac{3{,}9931}{0{,}8}$ = 4,9914 Hp = 5 Hp

Sg bahan masuk = $\frac{\rho_{larutan}}{\rho_{air}} = \frac{1144{,}8303 \ kg/m^3}{1000 \ kg/m^3}$ = 1,1448

Jumlah pengaduk $= \frac{Sg \times H_{shell}}{ID_{shell}} = \frac{1,1448 \times 2,8672\ m}{1,9115\ m} = 1,7172 \approx 2$ buah

Jarak pengaduk (R) = (Tinggi larutan dalam tangki – C) / 3

= (3,6630 – 0,6372) / 3 = 1,0086 m



Gambar Tangki dan Agitator

SPESIFIKASI

Kapasitas : 9,8045 m^3

ID_{shell} : 1,9115 m

H_k : 1,4794 m

H_{shell} : 2,8672 m

H total : 4,3466 m

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jenis pengaduk : *Flat six-blade open turbine*

Diameter pengaduk (Da) : 0,7646 m

Jarak dasar tangki ke pengaduk (C): 0,6372 m

Panjang *blade* (L) : 0,1911 m

Lebar *baffle* (J) : 0,1593 m

Lebar *blade* (W) : 0,1529 m

Jarak pengaduk (R) : 1,0086 m

Jumlah pengaduk : 2 buah

Power : 5 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

Jumlah Tangki : 1 buah

45. Screen + Washer (H-221)

Fungsi : untuk memisahkan rumput laut dari larutan asam sitrat dan juga rumput laut dibersihkan dari larutan asam sitrat.

Tipe : *vibratory screen*.

Dasar pemilihan : efisiensi tinggi, kapasitas tinggi, *maintenance cost* rendah, ruang yg dibutuhkan kecil.

Perhitungan :

Massa rumput laut (m) = 2.993,1982 kg/hari = 0,0346 kg/s

Ukuran rumput laut = 5 cm

Dari [17], ditetapkan:

Ukuran lubang *screen* : 1 cm

Panjang *screen* : 2 m

Lebar *screen* : 1 m

Luas *screen* : 2 m^2

Power (Hp) = $\frac{16.000\ x\ m}{Dp} = \frac{16.000\ x 0.0346\ kg/s}{50.000\ \mu m}$ = 0,0111 hp

SPESIFIKASI

Kapasitas : 2.993,1982 kg/hari = 0,0346 kg/s

Lebar *screen* : 1 m

Panjang *screen* : 2 m

Luas *screen* : 2 m^2

Power : 0,01 Hp

Bahan : *Carbon Steel*

Jumlah : 1 buah

46. Cutter (C-222)

Fungsi : untuk memotong rumput laut.

Tipe : *rotary knife cutter*

Dasar pemilihan : cocok untuk memotong padatan, harga murah, dan umum digunakan.

Kondisi operasi :

$P_{operasi}$: 1 atm

$T_{operasi}$: 30°C

Waktu operasi = 1 jam

Kapasitas = 2.993,1982 kg/hari = 0,0346 kg/s

Untuk kapasitas 2.993,1982 kg/jam diperoleh data sebagai berikut: [27]

Luas alas *cutter* = 102 x 43 in

Kecepatan = 500 rpm

Power = 30 hp

SPESIFIKASI

Kapasitas : 2.993,1982 kg/jam

Luas alas *cutter* : 102 x 43 in

Kecepatan : 500 rpm

Power : 30 hp

Tinggi support : 0,5 m

Jumlah : 1 buah

47. Belt Conveyor (J-223)

Fungsi : Sebagai alat untuk mendistribusikan rumput laut ke tangki ekstraksi (M-230)

Tipe : *Belt Conveyor*

Dasar pemilihan : cocok digunakan untuk mendistribusikan komponen solid, biaya operasi yang murah.

Kondisi operasi :

P operasi = 1 atm

T operasi = 30°C

Ditetapkan :

1. Waktu operasi = 15 menit
2. Massa rumput laut = 3.142,858 kg/hari = 12,58 ton/jam
3. Panjang *belt* = 7,5 m
4. Tebal *belt* = 2 mm
5. Sudut elevasi = 30°

Dari [17, Tbl. 21-7] untuk kapasitas 12,58 ton/jam diperoleh :

1. Lebar *belt* = 0,35 m

2. Kecepatan *belt* = 30,5 m/s

Power (HP) = TPH x H x 0,002 x C [34, p.1355]

Dimana : TPH = kapasitas (ton/jam)

H = panjang *belt* (m)

C = faktor bahan

Power (HP) = 12,58 ton/jam x 7,5 m x 0,002 x 2 = 0,3774 Hp

Efisiensi = 80 %, sehingga power = $\frac{0,3374}{0,8}$ = 0,4718 Hp = 0,5 Hp

SPESIFIKASI

Kapasitas : 12,58 ton/jam

Lebar *belt* : 0,35 m

Panjang *belt* : 7,5 m

Tebal *belt* : 2 mm

Kecepatan *belt* : 30,5 m/s

Sudut elevasi : 30^o

Power : 0,5 Hp

Bahan konstruksi : *Carbon Steel*

Jumlah : 1 buah

48. Tangki Pengenceran Asam Asetat

Fungsi : untuk melarutkan air dengan asam asetat.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis dilengkapi dengan agitator.

Kondisi operasi :

- T = 30^oC

- Tekanan 1 atm

Data :

Massa asam asetat masuk = 30,5428 kg/hari

ρ asam asetat = 996,4 kg/m^3 [25]

Massa air masuk = 5.955,854 kg/hari

ρ air = 995,68 kg/m^3 [17]

X asam asetat = $\frac{massa\ asam\ asetat}{massa\ asam\ asetat + massa\ air}$ = $\frac{30,5428}{30,5428 + 5.955,854}$ = 0,005

X air = $\frac{massa\ air}{massa\ asam\ asetat + massa\ air}$ = $\frac{5.995,854}{30,5428 + 5.955,854}$ = 0,995

ρ campuran = $\frac{1}{\frac{X\ asam\ asetat}{\rho\ asam\ asetat} + \frac{X\ air}{\rho\ air}}$ kg/m^3 = $\frac{1}{\frac{0,005}{996,4} + \frac{0,995}{995,68}}$ kg/m^3 = 995,6837 kg/m^3

Volume bahan = 6,0123 m^3

<u>Ditetapkan untuk dimensi tangki:</u>

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.
3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]
4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$
5. Volume ruang kosong = 80% volume tangki

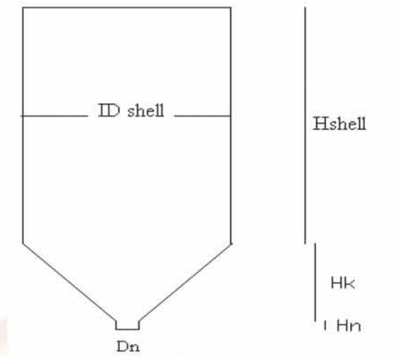
<u>Volume Tangki:</u>

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 6,0123 + 0,2 Volume tangki

Volume tangki = 7,5154 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

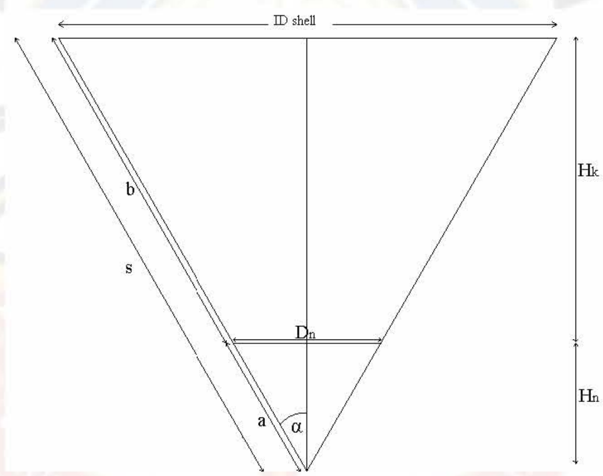
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1.5}{1}$ → volume *shell* = $\frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ H_{shell} = \frac{1.5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

Hn = $\frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan Hk = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha}$ - Hn = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$$= \frac{1}{3} \, x \, \frac{\pi}{4} \, x \, ID_{shell}{}^{2} \, x \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2 \, tg \, \alpha} + \frac{Dn}{2 \, tg \, \alpha} \right) - \frac{1}{3} \, x \, \frac{\pi}{4} \, x \, Dn^{2} \, x \, \frac{Dn}{2 \, tg \, \alpha}$$

$$= \frac{\pi}{24 \, tg \, 30} \left(ID_{shell}{}^{3} - Dn^{3} \right)$$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$7{,}5154 \, m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4} \, x \, ID_{shell}{}^{3} + \frac{\pi}{24 \, tg \, 30} \left(ID_{shell}{}^{3} - Dn^{3} \right)$

$7{,}5154 \, m^3 = 1{,}1775 \, ID_{shell}{}^{3} + 0{,}2266 \, ID_{shell}{}^{3} - 0{,}0019$

$7{,}5173 \, m^3 = 1{,}4041 \, ID_{shell}{}^{3}$

ID_{shell} = 1,7494 m = 5,7394 ft = 68,8736 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 1,7494 m = 2,6241 m = 8,6091 ft

Hn $= \frac{Dn}{2 \, tg \, \alpha} = \frac{0{,}2302 \, m}{2 \, tg \, 30} = 0{,}1760$ m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2 \, tg \, \alpha} = \frac{(1{,}7494 - 0{,}2302) \, m}{2 \, tg \, 30} = 1{,}3390$ m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (2,6241 + 1,3390) m = 3,9631 m = 13,0023 ft

a $= \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0{,}2302}{2}\right)^2 + 0{,}1760^2} = 0{,}2032$ m = 0,6667 ft

s $= \sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{1{,}7494}{2}\right)^2 + (1{,}3390 + 0{,}1760)^2}$

= 1,7494 m = 5,7394 ft

b = s – a = (1,7494 – 0,2032) m = 1,5462 m = 5,0728 ft

<u>Tinggi Larutan dalam Tangki</u>

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

$6{,}0123 \, m^3 = \frac{\pi}{4} \, x \, ID_{shell}{}^{2} . H_{larutan} + \frac{\pi}{24 \, tg \, 30} \left(ID_{shell}{}^{3} - Dn^{3} \right)$

$6{,}0123 \, m^3 = \frac{\pi}{4} \, x \, 1{,}7494^{2} . H_{larutan} + \frac{\pi}{24 \, tg \, 30} \left(1{,}7494^{3} - 0{,}2302^{3} \right)$

$H_{larutan}$ = 1,9984 m = 6,5564 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (1,9984 + 1,3390) m = 3,3375 m = 10,9496 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik = $\frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

$= \frac{62,1584 \frac{lbm}{ft^3} x 10,9496\ ft}{144}$ = 4,7264 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 4,7264) psia = 19,4264 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 19,4264 psia = 23,3117 psia = 1,5858 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

$t_s = \frac{P\ x\ D}{2\ x\ f\ x\ E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$t_{shell} = \frac{23,3117\ psia\ x\ 68,8736\ in}{2\ x\ 23.000\ x\ 0,8} + 0,125\ in$

= 0,1686 in → standarisasi 3/16 in

Tebal Tutup Konis

Tebal alas $= \frac{P\ x\ D}{2 \cos\alpha\ (f.E - 0,6\ P)} + c$

$= \frac{23,3117\ psia\ x\ 68,8736\ in}{2 \cos 30\ (23.000\ psia\ x\ 0,8 - 0,6\ x\ 23,3117\ psia)} + 0,125\ in$

= 0,1754 in → standarisasi 3/16 in

Agitator

Ditetapkan untuk agitator:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *Flat six-blade open turbine.* Viskositas dari larutan asam asetat adalah 0,000804 kg/m.s (Pa.s) sedangkan syarat viskositas untuk agitator jenis turbin adalah μ = 0-500 Pa.s, sehingga jenis agitator ini dapat digunakan [19, Tabel 4.16].
2. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

Dari Tabel 3.4-1 [17, p.158] diperoleh:

$\frac{Da}{Dt}$ = 0,3 – 0,5 $\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$ $\frac{H}{Dt}$ = 1

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

Dimana: Da = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$\frac{Da}{Dt}$ = 0,4 → D_a = 0,4 D_t = 0,4 . 1,7494 m = 0,6998 m

2. Lebar *blade* (W)

$\frac{W}{D_a}$ = 0,2 → W = 0,2 D_a = 0,2 . 0,6998 m = 0,1400 m

3. Panjang *blade* (L)

$\frac{L}{D_a}$ = 0,25 → L = 0,25 D_a = 0,25 . 0,6998 m = 0,1749 m

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3}\ D_t = \frac{1}{3}\ .\ 1{,}7494\ m = 0{,}5831\ m$

5. Lebar *buffle* (J)

$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12}\ .\ D_t = \frac{1}{12}\ .\ 1{,}7494\ m = 0{,}1458\ m$

<u>Perhitungan kecepatan pengadukan:</u>

Syarat [20, p. 238, dan 21]:

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm
- Kecepatan keliling putaran (periperal) pengaduk turbin = 200-250 m/menit.

Trial 1 : N = 150 rpm = 2,5 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}6998\ m \times 150\ rpm$

= 329,5858 m/menit → **Tidak memenuhi syarat**

Trial 2 : N = 100 rpm = 1,6667 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}6998\ m \times 100\ rpm$

= 219,7239 m/menit → **Memenuhi syarat**

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [17, p.158]:

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

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

$N_{Re} = \frac{995{,}6837\ x\ 1{,}6667\ x\ (0{,}6998)^2}{0{,}000804}$ = 1.011.279,8712 → **Turbulen**

Nilai Np dapat dicari dari literatur [17, Fig. 3.4-5] untuk nilai N_{Re} = 1.011.279,8712 dan untuk jenis *Flat six-blade open turbine* maka didapatkan nilai Np = 2,3

$$P = Np \, x \, \rho \, x \, N^3 \, x \, Da^5 \qquad [17, p.159]$$

$$P = 2,3 \times 995,6837 \text{ kg/m}^3 \times (1,6667)^3 \times (0,6998 \text{ m})^5$$

P = 1.778,8260 W = 1,7788 kW = 2,3854 Hp

Effisiensi motor = 80%

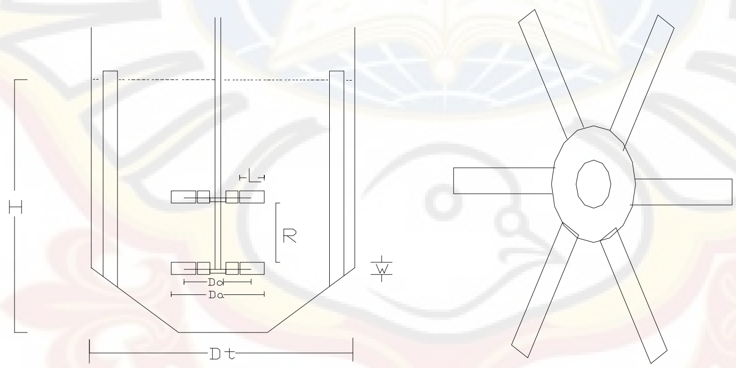
$$P = \frac{2.3854}{0,8} = 2,9818 \text{ Hp} = 3 \text{ Hp}$$

$$\text{Sg bahan masuk} = \frac{\rho_{larutan}}{\rho_{air}} = \frac{995,6837 \ kg/m^3}{1000 \ kg/m^3} = 0,9957$$

$$\text{Jumlah pengaduk} = \frac{Sg \ x \ H_{shell}}{ID_{shell}} = \frac{0,9957 \ x \ 2,6241 \ m}{1,7494 \ m} = 1,4935 \approx 1 \text{ buah}$$

Jarak pengaduk (R) = (Tinggi larutan dalam tangki – C) / 3

= (3,3375 – 0,5831) / 3 = 0,9181 m



Gambar Tangki dan Agitator

SPESIFIKASI

Kapasitas : 7,5154 m^3

ID_{shell} : 1,7494 m

H_k : 1,3390 m

H_{shell} : 2,6241 m

H total : 3,9631 m

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jenis pengaduk : *Flat six-blade open turbine*

Diameter pengaduk (Da) : 0,6998 m

Jarak dasar tangki ke pengaduk (C): 0,5831 m

Panjang *blade* (L) : 0,1749 m

Lebar *baffle* (J) : 0,1458 m

Lebar *blade* (W) : 0,1400 m

Jarak pengaduk (R) : 0,9181 m

Jumlah pengaduk : 1 buah

Power : 3 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

Jumlah Tangki : 1 buah

49. Pompa

Fungsi : untuk mengalirkan larutan asam asetat dari Tangki pelarutan asam asetat ke Tangki Ekstraksi (M-230).

Tipe : *centrifugal pump*

Data:

$T_{operasi}$ = 30°C

Massa larutan asam asetat = 5.986,396 kg/hari = 5.986,396 kg/jam

ρ larutan asam asetat = 995,6837 kg/m^3 = 62,1584 lb/ft^3

Viskositas larutan asam asetat = 0,000804 kg/m.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{5.986,396\ kg/jam}{995,6837\ kg/m^3}$ = 6,0123 m^3/jam = 0,0017 m^3/s

$= 0,0590\ ft^3/s$

Laju larutan asetat masuk (m) = $0,0017\ m^3/s \times 995,6837\ kg/m^3 = 1,6629\ kg/s$

Perhitungan Diameter Pompa

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

$$Di,opt = 3,9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13} \qquad [21]$$

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt $= 3,9\ .\ (0,0590)^{0,45}.\ (62,1584)^{0,13} = 1,8665$ inch ≈ 2,067 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 2 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 2,067 inch = 0,1722 ft = 0,0525 m

A $= 0,0233\ ft^2$

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0,0590\ ft^3/s}{0,0233\ ft^2}$ = 2,5313 ft/s = 0,7715 m/s

$N_{Re} = \frac{\rho \times v \times ID}{\mu}$

$= \frac{62,1584\ \frac{lbm}{ft^3} \times 2,5313\ \frac{ft}{s} \times 0,1722\ ft}{0,0005\ lb/ft.s}$

= 50.193,6516 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, $\alpha = 1$

FRIKSI

- ***Sudden contraction***

$A_{pipa} <<< A_{tangki}$

$$Kc = 0,55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right) \qquad [17, Eq. 2.10-16]$$

$A_{pipa}/A_{tangki} = 0$, karena A_{tangki} (A_1) jauh lebih besar dibanding A_{pipa} (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

$hc = Kc \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha} = 0,55 \times (1-0) \times \frac{(0,7715)^2}{2.1} = 0,1637$ J/kg

- ***Sudden enlargement***

hex = $\left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2$ x $\frac{v^2}{2\alpha}$ = $(1\text{-}0)^2$ x $\frac{(0{,}7715)^2}{2.1}$ = 0,2976 J/kg

➢ Friksi pada pipa lurus

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

$\varepsilon = 4{,}6.10^{-5}$ m

harga $\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4{,}6.10^{-5}\ m}{0{,}1023\ m}$ = 0,0004 → f = 0,005 [17, Fig.2.10-3]

ΔL = (0,5 + 1,9 + 5,39 + 0,5 + 1) m = 9,29 m

$F_f = 4f\ x\ \frac{\Delta L}{ID}\ x\ \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

= 4 x 0,005 x $\frac{9{,}29\ m}{0{,}0525\ m}\ x\ \frac{(0{,}7715\ m/s)^2}{2}$ = 1,0533 J/kg

➢ Friksi pada *elbow*

Jumlah *elbow* 90^o = 4 buah

Kf *elbow* 90^o = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

Hf = $K_f\ x\ \frac{v^2}{2}$ = 0,75 x $\frac{(0{,}7715)^2}{2}$ = 0,2232 J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 4 buah, maka = 4 x 0,2232 J/kg = 0,8929 J/kg

➢ Friksi pada *globe valve*

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

hf = $K_f\ x\ \frac{v^2}{2}$ = 6 x $\frac{(0{,}7715)^2}{2}$ = 1,7858 J/kg

Σfriksi = (0,1637 + 0,2976 + 1,0533 + 0,8929 + 1,7858)

= 4,1934 J/kg

Power Pompa

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 0,7715 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$z_2 - z_1$ = 3,6960 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

$P_1 = P_2$ = 1 atm

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g\,(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2 \times 1}(0{,}7715 - 0)^2 + 9{,}8\ \text{m/s}^2\,(3{,}6960)\ \text{m} + 0 + 4{,}1934\ \text{J/kg}$$

$$= 40{,}7118\ \text{J/kg}$$

Ws = -40,7118 J/kg

Dengan Q = 6,0123 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 20% [21, Fig. 13-37]

$$\text{Brake Hp} = -\frac{Ws \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-40{,}7118\ J/kg \times 1{,}6629\ kg/s}{0{,}2 \times 550} = 0{,}6154\ \text{Hp}$$

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

$$\text{Power motor} = \frac{0{,}6154}{0{,}8} = 0{,}7693\ \text{Hp} = 1\ \text{Hp}$$

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 6,0123 m^3/jam = 0,0590 ft^3/s

Ukuran pipa : 2 in *schedule* 40

Power pompa : 1 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

50. Tangki Ekstraksi (M-230)

Fungsi : untuk mengekstrak rumput laut menjadi larutan agar.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis dilengkapi dengan jaket pemanas dan agitator.

Kondisi operasi :

- $T_{in} = 30^oC$
- $T_{out} = 90^oC$
- Tekanan 1 atm

Data :

Massa rumput laut masuk = 3.142,858 kg/hari

ρ rumput laut = 1.544 kg/m^3 = 96,3883 lb/ft^3

Massa larutan asam asetat masuk = 5.986,396 kg/hari

ρ larutan asam asetat = 995,6837 kg/m^3

$$X \text{ rumput laut} = \frac{massa\ rumput\ laut}{massa\ rumput\ laut + massa\ asam\ asetat} = \frac{3.142,858}{3.142,858 + 5.986,396}$$

$$= 0,344$$

$$X \text{ larutan as.asetat} = \frac{massa\ larutan\ as.asetat}{massa\ rumput\ laut + massa\ larutan\ as.asetat} = \frac{5.986,396}{3.142,858 + 5.986,396}$$

$$= 0,656$$

$$\rho \text{ campuran} = \frac{1}{\frac{X\ rumput\ laut}{\rho\ rumput\ laut} + \frac{X\ lar.as\ asetat}{\rho\ lar.as.asetat}} \text{ kg/m}^3 = \frac{1}{\frac{0,333}{1.544} + \frac{0,667}{995,6837}} \text{ kg/m}^3$$

$$= 1.134,3680 \text{ kg/m}^3 = 70,8161 \text{ lb/ft}^3$$

Volume bahan = 8,0479 m^3

<u>Ditetapkan untuk dimensi tangki:</u>

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.

3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]

4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$

5. Volume ruang kosong = 80% volume tangki

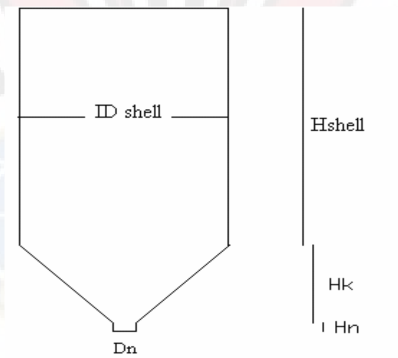
<u>Volume Tangki:</u>

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 8,0479 + 0,2 Volume tangki

Volume tangki = 10,0598 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

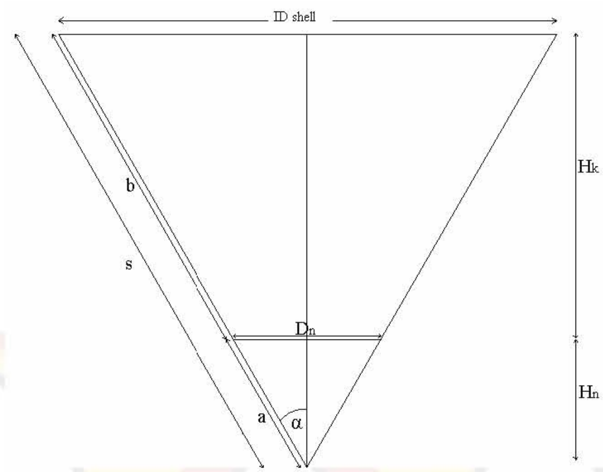
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* = $\frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4} \times ID_{shell}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

Hn = $\frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan Hk = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha}$ - Hn = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$10{,}0598\ m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$10{,}0598\ m^3 = 1{,}1775\ ID_{shell}{}^3 + 0{,}2266\ ID_{shell}{}^3 - 0{,}0019$

$10{,}0617\ m^3 = 1{,}4041\ ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 1,9279 m = 6,3251 ft = 75,9025 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 1,9279 m = 2,8919 m = 9,4877 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30} = 0{,}1760$ m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(1{,}9279 - 0{,}2302)\ m}{2\ tg\ 30} = 1{,}4937$ m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (2,8919 + 1,4937) m = 4,3856 m = 14,3881 ft

a = $\sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2302}{2}\right)^2 + 0,1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s = $\sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{1,9279}{2}\right)^2 + (1,4937 + 0,1760)^2}$

= 1,9279 m = 6,3251 ft

b = s – a = (1,9279 – 0,2032) m = 1,7247 m = 5,6585 ft

Tinggi Larutan dalam Tangki

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

8,0479 m^3 = $\frac{\pi}{4} \, x \, ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24 \, tg \, 30} \left(ID_{shell}{}^3 - Dn^3\right)$

8,0479 m^3 = $\frac{\pi}{4} \, x \, 1,9279^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24 \, tg \, 30} \left(1,9279^3 - 0,2302^3\right)$

$H_{larutan}$ = 2,2023 m = 7,2254 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (2,2023 + 1,4937) m = 3,6960 m = 12,1258 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik = $\frac{\rho_{bahan} \, x \, H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

= $\frac{70,8161 \frac{lbm}{ft^3} \, x \, 12,1258 ft}{144}$ = 5,9632 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 5,9632) psia = 20,6632 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 20,6632 psia = 24,7959 psia = 1,6868 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

t_s = $\frac{P \, x \, D}{2 \, x \, f \, x \, E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$t_{shell} = \frac{24{,}7959\ psia \times 75{,}9025\ in}{2 \times 23.000 \times 0{,}8} + 0{,}125\ in$

= 0,1761 in → standarisasi 3/16 in

Tebal Tutup Konis

Tebal alas $= \frac{P \times D}{2 \cos\alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$

$= \frac{24{,}7959\ psia \times 75{,}9025\ in}{2 \cos 30\ (23.000\ psia \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 24{,}7959\ psia)} + 0{,}125\ in$

= 0,1841 in → standarisasi 3/16 in

Agitator

Ditetapkan untuk agitator:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *Flat six-blade open turbine.* Viskositas dari larutan adalah 0,00094 kg/m.s (Pa.s) sedangkan syarat viskositas untuk agitator jenis turbin adalah μ = 0-500 Pa.s, sehingga jenis agitator ini dapat digunakan [19, Tabel 4.16].
2. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

Dari Tabel 3.4-1 [17, p.158] diperoleh:

$\frac{Da}{Dt} = 0{,}3 - 0{,}5$ $\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$ $\frac{H}{Dt} = 1$

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

Dimana: Da = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$\frac{Da}{Dt} = 0,4 \rightarrow D_a = 0,4\ D_t = 0,4 \ .\ 1,9279\ m = 0,7712\ m$

2. Lebar *blade* (W)

$\frac{W}{D_a} = 0,2 \rightarrow W = 0,2\ D_a = 0,2 \ .\ 0,7712\ m = 0,1542\ m$

3. Panjang *blade* (L)

$\frac{L}{D_a} = 0,25 \rightarrow L = 0,25\ D_a = 0,25 \ .\ 0,7712\ m = 0,1928\ m$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3}\ D_t = \frac{1}{3} \ .\ 1,9279\ m = 0,6426\ m$

5. Lebar *buffle* (J)

$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12} \ .\ D_t = \frac{1}{12} \ .\ 1,9279\ m = 0,1607\ m$

<u>Perhitungan kecepatan pengadukan:</u>

Syarat [20, p. 238, dan 21]:

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm
- Kecepatan keliling putaran (periperal) pengaduk turbin = 200-250 m/menit.

Trial 1 : N = 150 rpm = 2,5 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}7712$ m × 150 rpm

= 363,2216 m/menit → **Tidak memenuhi syarat**

Trial 2 : N = 100 rpm = 1,6667 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 0{,}7712$ m × 100 rpm

= 242,1477 m/menit → **Memenuhi syarat**

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [17, p.158]:

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

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

$N_{Re} = \frac{1134.3680 \ x \ 1.6667 \ x \ (0.7712)^2}{0.00094}$ = 1.194.053,6891 → **Turbulen**

Nilai Np dapat dicari dari literatur [17, Fig. 3.4-5]

untuk nilai N_{Re} = 1.194.053,6891 dan untuk jenis *Flat six-blade open turbine* maka didapatkan nilai Np = 2,15

$P = Np \, x \, \rho \, x \, N^3 \, x \, Da^5$ [17, p.159]

P = 2,15 × 1.134,3680 kg/m^3 × (1,6667)^3 × (0,7712 m)^5

P = 3.079,5864 W = 3,0796 kW = 4,1298 Hp

Effisiensi motor = 80%

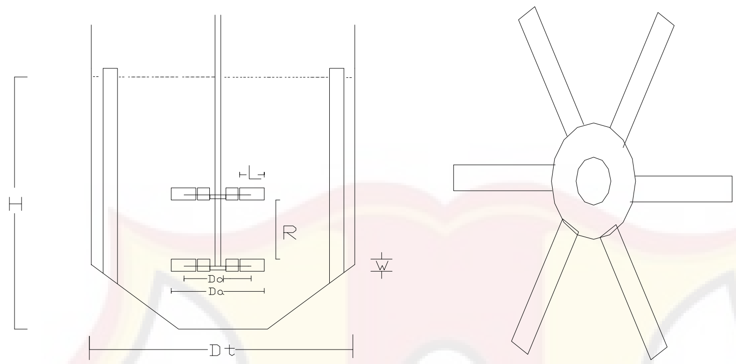
P = $\frac{4,1298}{0,8}$ = 5,1622 Hp = 5 Hp

Sg bahan masuk = $\frac{\rho_{larutan}}{\rho_{air}} = \frac{1134.3680 \ kg/m^3}{1000 \ kg/m^3}$ = 1,1344

Jumlah pengaduk = $\frac{Sg \ x \ H_{shell}}{ID_{shell}} = \frac{1,1344 \ x \ 2,8919 \ m}{1,9279 \ m}$ = 1,7016 ≈ 2 buah

Jarak pengaduk (R) = (Tinggi larutan dalam tangki – C) / 3

= (3,6960 – 0,6426) / 3 = 1,0178 m



Gambar Tangki dan Agitator

<u>Jaket Pemanas</u>

Suhu dalam tangki ekstraksi diajaga 90^oC

Agen pemanas yang digunakan adalah *steam* dengan T = 130^oC, 270,1 psia

dimana : entalpi sat'd vapor (hg) = 2.720,5 kJ/kg

entalpi liquid (hf) = 546,31 kJ/kg

spesifik volume = 0,6685 m^3/kg

ρ = (spesifik volume)$^{-1}$ = (0,6685 m^3/kg)$^{-1}$ = 1,4959 kg/m^3

λ (panas laten) *steam* = hg - hf = 2.174,19 kJ/kg

Q *steam* = 6.842.109,0679 kJ/hari

= 270.210,1092 btu/h

Massa *steam* = $\frac{6.842.109,0679\ kJ/hari}{2.174,19\ kJ/kg}$ = 3.146,9692 kg/hari

Laju volumetrik *steam* yang diperlukan = $\frac{3.146,9692\ kg/hari}{1,4959\ kg/m^3}$

= 2.103,7489 m^3/hari

= 0,0243 m^3/s

Tebal shell = 3/16 in = 0,0045 m

Diameter luar (OD) shell = Dt + 2 x tebal shell = 1,9369 m

Diambil spasi jaket = 1 in = 0,025 m

ID jaket = OD shell + 2 x spasi jaket

= 1,9369 + 2 x 0,025 m = 1,9877 m

Laju volumetrik = A x v

$$0{,}0243\ m^3/s = \frac{\pi}{4} \times [(\text{ID jaket})^2 - (\text{OD shell})^2] \times v$$

$$0{,}0243\ m^3/s = \frac{\pi}{4} \times [(1{,}9877)^2 - (1{,}9369)^2]\ x\ v$$

v = 0,1556 m/s = 0,5104 ft/s

Perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi dari pemanas menuju liquid dalam tangki (hj):

$$\text{hjh} = \frac{j \times k}{D_j} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k}\right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_W}\right)^{0,14} \quad [26]$$

di mana: hj = koefisien perpindahan panas konveksi

j = faktor perpindahan panas Sieder-Tate

k = konduktivitas termal = 0,4957 Btu/h.ft.°F

Dj = diameter tangki = 6,3251 ft

Cp = kapasitas panas = 0,9710 btu/lb.°F

μ = viskositas fluida = 3,3867 lbm/ft h

μ_w = viskositas fluida pada suhu T_w = 3,3867 lbm/ft h

Faktor perpindahan panas Sieder-Tate didapat dengan perhitungan:

$$N_{Re,j} = \frac{L^2 \times N\ \rho}{\mu} \quad [26, p.718]$$

dimana : L = panjang pengaduk, ft = 0,6325 ft

N = putaran pengaduk, rph = 6000 rph

μ = viskositas, lb/ft.h = 2,2779 lb/ft.h

ρ = densitas, lb/ft^3 = 70,8161 lb/ft^3

sehingga didapatkan:

$N_{Re} = \frac{(0{,}6325)^2 \times 6000 \times 70{,}8161}{2{,}2779} = 74.626{,}2283$

Untuk jaket, J_h = 800 [26, fig. 20.2]

Koefisien perpindahan panas konveksi :

$$hj = \frac{j \times k}{D_j} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k}\right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_W}\right)^{0,14}$$

$$= \frac{800 \times 0{,}4957}{6{,}3251} \times \left(\frac{0.9710 \times 3{,}3867}{0{,}4957}\right)^{1/3} \times \left(\frac{3{,}3867}{3{,}3867}\right)^{0,14}$$

$$= 117{,}8114 \text{ btu/h.ft}^2.°\text{F}$$

Perhitungan tinggi jaket pemanas:

hio = 2300 btu/h.ft^2.°F [26, p.835]

$$U_C = \frac{h_j \times h_{io}}{h_j + h_{io}}$$

$$= \frac{117{,}8114 \times 2300}{117{,}8114 + 2300} = 112{,}0709 \text{ btu/h.ft}^2.°\text{F}$$

Diambil faktor kekotoran gabungan, Rd = 0,003

$$U_d = \left(\frac{1}{U_C} + R_d\right)^{-1}$$

$$= \left(\frac{1}{112{,}0709} + 0{,}003\right)^{-1} = 83{,}8720$$

Ketinggian jaket dapat dihitung dengan persamaan

$$Q = Ud\ A\Delta T \quad [53, p. 720]$$

Q = 270.210,1092 btu/h

U_d = 83,8720

T_1 = 90°C = 194°F

T_2 = 30°C = 86°F

ΔT = 108°F

270.210,1092 = 83,8720 x A x 108

A = 29,8305 ft^2 = 2,7714 m^2

A = luas jaket pada shell + luas jaket pada konis

A = π . OD shell . H jaket

2,7714 m^2 = π x 1,9369 m x H jaket

H jaket = 0,4557 m

Tinggi jaket 0,4557 m, terlalu kecil dibandingkan dengan tinggi bahan dalam tangki, sehingga tidak akan dapat mempengaruhi suhu dalam tangki. Untuk itu, ditetapkan untuk tinggi jaket sama dengan tinggi bahan dalam tangki, yaitu 3,6960 m.

Diambil tebal jaket = tebal konis = 3/16 in = 0,1875 in = 0,0048 m

OD jaket = ID jaket + 2 . tebal jaket

= 1,9877 + 2 (0,0048) = 1,9973 m

SPESIFIKASI

Kapasitas : 10,0598 m^3

ID_{shell} : 1,9279 m

H_k : 1,4937 m

H_{shell} : 2,8919 m

H total : 4,3856 m

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jenis pengaduk : *Flat six-blade open turbine*

Diameter pengaduk (Da) : 0,7712 m

Jarak dasar tangki ke pengaduk (C): 0,6426 m

Panjang *blade* (L) : 0,1928 m

Lebar *baffle* (J)	: 0,1607 m
Lebar *blade* (W)	: 0,1542 m
Jarak pengaduk (R)	: 1,0178 m
Jumlah pengaduk	: 2 buah
Power	: 5 Hp
Bahan konstruksi	: *Stainless Steel* tipe 316-L
Diameter dalam jaket	: 1,9877 m
Tebal jaket	: 0,0048 m
Diameter luar jaket	: 1,9973 m
Tinggi jaket	: 3,6960 m
Jumlah tangki	: 1 buah

51. Pompa (L-231)

Fungsi : untuk mengalirkan larutan agar dari Tangki Ekstraksi (M-230) ke Filter Press.

Tipe : *centrifugal pump*

Data:

$T_{operasi}$ = 85°C

Massa larutan agar = 27.958,1820 kg/hari = 27.958,1820 kg/jam

ρ larutan agar = 1.329,0613 kg/m^3 = 82,9704 lb/ft^3

Viskositas larutan agar = 0,00094 kg/m.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{27.958{,}1820\ kg/jam}{1.329{,}0613\ kg/m^3}$ = 21,0360 m^3/jam = 0,0058 m^3/s

= 0,2064 ft^3/s

Laju larutan asetat masuk (m) = 0,0058 m^3/s x 1.329,0613 kg/m^3 = 7,7662 kg/s

<u>Perhitungan Diameter Pompa</u>

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

$$Di,opt = 3,9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13} \qquad [21]$$

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt = 3,9 . $(0, 2064)^{0,45}$. $(82,9704)^{0,13}$ = 3,4049 inch ≈ 3,548 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 3,5 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 3,548 inch = 0,2957 ft = 0,0901 m

A = 0,0687 ft^2

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0{,}2064\ ft^3/s}{0{,}0687\ ft^2}$ = 3,0037 ft/s = 0,9155 m/s

$$N_{Re} = \frac{\rho\ x\ v\ x\ ID}{\mu}$$

$$= \frac{82{,}9704\ \frac{lbm}{ft^3} x 3{,}0037\ \frac{ft}{s} x\ 0{,}2957\ ft}{0{,}0006\ lb/ft.s}$$

= 37.350,4657 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, $\alpha = 1$

FRIKSI

➢ *Sudden contraction*

$A_{pipa} <<< A_{tangki}$

$$Kc = 0{,}55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right) \qquad [17, Eq. 2.10-16]$$

A_{pipa}/A_{tangki} = 0 , karena A_{tangki} (A_1) jauh lebih besar dibanding A_{pipa} (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

$hc = Kc \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) x\ \frac{v^2}{2\alpha}$ = 0,55 x (1-0) x $\frac{(0{,}9155)^2}{2.1}$ = 0,2305 J/kg

➢ *Sudden enlargement*

$hex = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2 x\ \frac{v^2}{2\alpha}$ = $(1\text{-}0)^2$ x $\frac{(0{,}9155)^2}{2.1}$ = 0,4191 J/kg

➢ <u>Friksi pada pipa lurus</u>

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

$\varepsilon = 4{,}6.10^{-5}$ m

harga $\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4{,}6.10^{-5}\ m}{0{,}1023\ m} = 0{,}0004 \rightarrow f = 0{,}005$ [17, Fig.2.10-3]

$\Delta L = (0{,}5 + 2 + 0{,}5 + 0{,}5)\ m = 3{,}5\ m$

$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{ID} \times \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

$= 4 \times 0{,}005 \times \frac{3{,}5\ m}{0{,}0901\ m} \times \frac{(0{,}9155\ m/s)^2}{2} = 0{,}3255$ J/kg

➢ <u>Friksi pada *elbow*</u>

Jumlah *elbow* 90^o = 3 buah

Kf *elbow* 90^o = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

$Hf = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0{,}75 \times \frac{(0{,}9155)^2}{2} = 0{,}3143$ J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 3 buah *elbow*, maka: Hf = 3 x 0,3143 = 0,9430 J/kg

➢ <u>Friksi pada *globe valve*</u>

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

$hf = K_f \times \frac{v^2}{2} = 6 \times \frac{(0{,}9155)^2}{2} = 2{,}5146$ J/kg

Σfriksi = (0,2305 + 0,4191 + 0,3255 + 0,9430 + 2,5146)

= 4,4328 J/kg

<u>Power Pompa</u>

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 0,9155 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$z_2 - z_1$ = 0,5 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

P_1 = P_2 = 1 atm

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2\times 1}(0{,}9155 - 0)^2 + 9{,}8\ m/s^2\ (0{,}5)\ m + 0 + 4{,}4328\ J/kg$$

= 11,6096 J/kg

Ws = -11,6096 J/kg

Dengan Q = 21,0360 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 40% [21, Fig. 13-37]

$$\text{Brake Hp} = -\frac{Ws \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-11{,}6096\ J/kg \times 7{,}7662\ kg/s}{0{,}4 \times 550} = 0{,}4098\ \text{Hp}$$

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

$$\text{Power motor} = \frac{0{,}4098}{0{,}8} = 0{,}5123\ \text{Hp} = 1\ \text{Hp}$$

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 21,0360 m^3/jam = 0,2064 ft^3/s

Ukuran pipa : 3,5 in *schedule* 40

Power pompa : 1 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

52. Filter Press (H-240)

Fungsi : untuk memisahkan filtrat (larutan agar) dan *cake* (ampas rumput laut)

Dasar pemilihan : mudah dioperasikan dan dibersihkan, serta efektif untuk proses pemisahan filtrat dan *cake.*

Perhitungan :

T operasi = 80^oC

Waktu pembersihan = waktu pembongkaran + pengambilan *cake* + pencucian *plate* and *frame* + pemasangan

= (15 + 15 + 15 + 15) menit = 60 menit = 1 jam

Waktu untuk 1 siklus operasi = 2 jam (1 jam bongkar pasang + 1 jam operasi)

Kapasitas filtrat / siklus = 13.813,9663 kg/jam . 1 jam = 13.813,9663 kg/siklus

Dengan cara yang sama seperti pada Tangki Ekstraksi (M-230) , didapatkan ρ filtrat dan ρ *cake* :

ρ filtrat = 1.329,0797 kg/m^3

ρ *cake* = 1.327,5214 kg/m^3

V filtrat per siklus = 20,7873 m^3/siklus

Massa *cake* untuk 1 siklus = 165,1248 kg/jam . 1 jam = 165,1248 kg/siklus

V *cake* = 0,1244 m^3/siklus = 4,3930 ft^3/siklus

Dari 25, Tbl. 19-17 :

- Ukuran *plate* and *frame* = 30 x 30 in
- Luas efektif = 10,5 ft^2
- Kapasitas *cake* = 0,44 ft^3/ in tebal

Tebal *frame* = 0,125 – 8 in (25, p. 19-66) diambil 1 in.

V *cake* tiap *frame* = 0,44 . 1 = 0,44 ft^3

Jumlah *frame* = $\frac{\text{V cake}}{\text{V cake tiap frame}} = \frac{4,3930}{0,44}$ = 9,9841 ≈ 10 buah

Jumlah *plate* and *frame* = (10.2) -1 = 19 buah

Berdasarkan 17, Tbl. 4-23, panjang *plate and frame filter press* berkisar antara 0,5 – 20 m.

Panjang alat = (jumlah *plate* and *frame* × tebal *frame*) + spasi penambahan *frame*

= (19 . 1) + 10 in = 29 in = 0,7366 m (memenuhi)

SPESIFIKASI

Tebal tiap *frame / plate* = 1 in

Jumlah *plate* dan *frame* = 19 buah

Panjang alat = 0,7366 m

Bahan konstruksi = metal

Jumlah alat = 1 buah

53. Filtrat bin (M-241)

Fungsi : sebagai tempat penampungan larutan agar sementara.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis dilengkapi dengan agitator.

Kondisi operasi :

- T = 30°C
- Tekanan 1 atm

Data :

Massa larutan agar masuk = 27.627,9325 kg/hari

ρ larutan agar = 1.543,1271 kg/m^3 = 96,3341 lb/ft^3

Volume bahan = 17,9039 m^3

<u>Ditetapkan untuk dimensi tangki:</u>

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.
3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]
4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$

5. Volume ruang kosong = 90% volume tangki

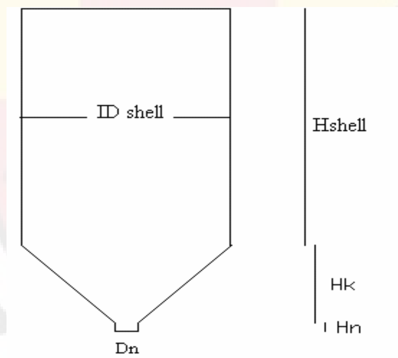
<u>Volume Tangki:</u>

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 17,9039 + 0,2 Volume tangki

Volume tangki = 22,3798 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

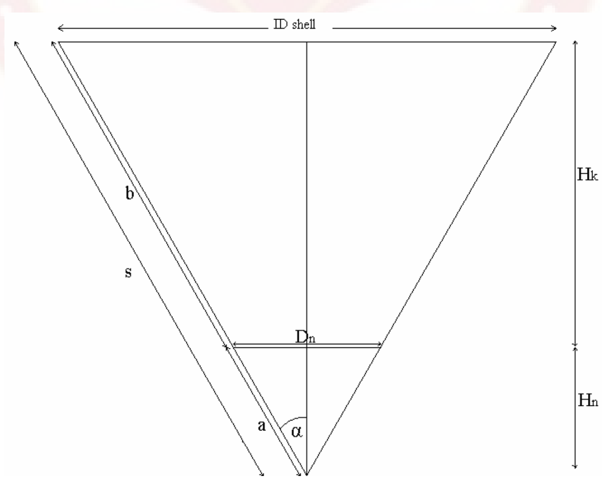
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* $= \frac{\pi}{4} \; x \; ID_{shell}{}^2 \; x \; H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4} \; x \; ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60° sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

Hn = $\frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan Hk = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha}$ - Hn = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$22{,}3798\ m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$22{,}3798\ m^3 = 1{,}1775\ ID_{shell}{}^3 + 0{,}2266\ ID_{shell}{}^3 - 0{,}0019$

$22{,}3817\ m^3 = 1{,}4041\ ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 2,5167 m = 8,2568 ft = 99,0823 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 2,5167 m = 3,7750 m = 12,3852 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30}$ = 0,1760 m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(2{,}5167 - 0{,}2302)\ m}{2\ tg\ 30}$ = 2,0035 m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (3,7750 + 2,0035) m = 5,7786 m = 18,9584 ft

a $= \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0{,}2302}{2}\right)^2 + 0{,}1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s $= \sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{2{,}5167}{2}\right)^2 + (2{,}5167 + 0{,}1760)^2}$

= 2,5167 m = 8,2568 ft

b = s – a = (2,5167 – 0,2032) m = 2,3135 m = 7,5901 ft

Tinggi Larutan dalam Tangki

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

$17{,}5039\ m^3 = \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$17{,}5039\ m^3 = \frac{\pi}{4}\ x\ 2{,}5167^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (2{,}5167^3 - 0{,}2302^3)$

$H_{larutan}$ = 2,8748 m = 9,4317 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (2,8748 + 2,0035) m = 4,8784 m = 16,0049 ft

<u>Tekanan Operasi Tangki</u>

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik $= \frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

$= \frac{96{,}3341 \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 16{,}0049\ ft}{144}$ = 10,7071 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 10,7071) psia = 25,4071 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 25,4071 psia = 30,4885 psia = 2,0740 atm

<u>Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki</u>

$t_s = \frac{P\ x\ D}{2\ x\ f\ x\ E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$t_{shell} = \frac{30{,}4885\ psia\ x\ 99{,}0823\ in}{2\ x\ 23.000\ x\ 0{,}8} + 0{,}125\ in$

= 0,2071 in → standarisasi 3/16 in

Tebal Tutup Konis

Tebal alas $= \frac{P \times D}{2 \cos \alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$

$= \frac{30{,}4885\ psia \times 99{,}0823\ in}{2 \cos 30\ (23.000\ psia \times 0{,}8 - 0{,}6 \times 30{,}4885)} + 0{,}125\ in$

= 0,2199 in → standarisasi 3/16 in

Agitator

Ditetapkan untuk agitator:

1. Jenis agitator yang digunakan adalah *Flat six-blade open turbine.* Viskositas dari larutan adalah 0,001401 kg/m.s (Pa.s) sedangkan syarat viskositas untuk agitator jenis turbin adalah μ = 0-500 Pa.s, sehingga jenis agitator ini dapat digunakan [19, Tabel 4.16].
2. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

Dari Tabel 3.4-1 [17, p.158] diperoleh:

$\frac{Da}{Dt} = 0{,}3 - 0{,}5$ $\frac{W}{Da} = \frac{1}{5}$ $\frac{H}{Dt} = 1$

$\frac{L}{Da} = \frac{1}{4}$ $\frac{C}{Dt} = \frac{1}{3}$ $\frac{J}{Dt} = \frac{1}{12}$

Dimana: Da = diameter pengaduk

D_t = diameter tangki

W = lebar *blade*

H = tinggi cairan dalam tangki

L = panjang *blade*

C = jarak pengaduk dari dasar tangki

J = lebar *baffle*

Didapatkan :

1. Diameter pengaduk (D_a)

$\frac{Da}{Dt} = 0,4 \rightarrow D_a = 0,4\ D_t = 0,4 \cdot 2,5167\ m = 1,0067\ m$

2. Lebar *blade* (W)

$\frac{W}{D_a} = 0,2 \rightarrow W = 0,2\ D_a = 0,2 \cdot 1,0067\ m = 0,2013\ m$

3. Panjang *blade* (L)

$\frac{L}{D_a} = 0,25 \rightarrow L = 0,25\ D_a = 0,25 \cdot 1,0067\ m = 0,2517\ m$

4. Jarak pengaduk dari dasar tangki (C)

$\frac{C}{D_t} = \frac{1}{3} \rightarrow C = \frac{1}{3}\ D_t = \frac{1}{3} \cdot 2,5167\ m = 0,8389\ m$

5. Lebar *buffle* (J)

$\frac{J}{D_t} = \frac{1}{12} \rightarrow J = \frac{1}{12} \cdot D_t = \frac{1}{12} \cdot 2,5167\ m = 0,2097\ m$

Perhitungan kecepatan pengadukan:

Syarat [20, p. 238, dan 21]:

- Kecepatan agitator (N) antara 20 – 150 rpm
- Kecepatan keliling putaran (periperal) pengaduk turbin = 200-250 m/menit.

Trial 1 : N = 75 rpm = 1,25 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 1,0067\ m \times 75\ rpm$

= 237,0728 m/menit → **Memenuhi syarat**

Trial 2 : N = 50 rpm = 0,8333 rps

Kecepatan periperal = $\pi \times D_a \times N = \pi \times 1,0067\ m \times 50\ rpm$

= 158,0485 m/menit → **Tidak Memenuhi syarat**

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan [17, p.158]:

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

Dimana: Da = diameter pengaduk (m)

N = kecepatan putaran pengaduk (rps)

ρ = densitas (kg/m^3)

μ = viskositas (kg/m.s)

$N_{Re} = \frac{1543,1271 \; x 1,25 \; x \; (1.0067)^2}{0,001401}$ = 1.395.607,0292 → **Turbulen**

Nilai Np dapat dicari dari literatur [17, Fig. 3.4-5]

untuk nilai N_{Re} = 1.395.607,0292 dan untuk jenis *Flat six-blade open turbine* maka didapatkan nilai Np = 2,15

P = $Np \, x \, \rho \, x \, N^3 \, x Da^5$ [17, p.159]

P = 2,15 × 1.543,1271 kg/m^3 × $(1,25)^3$ × $(1,0067 \; m)^5$

P = 1.984,9539 W = 1,9850 kW = 2,6619 Hp

Effisiensi motor = 80%

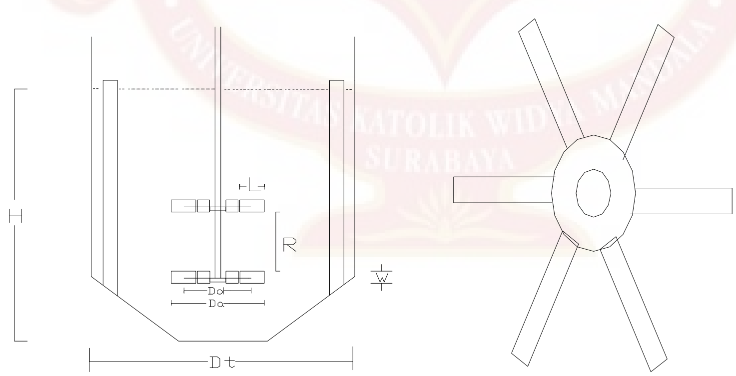
P = $\frac{2,6619}{0,8}$ = 3,3273 Hp = 3,5 Hp

Sg bahan masuk = $\frac{\rho_{larutan}}{\rho_{air}} = \frac{1.543,1271 \; kg/m^3}{1000 \; kg/m^3}$ = 1,5431

Jumlah pengaduk = $\frac{Sg \; x \; H_{shell}}{ID_{shell}} = \frac{1,5431 \; x \; 3,7750 \; m}{2,5167 \; m}$ = 2,3147 ≈ 2 buah

Jarak pengaduk (R) = (Tinggi larutan dalam tangki – C) / 3

= (4,8784 – 0,8389) / 3 = 1,3465 m



Gambar Tangki dan Agitator

SPESIFIKASI

Kapasitas : 22,3798 m^3

ID_{shell} : 2,5167 m

H_k : 2,0035 m

H_{shell} : 3,7750 m

H total : 5,7786 m

Tebal *shell* : 3/16 in

Tebal *head* : 3/16 in

Tebal konis : 3/16 in

Jenis pengaduk : *Flat six-blade open turbine*

Diameter pengaduk (Da) : 1,0067 m

Jarak dasar tangki ke pengaduk (C): 0,8389 m

Panjang *blade* (L) : 0,2517 m

Lebar *baffle* (J) : 0,2097 m

Lebar *blade* (W) : 0,2013 m

Jarak pengaduk (R) : 1,3465 m

Jumlah pengaduk : 2 buah

Power : 3 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

Jumlah tangki : 1 buah

54. Tangki Penampungan Cake

Fungsi : sebagai tempat penampungan cake hasil penyaringan.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis.

Kondisi operasi :

- $T = 30^oC$
- Tekanan 1 atm

Data :

Massa larutan agar masuk = 330,2495 kg/hari

ρ larutan agar = 1.544,0219 kg/m^3 = 96,3899 lb/ft^3

Volume bahan = 0,2139 m^3

<u>Ditetapkan untuk dimensi tangki:</u>

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.
3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]
4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$
5. Volume ruang kosong = 80% volume tangki

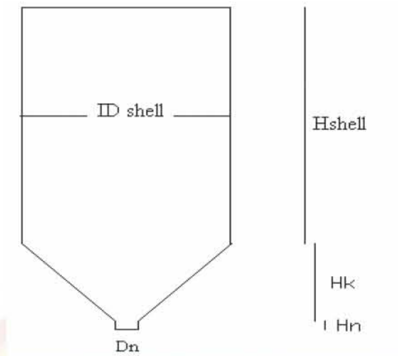
<u>Volume Tangki:</u>

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 0,2139 + 0,1 Volume tangki

Volume tangki = 0,2377 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

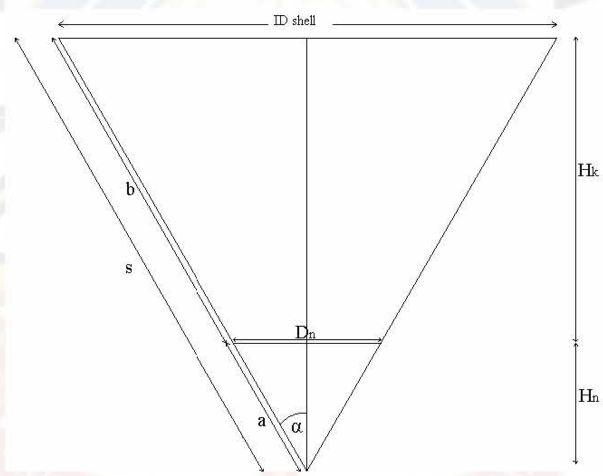
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* = $\frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

Hn = $\frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan Hk = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha}$ - Hn = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$$= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 \times \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$$

$$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30} \left(ID_{shell}^3 - Dn^3\right)$$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$$0{,}2377\ m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4} \times ID_{shell}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30} \left(ID_{shell}^3 - Dn^3\right)$$

$0{,}2377\ m^3 = 1{,}1775\ ID_{shell}^3 + 0{,}2266\ ID_{shell}^3 - 0{,}0019$

$0{,}2396\ m^3 = 1{,}4041\ ID_{shell}^3$

ID_{shell} = 0,5546 m = 1,8196 ft = 21,8357 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 0,5546 m = 0,8319 m = 2,7294 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30}$ = 0,1760 m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(0{,}5546 - 0{,}2302)\ m}{2\ tg\ 30}$ = 0,3043 m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (0,8319 + 0,3043) m = 1,1363 m = 3,7279 ft

a $= \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0{,}2302}{2}\right)^2 + 0{,}1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s $= \sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{0{,}5546}{2}\right)^2 + (0{,}5546 + 0{,}1760)^2}$

= 0,5546 m = 1,8196 ft

b = s – a = (0,5546 – 0,2032) m = 0,3514 m = 1,1530 ft

<u>Tinggi Larutan dalam Tangki</u>

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

$$0{,}2139\ m^3 = \frac{\pi}{4} \times ID_{shell}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30} \left(ID_{shell}^3 - Dn^3\right)$$

$$0{,}2139\ m^3 = \frac{\pi}{4} \times 0{,}5546^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30} \left(0{,}5546^3 - 0{,}2302^3\right)$$

$H_{larutan}$ = 0,7335 m = 2,4065 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (3,4050 + 0,3043) m = 1,0379 m = 3,4050 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik $= \frac{\rho_{bahan} \; x \; H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

$= \frac{96{,}3889 \frac{lbm}{ft^3} \; x \; 3{,}4050 ft}{144}$ = 2,2792 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 2,2792) psia = 16,9792 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 16,9792 psia = 20,3751 psia = 1,3861 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

$t_s = \frac{P \; x \; D}{2 \; x \; f \; x \; E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$t_{shell} = \frac{20{,}3751 \; psia \; x \; 21{,}8357 \; in}{2 \; x \; 23.000 \; x \; 0{,}8} + 0{,}125 \; in$

= 0,1371 in → standarisasi 2/16 in

Tebal Tutup Konis

Tebal alas $= \frac{P \; x \; D}{2 \cos\alpha \; (f.E - 0{,}6 \; P)} + c$

$= \frac{20{,}3751 \; psia \; x \; 21{,}8357 \; in}{2 \cos 30 \; (23.000 \; psia \; x \; 0{,}8 - 0{,}6 \; x \; 20{,}3751)} + 0{,}125 \; in$

= 0,1390 in → standarisasi 2/16 in

SPESIFIKASI

Kapasitas : 0,2377 m^3

ID_{shell} : 0,5546 m

H_k : 0,3043 m

H_{shell} : 0,8319 m

H total : 1,1363 m

Tebal *shell* : 2/16 in

Tebal *head* : 2/16 in

Tebal konis : 2/16 in

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

Jumlah tangki : 1 buah

55. Pompa (L-242)

Fungsi : untuk mengalirkan larutan agar ke *Falling Film Evaporator* (V-250).

Tipe : *centrifugal pump*

Data:

T= 50^oC

Massa rumput laut = 27.499,7687 kg/hari = 27.499,7687 kg/jam

ρ rumput laut = 1.482,7253 kg/m^3 = 92,5633 lb/ft^3

Viskositas = 0,00094 kg/m.s = 0,0006 lb/ft.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{27.499,76887\ kg/jam}{1.482,7253\ kg/m^3}$ = 18,5468 m^3/jam = 0,0052 m^3/s

= 0,1819 ft^3/s

Laju susu segar masuk (m) = 0,0052 m^3/s x 1.482,7253 kg/m^3 = 7,6388 kg/s

Perhitungan Diameter Pompa

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

$Di,opt = 3,9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13}$ [21]

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt = 3,9 . $(0,1819)^{\ 0,45}$. $(92,5633)^{\ 0,13}$ = 3,2634 inch ≈ 3,5480 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 3,5 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 3,5480 inch = 0,2957 ft = 0,0901 m

A = 0,0687 ft^2

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0,1819\ ft^3/s}{0,0687\ ft^2}$ = 2,6483 ft/s = 0,8072 m/s

$N_{Re} = \frac{\rho\ x\ v\ x\ ID}{\mu}$

$= \frac{92,5633 \frac{lbm}{ft^3}\ x\ 2,6483\ \frac{ft}{s}\ x\ 0,2957\ ft}{0,00094\ lb/ft.s}$

= 114.741,5650 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, α = 1

FRIKSI

- *Sudden contraction*

$A_{pipa} <<< A_{tangki}$

$Kc = 0,55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right)$ [17, Eq. 2.10-16]

$A_{pipa}/A_{\ tangki}$ = 0 , karena A $_{tangki}$ (A_1) jauh lebih besar dibanding A $_{pipa}$ (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

$hc = Kc \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) x\ \frac{v^2}{2\alpha}$ = 0,55 x (1-0) x $\frac{(0,8072)^2}{2.1}$ = 0,1792 J/kg

- *Sudden enlargement*

$hex = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2 x\ \frac{v^2}{2\alpha}$ = $(1\text{-}0)^2$ x $\frac{(0,8072)^2}{2.1}$ = 0,3258 J/kg

- Friksi pada pipa lurus

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

$\varepsilon = 4{,}6.10^{-5}$ m

harga $\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4{,}6.10^{-5}\ m}{0{,}1023\ m} = 0{,}0004 \rightarrow f = 0{,}005$ [17, Fig.2.10-3]

$\Delta L = (0{,}5 + 2{,}5 + 6{,}02 + 1 + 0{,}5)$ m = 10,52 m

$F_f = 4f \times \frac{\Delta L}{ID} \times \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

$= 4 \times 0{,}005 \times \frac{10{,}52\ m}{0{,}0901\ m} \times \frac{(0{,}8072\ m/s)^2}{2} = 0{,}7606$ J/kg

- <u>Friksi pada *elbow*</u>

Jumlah *elbow* 90° = 4 buah

Kf *elbow* 90° = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

$Hf = K_f \times \frac{v^2}{2} = 0{,}75 \times \frac{(0{,}8072)^2}{2} = 0{,}2443$ J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 4 buah, maka = 4 x 0,2443 J/kg = 0,9774 J/kg

- <u>Friksi pada *globe valve*</u>

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

$hf = K_f \times \frac{v^2}{2} = 6 \times \frac{(0{,}8072)^2}{2} = 1{,}9547$ J/kg

Σfriksi = 4,1977 J/kg

<u>Power Pompa</u>

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 0,8072 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 $\approx$ 0

$z_2 - z_1$ = 5,02 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

P_1 = 1 atm

P_2 = 0,4 bar = 0,3948 atm

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2\times 1}(0{,}8072 - 0)^2 + 9{,}8\ m/s^2 (5{,}02)\ m + \frac{0{,}3948 - 1}{1.482{,}7253} + 4{,}1977\ J/kg$$

$$= 53{,}1795\ J/kg$$

Ws = -53,1795 J/kg

Dengan Q = 18,5468 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 40% [21, Fig. 13-37]

$$\text{Brake Hp} = -\frac{Ws \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-53{,}1795\ J/kg \times 7{,}6388\ kg/s}{0{,}4 \times 550} = 2{,}4870\ Hp$$

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

$$\text{Power motor} = \frac{2{,}4870}{0{,}8} = 3{,}1087\ Hp = 3\ Hp$$

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 18,5468 m^3/jam = 0,1819 ft^3/s

Ukuran pipa : 3,5 in *schedule* 40

Power pompa : 3 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

56. Evaporator (V-250)

Fungsi : untuk memekatkan larutan agar.

Tipe : *Falling Film Evaporator*

Dasar pemilihan : Digunakan untuk bahan yang tidak dapat tahan terhadap panas.

Kondisi operasi :

Jenis fluida	Panas : Steam 130°C	Dingin : Larutan agar

Flow rate, kg/batch	922,8167	27.499,7687
Suhu masuk, ^oC	130	50
Suhu keluar, ^oC	130	77

Perhitungan :

Desain evaporator dibagi menjadi 2 bagian, yaitu bagian penguapan dan bagian pemisahan liquida-uap yang berupa drum separator.

Bagian Penguapan

Bagian *Shell*		Bagian *Tube*
ID = 23,25 in	[26]	Jumlah dan panjang 70 buah, 8’0’’
B = 15 in		OD,BWG,pitch $1^1/_2$ in, 16, $1^7/_8$ in square pitch [26, Tbl 9]
Passes = 1		Passes = 2

(1) Neraca Panas

Q *steam* = 4.012.757,5733 kJ/hari = 158.472,7240 btu/h

Q larutan agar = 8.587.593,7568 kJ/hari = 339.143,1829 btu/h

(2) T larutan agar yang masuk, t_1 = 50°C = 122°F

T larutan agar pekat keluar, t_2 = 77°C = 170,6°F

T *steam* masuk, T_1 = T *steam* keluar, T_2 = 130°C = 266°F

Fluida panas		Fluida dingin	*Differences*
266	*Higher temperature* (°F)	170,6	95,4
266	*Lower temperature* (°F)	122	144
0	*Differences*	48,6	48,6

LMTD = 118,0371°F [26, Eq. 5.14]

R = 0/48,6 = 0

S = 48,6/(266-122) = 0,3375

FT = 1 [26, Fig. 18]

Δt = FT x LMTD = 118,0371 °F

(3) Tc = (266 + 266)/2 = 266 ^oF

tc = (170,6 + 122)/2 = 146,3 ^oF

Fluida panas, bagian shell, *steam*	**Fluida dingin, bagian *tube*, susu skim**
(4') Luas aliran, as = ID x C'B/144 PT [26, Pers. 7.1] = 23,25 x0,25x 15/144x1 = 0,6055 ft^2	(4) a't =1,47 in^2 [26, Tbl. 10] at = (Nt × a't)/(144n) = (70. 1,47/144.2) = 0,7146 ft^2
(5') laju alir massa, Gs = W/as [26, pers. 7.2] = 169,5368/0,6055 = 279,9947 lb/h ft^2	(5) Gt = W/at = 9.350,5896 lb/h ft^2
(6') De = 4 x luas aliran / frictional wetted perimeter [26,pers. 6.3] = 4 x 0,6055 / (70 x 3,14 x 1,5/12) = 0,0881 ft μ = 0,0342 lb/ft jam [17, A.2-12] R_{es} = De x Gs / μ = 0,0881x 279,9947 / 0,0342 = 206,0682	(6) D = 1,37 in = 0,1142 ft [26, Tbl 10] μ = 1,7708 lb/ft h R_{et} = D Gt/ μ = 603,0254
(7') jH =75 [26, Fig. 28] (8') Pada Tc = 266 ^oF Cp = 0,4540 Btu/lb^oF k = 0,0161 Btu/jam.ft^oF $(cp \times \mu / k)^{1/3}$ = $(0,4540 \times 0,0342/0,0161)^{1/3}$ = 0,9881 (9') ho/Φs=jH. k/De x $(cp\ \mu /k)^{1/3}$ ho/Φs = 75x0,0161/0,0881 x 0,9881 = 13,5429	(9) Asumsi susu adalah larutan encer [26, p.474] hio = 1.000 Btu/h.$ft^{2o}F$
(11') Pada tw= 265,83^oF μw = 0,0313 lb/ft jam $(\mu/ \mu w)^{0,14}$ = $(0,0342/0,0313)^{0,14}$ Φs = 1,0122 (12') Koefisien koreksi = ho/Φs x Φs [26,pers.6.36] ho = 13,5429 x 1,0122 = 13,7081 Btu/h ft^2 ^oF	(10) tw = tc+hio/(hio+ho) (Tc-tc) [26, Eq. 5.31a] = 265,83^oF $(\Delta t)_w$ = 265,83-146,3 = 119,53^oF [26, Fig 15.11], hv > 1.000 (asumsi benar)

(13') Uc = hio.ho/(hio+ho)

= 1.000 x 13,7081 / (1.000 + 13,7081)

= 13,5228 Btu/h ft² ºF

(14') a" = 0,1963 [26, Tbl. 10]

A = Nt x L x a"

= 70 x 16 ft x 0,1963

= 219,8560 ft^2

Ud = Q/(A.Δt)

= 13,0685 Btu/h ft² ºF

(15') Dirt Factor, Rd :

Rd = $\frac{Uc-Ud}{Uc.Ud}$

= $\frac{13,5228-13,0685}{13,5228 \times 13,0685}$ = 0,0026 h ft² ºF/Btu

Kesimpulan

13,7081	h outside	1000,0000
Uc	13,5228	
Ud	13,0685	
Rd calculated		0,0026
Rd required		0,0030

Pressure Drop

(1) Spesifik volume *steam* V = 73,52 ft^3/lb s = $\frac{1/73,52}{1 \times 62,5}$ = 0,0002 R_{es} = 206,0682, f = 0,0046 [26, Fig.29] N+1 = 12 L/B [26, pers 7.48] N+1 = 12.16/15 = 12,8 = 13 Ds = 23,25/12 = 1,9375 ft ΔPs = f Gs² Ds (N+1)/(5.22 × 10¹º De s Φs) [26, pers.7.44] = 0,0097	s =1 R_{et} = 603,0254 f = 0,00081 ft²/in² [26,Fig.26] ΔPt = f . Gt² . L. n/(5.22 × 10¹º D s Φt) [26, pers. 7.45] = 0,00038 psi V²/2g' =0,0014 psi [26, Fig 27] ΔPr = 4n/s . V²/2g' = 0,0112 psi ΔPT = ΔPs+ΔPr = 0,0097 psi + 0,0112 psi = 0,0209 psi

Bagian Pemisahan Liquida-Uap (*Drum Separator*)

L = 72.741,70 kg/hari = 6.681,9313 lb/jam = 1,8561 lb/s

V = 29.712,50 kg/hari = 2.729,3407 lb/jam = 0,7582 lb/s

P = 0,4 Bar = 40,53 kPa [8]

Spesifik volume uap = 3,769 m^3/kg [17, A.2-9]

ρ_{uap} = 0,265 kg/m^3 = 0,015 lb/ft^3

ρ_{susu} = 1016,0100 kg/m^3 = 63,4273 lb/ft^3

$\frac{WL}{Wv}\sqrt{\frac{\rho V}{\rho L}} = \frac{72.741,70}{29.712,50}\sqrt{\frac{0,015}{63,4273}} = 0,0376$

k_v = 0,30 [30, Tbl. 4-10]

$V_{max} = kv\sqrt{\frac{\rho L - \rho V}{\rho V}} = 0,30\sqrt{\frac{63,4273 - 0,015}{0,015}} = 19,51$ ft/s

[30, Eq. 4-9]

$V_{design} = 0,75 \cdot V_{max}$

= 0,75 . 19,51 ft/s = 14,63 ft/s

$qv = \frac{Wv}{\rho V} = \frac{0,7582\ lb/s}{0,015\ lb/ft^3} = 50,5467\ ft^3/s$

$A = \frac{qV}{V\ design} = \frac{50,5467\ ft^3/s}{14,63\ ft/s} = 3,455\ ft^3$

$A = \pi/4 x\ D^2$

$D = \sqrt{\frac{4 \times 3,455}{3,14}} = 2,098$ ft = 0,6395 m

Rate liquida = 6.681,9313 lb/jam

Waktu tinggal = 15 menit = 0,25 jam

Volume liquid $= \frac{rate\ liquid}{\rho}\ x\ waktu = \frac{6.681,9313\ lb/jam}{62,4273\ lb/ft^3}\ x\ 0,25\ jam$

$= 26{,}1589$ ft

Volume liquid = $\pi/4.\ D^2.H_L$

$26{,}1589\ ft^3 = \pi/4\ .(2{,}098\ ft)^2\ .H_L$

H_L = 7,5707 ft = 2,3 m

tinggi ruang uap = 10 in [30, Tbl. 4-11]

H_V = 10 in = 0,28 m

Tinggi drum separator = 2,3 m + 0,28 m = 2,58 m

Tinggi total evaporator = tinggi bagian penguapan + tinggi drum separator

$= \frac{8\ ft}{3{,}2808\ ft/m} + 2{,}58$ m

= 5,02 m

SPESIFIKASI

Panjang tube	: 8 ft
Jumlah tube	: 70 buah
D_o tube	: 1 ½ in
D_i tube	: 1,37 in
ΔP_{tube}	: 0,0112 psi
ΔP_{shell}	: 0,0097 psi
Tinggi drum separator	: 2,58 m
Tinggi total evaporator	: 5,02 m
Jumlah evaporator	: 1 buah (*single effect evaporator*)

57. Condensor (E-251)

Fungsi : untuk mengkondensasikan uap air dari *Evaporator* (V-250).

Tipe : *counter-flow Barometric Condensor*

Dasar pemilihan : konstruksi lebih murah dan mempunyai luas permukaan kontak yang besar.

Data :

- $T_{uap} = 77^oC = 170,6^oF$
- $T_{air\ pendingin} = 30^oC = 86^oF$

Perhitungan :

Laju uap pada $170,6^oF$ (v) = 11.490,10825 kg/hari = 1.055,4622 lb/jam

λ uap pada $170,6^oF$ (λ) = 1.134,548 – 138,571 = 995,9770 btu/lbm

[17, App. A.2-9]

Kebutuhan air pendingin

W (gpm) = $\frac{Q}{500\ (Ts-tw-ta)}$ [26, Eq. 14.4, p. 396]

Dimana :

Ts = suhu uap jenuh = $170,6^oF$

tw = suhu air pendingin = $30^oC = 86^oF$

ta = derajat pendekatan terhadap Ts

untuk *counter flow barometric condensor*, ta = 5 ^oF [26, hal.397]

Q = v.λ = 1.055,4622 x 995,9770 = 1.051.216,0693 btu/jam

W (gpm) = $\frac{Q}{500\ (Ts-tw-ta)} = \frac{1.051.216,0693\ btu/jam}{500\ (170,6-86-5)\ F}$ = 26,4125 gpm

Panjang tailing pipa

Persamaan bernoulli = $P_2 + \rho.g.h = P_1$

$P_2 = P_{uap}$ = 0,4 bar = 40.000 Pa

P_1 = 101,325 kpa = 101.325 Pa

ρ air = 995,68 kg/m^3

g = 9,8 m/s^2

$h = \frac{(P_1 - P_2)}{\rho \cdot g} = \frac{(101.325 - 40.000)}{995,68\ kg/m^3 \cdot 9,8\ m/s^2} = 6,2848$ m

SPESIFIKASI

Tipe = *counter flow barometic condensor*

Rate uap = 11.490,10825 kg/hari = 1.055,4622 lb/jam

Kebutuhan air pendingin = 26,4125 gpm

Panjang tailing pipa = 6,2848 m

Bahan = *Stainless steel* 316-L

Jumlah = 1 buah

58. Pompa (L-252)

Fungsi : untuk mengalirkan larutan agar dari *Evaporator* (V-250) ke *Spray Dryer* (B-260).

Tipe : *centrifugal pump*

Data:

T = 77°C

Massa rumput laut masuk = 16.009,66 kg/batch = 16.009,66 kg/jam

ρ rumput laut = 1.360,3251 kg/m^3 = 84,9221 lbm/ft^3

Viskositas (77°C) = 0,00094 kg/m.s = 0,0006 lb/ft.s

Rate volumetrik (q_f) = $\frac{16.009,66\ kg/jam}{1.360,3251\ kg/m^3}$ = 11,7690 m^3/jam = 0,0033 m^3/s

= 0,1154 ft^3/s

Laju susu segar masuk (m) = 0,0033 m^3/s x 1.360,3251 kg/m^3 = 4,4471 kg/s

<u>Perhitungan Diameter Pompa</u>

Optimum inside diameter (Di,opt) dengan asumsi aliran turbulen.

$Di,opt = 3,9\ q_f^{\ 0,45}\ \rho^{0,13}$ [21]

dimana : q_f = flow rate, ft^3/s

ρ = densitas fluida, lb/ft^3

Di,opt = 3,9 . $(0, 1154)^{0,45}$. $(84,9921)^{0,13}$ = 2,6297 inch ≈ 3,548 inch

Dipilih *Steel Pipe* (IPS) berukuran 3,5 inch, *schedule* 40 [17, Tbl. A.5-1]

ID = 3,548 inch = 0,2957 ft = 0,0901 m

A = 0,0687 ft^2

Kecepatan linear (v)= $\frac{q_f}{A} = \frac{0.1154\ ft^3/s}{0.0687\ ft^2}$ = 1,6805 ft/s = 0,5122 m/s

$N_{Re} = \frac{\rho \times v \times ID}{\mu}$

$= \frac{84,9921\ \frac{lbm}{ft^3} \times 1.6805\ \frac{ft}{s} \times 0.2957\ ft}{0,0006\ lb/ft.s}$

= 66.799,5982 (turbulen, asumsi benar) → aliran turbulen, α = 1

FRIKSI

- *Sudden contraction*

$A_{pipa} <<< A_{tangki}$

$Kc = 0,55\left(1 - \frac{A_{pipa}}{A_{tangki}}\right)$ [17, Eq. 2.10-16]

$A_{pipa}/A_{tangki} = 0$, karena A_{tangki} (A_1) jauh lebih besar dibanding A_{pipa} (A_2)

Sehingga : Kc = 0,55

$hc = Kc \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \times \frac{v^2}{2\alpha}$ = 0,55 x (1-0) x $\frac{(0.5122)^2}{2.1}$ = 0,0722 J/kg

- *Sudden enlargement*

$hex = \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)^2 \times \frac{v^2}{2\alpha}$ = $(1\text{-}0)^2$ x $\frac{(0,5122)^2}{2.1}$ = 0,1312 J/kg

- Friksi pada pipa lurus

Digunakan *commercial steel*, karena pipa yang paling sering dipakai di industri.

$\varepsilon = 4,6.10^{-5}$ m

harga $\frac{\varepsilon}{ID} = \frac{4{,}6.10^{-5}\ m}{0{,}1023\ m} = 0{,}0004 \rightarrow f = 0{,}005$ [17, Fig.2.10-3]

$\Delta L = (0{,}5 + 1{,}75 + 12 + 4 + 0{,}5)\ m = 18{,}75\ m$

$F_f = 4f\ x\ \frac{\Delta L}{ID}\ x\ \frac{v^2}{2}$ [17, Eq.2.10-6]

$= 4\ x\ 0{,}005\ x\ \frac{18{,}75\ m}{0{,}0901\ m}\ x\ \frac{(0{,}5122\ m/s)^2}{2} = 0{,}5459$ J/kg

- <u>Friksi pada *elbow*</u>

Jumlah *elbow* 90^o = 4 buah

Kf *elbow* 90^o = 0,75 [17, Tbl. 2.10-1]

$Hf = K_f\ x\ \frac{v^2}{2} = 0{,}75\ x\ \frac{(0{,}5122)^2}{2} = 0{,}0984$ J/kg [17, Eq. 2.10-17]

Karena ada 4 buah, maka = 4 x 0,0984 J/kg = 0,2952 J/kg

- <u>Friksi pada *globe valve*</u>

Jumlah *gate valve* = 1 buah

Kf *globe valve wide open* = 6 [26]

$hf = K_f\ x\ \frac{v^2}{2} = 6\ x\ \frac{(0{,}5112)^2}{2} = 0{,}7871$ J/kg

Σfriksi = (0,0722 + 0,1312 + 0,5459 + 0,2952 + 0,7871)

= 1,8315 J/kg

<u>Power Pompa</u>

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

v_2 = kecepatan aliran pada titik 2 = v pada pipa = 0,5122 m/s

v_1 = kecepatan aliran pada titik 1 ≈ 0

$z_2 - z_1$ = 10,99 m

g = percepatan gravitasi = 9,8 m/s^2

P_1 = 0,4 bar = 0,3948 atm

P_2 = 1 atm

$$-Ws = \frac{1}{2\alpha}(v_2 - v_1)^2 + g(z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \Sigma F$$

$$= \frac{1}{2 \times 1}(0{,}5122 - 0)^2 + 9{,}8\ m/s^2 (10{,}99)\ m + \frac{1 - 0{,}3948}{1.360{,}3251} + 1{,}8315\ J/kg$$

$$= 109{,}6651\ J/kg$$

Ws = -109,6651 J/kg

Dengan Q = 11,7690 m^3/jam, didapat efisiensi pompa = 30% [21, Fig. 13-37]

$$\text{Brake Hp} = -\frac{Ws \times m}{\eta \times 550} = -\frac{-109{,}6651\ J/kg \times 5{,}9763\ kg/s}{0{,}3 \times 550} = 2{,}9957\ Hp$$

Efisiensi motor = 80 % [22, Fig. 14-38]

$$\text{Power motor} = \frac{2{,}9957}{0{,}8} = 3{,}6947\ Hp = 4\ Hp$$

SPESIFIKASI

Rate volumetrik : 11,7690 m^3/jam = 0,1154 ft^3/s

Ukuran pipa : 3,5 in *schedule* 40

Power pompa : 4 Hp

Bahan konstruksi : *Stainless Steel*

Jumlah : 1 buah

59. Blower

Fungsi : mengalirkan udara panas

Tipe : *centrifugal*

Kapasitas : 3.117.334,5996 kg/hari = 1,2485 kmol/s

(BM udara = 28,9 kg/kgmol)

Jumlah : 1 buah

Bahan konstruksi : *carbon steel*

Laju volumetrik : 31,0396 m^3/s

Efisiensi : 70 % [23]

Perhitungan :

K = γ-1 / γ.Ep [23]

N = 1 / 1-K [23]

Dimana : γ udara = 1,4 (untuk gas *diatomic*)

K = 1,4 – 1 / 1,4 . 0,7 = 0,408

N = 1 / 1-0,408 = 1,689

Perhitungan power

$$H = \frac{ZRT}{(N-1)/N}\left[\left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(N-1)/N} - 1\right]$$

Z = 1; P_2 = 29,4 psia; P_1 = 14,7 psia

$$H = \frac{1.8{,}314\ .(273+30)}{(1{,}689-1)/1{,}689}\left[\left(\frac{29{,}4}{14{,}7}\right)^{(1{,}689-1)/1{,}689} - 1\right]$$

= 2.018,014 J/kmol = 2,018 kJ/kmol

Power = w . M / Ep = 2,018 kJ/kmol . 1,2485 kmol/s / 0,7 = 3,5992 kW

Power = 3,5992 kW / 0,7457 = 4,8267 Hp ≈ 5 Hp

SPESIFIKASI

Kapasitas : 3.117.334,5996 kg/hari = 1,2485 kmol/s

(BM udara = 28,9 kg/kgmol)

Bahan konstruksi : *carbon steel*

Jumlah : 1 buah

Power : 5 Hp

60. Spray Dryer (B-260)

Fungsi : untuk mengeringkan susu skim cair menjadi susu bubuk skim.

Tipe : silinder tegak dengan bagian tutup atas berbentuk *dished head* dan bagian bawah berbentuk konis.

Dasar pemilihan : konstruksi lebih murah dan mempunyai luas permukaan kontak yang besar.

Kapasitas : 16.009,6605 kg/hari

Kondisi operasi :

- Tekanan operasi = 1 atm
- Suhu masuk *spray dryer* = 77^{o}C
- Suhu susu keluar *spray dryer* = 125^{o}C

Laju pengeringan 18.054,34 kg air/batch

Berdasarkan laju pengeringan dan suhu udara masuk dipilih:

Volume *chamber* = 8.000 ft^3 [27, Fig 20-72]

Diameter = 24,3 ft = 7,406 m [27, Fig 20-72]

Lubang pengeluaran = 5 in = 0,4167 ft [28, hal 85]

Tinggi *shell* (Hs) = 0,4 D = 9,72 ft = 2,963 m [27, Fig 20-72]

Volume silinder $= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times Hs$

$= \frac{\pi}{4} \times (24,3\ ft)^2 \times 9,72\ ft$

$= 4.505,557\ ft^3$

Volume konis = volume *chamber* – volume silinder

$= 8.000 – 4.505,557\ ft^3$

$= 3.494,443\ ft^3$

M = 12 in = 1 ft [27, hal 85]

Volume konis $= \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times h_c \times (D^2 + D.M + M^2)$

$3.494,443\ ft^3 = \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times h_c \times (24,3^2 + 24,3 \times 1 + 1^2)$

h_c = 21,69 ft = 6,61 m

Untuk *shell*, tutup bagian atas, dan bawah dipilih bahan konstruksi *stainless steel-316 L* :

- f = allowable stress = 23.000 lb/in^2
- E = efisiensi las *double welded butt joint* = 0,8 [18, Tabel 13.2]
- ID = diameter *shell* = 7,406 m = 291,574 in
- P = 14,7 psia
- c = *Corrosion allowance* = 0,125 in

Tebal *shell*

$$ts = \frac{P \times r_i}{f_{all} \times E - 0.6 \times P}$$ [18, p.254, eq 13.1]

$$ts = \frac{14,7 \times 145,787}{23.000 \times 0,8 - 0,6 \times 14,7} = 0,1165 \text{ in} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

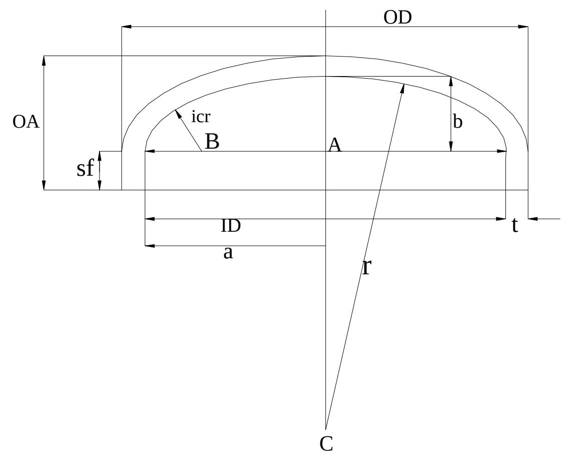
Tebal konis

Untuk ½ sudut puncak (α) tidak lebih besar dari 30^o digunakan persamaan [18, p.118, eq 6.154].

$$t_c = \frac{P \times ID}{2 \times \cos\alpha \times (f_{all} \times E - 0,6 \times P)} + c$$

$$t_c = \frac{14,7 \times 291,574}{2 \times \cos 30 \times (23.000 \times 0,8 - 0,6 \times 14,7)} + 0,125 = 0,2326 \text{ in} \approx \frac{1}{4} \text{ in}$$

Tebal *Dished Head*



r

(*crown radius* / *radius of dish*) = 291,574 in

icr (*inside corner radius* / *knuckle radius*) = 6% x 291,574 in = 17,494 in

W $= \frac{1}{4}\ x\ \left[3 + \sqrt{\frac{r}{icr}}\right]$ [29, pers 7.76]

$= \frac{1}{4}\ x\ \left[3 + \sqrt{\frac{291{,}574}{17{,}494}}\right]$

= 1,7706

a $= \frac{ID}{2} = \frac{291{,}574\ in}{2}$ = 145,787 in

AB $= \frac{ID}{2} - icr = \frac{291{,}574\ in}{2} - 17{,}494\ in$ = 128,293 in

BC = r – icr = (291,574 - 17,494) in = 274,08 in

b = r - $\sqrt{BC^2 - AB^2}$ = 291,574 – $\sqrt{274{,}08^2 - 128{,}293^2}$ = 49,374 in

t_d $= \frac{P\ x\ r\ x\ W}{2\ x\ f\ x\ E - 0{,}2\ x\ P} + c$ [18, pers 7.77, p.138]

t_d $= \frac{14{,}7\ psia\ x\ 291{,}574\ in\ x\ 1{,}7706}{(2\ x\ 23.000\ psia\ x\ 0{,}8) - (0{,}2\ x\ 14{,}7\ psia)} + 0{,}125\ in$

= 0,3312 in $\approx \frac{3}{8}$ in

Dipilih panjang *straight-flange* (sf) = 6 in [29, Tbl 5.8, hal.93]

OA = t_d + b + sf

= ($\frac{1}{2}$ + 49,374 + 6) in

= 55,874 in = 4,656 ft ≈ 4,7 ft

Tinggi total = Hs + hc + OA

= 2,963 m + 6,61 m + 1,419 m

= 10,992 m = 36,063 ft

SPESIFIKASI

Kapasitas	: 21.514,60 kg/batch
Diameter	: 24,3 ft = 7,41 m
Tinggi *spray dryer* total	: 36,063 ft = 10,99 m
Tebal shell	: 0,1165 in ≈ $\frac{2}{16}$ in
Tebal tutup bawah (konis)	: 0,2326 in ≈ $\frac{1}{4}$ in
Tebal tutup atas (dished head)	: 0,3312 in ≈ $\frac{3}{8}$ in
Bahan konstruksi	: *Stainless steel-316 L*
Jumlah *spray dryer*	: 1 buah

61. Tangki Penampung Agar-agar instan (F-261)

Fungsi : sebagai tempat penampungan sementara tepung aga-agar.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis.

Kondisi operasi :

- T = 30^{o}C
- Tekanan 1 atm

Data :

Massa larutan agar masuk = 2.295,4906 kg/hari ρ larutan agar = 1.544 kg/m^3 = 96,3886 lb/ft^3

Volume bahan = 1,4867 m^3

Ditetapkan untuk dimensi tangki:

1. Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.
2. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.
3. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]
4. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$
5. Volume ruang kosong = 90% volume tangki

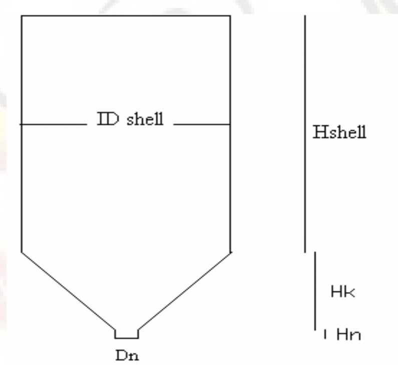
Volume Tangki:

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 1,4867 + 0,1 Volume tangki

Volume tangki = 1,6519 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

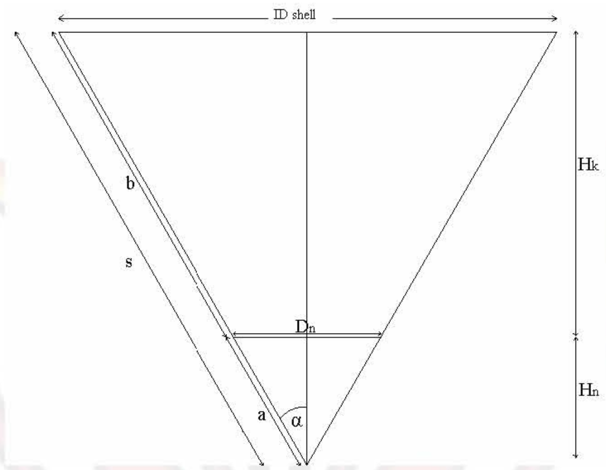
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* $= \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^{\ 2}\ x\ H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^{\ 3}$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

Hn = $\frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan Hk = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha}$ - Hn = $\frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^{\ 2}\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^{\ 2}\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}^{\ 3} - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$1,6519\ m^3 = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}^{\ 3} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}^{\ 3} - Dn^3)$

$1,6519\ m^3 = 1,1775\ ID_{shell}^{\ 3} + 0,2266\ ID_{shell}^{\ 3} - 0,0019$

$1,6538\ m^3 = 1,4041\ ID_{shell}^{\ 3}$

ID_{shell} = 1,0561 m = 3,4648 ft = 41,5777 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 1,0561 m = 1,5841 m = 5,1972 ft

Hn $= \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30}$ = 0,1760 m

Hk $= \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(1{,}0561 - 0{,}2302)\ m}{2\ tg\ 30}$ = 0,7386 m

H_{total} = H_{shell} + Hk = (1,5841 + 0,7386) m = 2,3227 m = 7,6204 ft

a $= \sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0{,}2302}{2}\right)^2 + 0{,}1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s $= \sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{1{,}0561}{2}\right)^2 + (1{,}0561 + 0{,}1760)^2}$

= 1,0561 m = 3,4648 ft

b = s – a = (1,0561 – 0,2032) m = 0,8529 m = 2,7981 ft

<u>Tinggi Larutan dalam Tangki</u>

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

1,4867 m^3 $= \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

1,4867 m^3 $= \frac{\pi}{4}\ x\ 1{,}0561^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (1{,}0561^3 - 0{,}2302^3)$

$H_{larutan}$ = 1,3954 m = 4,5781 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (4,5781 + 0,0,7386) m = 1,3954 m = 4,5781 ft

<u>Tekanan Operasi Tangki</u>

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik $= \frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

$= \frac{96{,}3886 \frac{lbm}{ft^3}\ x 4{,}5781 ft}{144}$ = 4,6865 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 4,6865) psia = 19,3865 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 19,3865 psia = 23,2638 psia = 1,5826 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

$t_s \quad = \frac{P \; x \; D}{2 \; x \; f \; x \; E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$t_{shell} = \frac{23{,}2638 \; psia \; x \; 41{,}5777 \; in}{2 \; x \; 23.000 \; x \; 0{,}8} + 0{,}125 \; in$

= 0,1513 in → standarisasi 2/16 in

Tebal Tutup Konis

Tebal alas $= \frac{P \; x \; D}{2 \cos \alpha \; (f.E - 0{,}6 \; P)} + c$

$= \frac{23{,}2638 \; psia \; x \; 41{,}5777 \; in}{2 \cos 30 \; (23.000 \; psia \; x \; 0{,}8 - 0{,}6 \; x \; 23{,}2638)} + 0{,}125 \; in$

= 0,1554 in → standarisasi 2/16 in

SPESIFIKASI

Kapasitas : 1,6519 m^3

ID_{shell} : 1,0561 m

H_k : 0,7386 m

H_{shell} : 1,5841 m

H total : 2,3227 m

Tebal *shell* : 2/16 in

Tebal *head* : 2/16 in

Tebal konis : 2/16 in

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

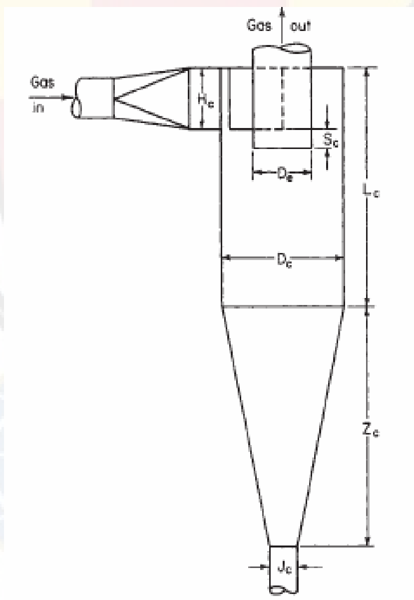
Jumlah tangki : 1 buah

62. Cyclone (H-262)

Fungsi : untuk memisahkan susu bubuk skim dari aliran udara.

Kapasitas : 13.685,87664 kg padatan/hari

Gambar :



Perhitungan :

Mencari Diameter *cyclone* (Dc)

$$Dp = \left(\frac{9\,\mu\,D_c}{4\pi N_t V(\rho - \rho_g)} \right)^{0,5}$$ [31,Eq. 18.15, p. 618]

$D_{partikel}$ untuk rumput laut adalah 76μ = $7{,}6.10^{-5}$ m = 0,0002493 ft [34]

V= kecepatan masuk cyclone, 120 ft/s [31, p. 617]

Nt, *number of turns gas* = $(0{,}1079 - 0{,}00077\ V + 1{,}924(10^{-6}V^2)V)$

= 5,185

$\mu = \mu_{udara}$ = 0,0209 cp = $1{,}4.10^{-5}$ lbm/ft.s

$\rho = \rho_{partikel\ rumput\ laut}$ = 95 lb/ft^3 [34]

$\rho_g = \rho_{udara}$ = 0,0632 lb/ft^3 [17, App.3-3, p. 971]

$$Dp = \left(\frac{9\,\mu\,D_c}{4\pi N_t V(\rho - \rho_g)} \right)^{0,5}$$

$$0,0002493 = \left(\frac{9 \times 1,4.10^{-5} \times Dc}{4 \times 3,14 \times 5,185 \times 120 \times (95 - 0,0632)} \right)^{0,5}$$

Dc = 19,13 ft = 0,3444 m

19,13 ft = Bc x 4

BC = 4,7825 ft

Hc = 2 x Bc

H_C = 9,565 ft

De = $\frac{Dc}{2}$ = 9,565

Lc = 2 . Dc = 2 x 19,13 ft = 38,26 ft

Sc = $\frac{Dc}{8}$ = 2,3913 ft

Zc = 2 . Dc = 2 x 19,13 ft = 38,26 ft

Jc = $\frac{Dc}{4}$ = 4,7825 ft

Dimana :

Dc : Diameter cyclone, ft

De : Diameter lubang pengeluaran gas, ft

Hc : Diameter lubang masuk, ft

Lc : Tinggi cyclone bagian silinder, ft

Zc : Tinggi cyclone bagian kerucut, ft

Jc : Diameter lubang pengeluaran partikel, ft

SPESIFIKASI

Tipe : *Effluent Dust cyclone*

Kapasitas : 13.685,87664 kg padatan/hari

Ukuran Bc : 4,7825 ft

Dc : 19,13 ft

De : 9,565 ft

Hc : 9,565 ft

Lc : 38,26 ft

Sc : 2,3913 ft

Zc : 38,26 ft

Jc : 4,7825 ft

63. Condensor (E-263)

Fungsi : untuk mengkondensasikan uap air dari *Spray Dryer* (B-260).

Tipe : *counter-flow Barometric Condensor*

Dasar pemilihan : konstruksi lebih murah dan mempunyai luas permukaan kontak yang besar.

Data :

- $T_{uap} = 85^oC = 185^oF$
- $T_{air\ pendingin} = 30^oC = 86^oF$

Perhitungan :

Laju uap pada 185^oF (v) = 13.702,6347 kg/hari = 1.258,7012 lb/jam

λ uap pada 185^oF (λ) = 1.140,15 – 153,01 = 987,1400 btu/lbm

[17, App. A.2-9]

<u>Kebutuhan air pendingin</u>

$W\ (gpm) = \frac{Q}{500\ (Ts - tw - ta)}$ [26, Eq. 14.4, p. 396]

Dimana :

Ts = suhu uap jenuh = 170,6^oF

tw = suhu air pendingin = 30^oC = 86^oF

ta = derajat pendekatan terhadap Ts

untuk *counter flow barometric condensor*, ta = 5 ^oF [26, hal.397]

Q = v.λ = 1.258,7012 x 987,1400 = 1.242.514,2895 btu/jam

W (gpm) = $\frac{Q}{500\ (Ts - tw - ta)} = \frac{1.242.514,2895\ btu/jam}{500\ (170,6 - 86 - 5)\ F}$ = 26,4365 gpm

Panjang tailing pipa

Persamaan bernoulli = $P_2 + \rho.g.h = P_1$

$P_2 = P_{uap}$ = 101,325 kpa = 101.325 Pa

P_1 = 101,325 kpa = 101.325 Pa

ρ air = 995,68 kg/m^3

g = 9,8 m/s^2

h = $\frac{(P_1 - P_2)}{\rho \cdot g} = \frac{(101.325 - 101.325)}{995,68\ kg/m^3\ .\ 9,8\ m/s^2}$ = 0 m

SPESIFIKASI

Tipe = *counter flow barometic condensor*

Rate uap = 13.702,6347 kg/hari = 1.258,7012 lb/jam

Kebutuhan air pendingin = 26,4365 gpm

Panjang tailing pipa = 0 m

Bahan = *Stainless steel* 316-L

Jumlah = 1 buah

64. Screen (H-264)

Tipe : *vibrating screen*

Dasar pemilihan : efisiensi tinggi, kapasitas tinggi, *maintenance cost* rendah, ruang yang dibutuhkan kecil. [25, p.19-20]

Fungsi : untuk memisahkan padatan susu bubuk yang berukuran tidak sama.

Perhitungan :

$D_{partikel}$ untuk rumput laut adalah 0,76 mm [34]

Dari [19, p.223] ditetapkan :

ukuran lubang *screen* = 1

panjang *screen* = 2 m

lebar *screen* = 1 m

luas *screen* = 2 m^2

Power $= \frac{1600 \ x \ m}{Dp} = \frac{1600 \ x \ 2.307,0257 \ kg}{3600s \ x \ 10.000 \ \mu m}$ = 0,1025 kW [19, p.315]

= 0,1375 hp ≈ 0,15 hp

SPESIFIKASI

Lubang *screen* = 1 cm

Panjang *screen* = 2 m

Lebar *screen* = 1 m

Luas *screen* = 2 m^2

Power = 0,15 hp

Bahan = *stainless steel*

Jumlah = 1 buah

65. Roll Mill (C-265)

Fungsi : untuk menggiling padatan rumput laut keluar dari *spray drying*.

Tipe : *two-roll crusher*

Dasar pemilihan : cocok untuk menggiling padatan

Kondisi operasi :

$P_{operasi}$ = 1 atm

$T_{operasi}$ = 30^oC

Waktu operasi = 1 jam

Kapasitas = 2.307,0257 kg/hari = 2,307 ton/hari

Rate massa = 2,307 ton/jam

Dari [27], untuk kapasitas 2,307 ton/jam, ditetapkan:

Diameter roll = 26 in

Lebar roll = 24 in

Kapasitas maksimum = 50 ton/jam

Power = 20 hp

SPESIFIKASI

Kapasitas	: 2,307 ton/jam
Kapasitas maksimum	: 50 ton/jam
Diameter roll	: 26 in
Lebar roll	: 24 in
Power	: 20 hp
Jumlah	: 1 buah

66. Screw Conveyor (J-266)

Fungsi : untuk mencampur tepung agar yang telah jadi dengan penambahan multivitamin.

Massa tepung agar + multivitamin = 2.307,1866 kg/hari = 2,3072 ton/jam

Untuk kapasitas 5 ton/jam [17], diperoleh:

- Panjang screw = 40 in = 1,016 m = 3,3333 ft

- Diameter screw = 2,5 in
- Shafts diameter = 2 in
- Kecepatan = 40 rpm
- Feed section diameter = 6 in

Kecepatan = $\frac{2,3072}{5} \times 40$ = 18,4576 rpm

hp = $\frac{C(ton/jam) . L(ft) . W(lb/ft^3) . F}{33000}$

Dari 35, tabel 2 hal 1345, diperoleh F = 1

hp = $\frac{2,3072 \times 3,3333 \times 96,3886 \times 1}{33000}$ = 0,0225 hp

Efisiensi motor = 80%

Power = $\frac{0,0748}{0,8}$ hp = 0,0281 hp ≈ 0,03 hp

67. Bucket Elevator (J-267)

Fungsi : mengangkut tepung agar-agar dari Screw Conveyor (J-266) ke Tangki Penampungan Akhir (F-268).

Tipe : *Centrifugal discharge bucket on belt*

Perhitungan :

Massa tepung agar = 2.307,0257 kg/hari = 2,3070 ton/jam

Tinggi elevasi = 2,4 m = 7,8739 ft

Dari [25, p.21-15, Tbl. 21-8] diperoleh:

- Ukuran *bucket* = 6 × 4 × 4,25 in
- Jarak *bucket* = 12 in
- Elevator center = 25 ft
- Kecepatan *bucket* = 225 ft/min = 68,6 m/menit
- *Head shaft* = 43 rpm

- *Shaft* diameter = *head* : $1^{15}/_{16}$ in; *tail* : $1^{11}/_{16}$ in
- Lebar *belt* = 7 in

hp = [27, p.1350]

hp = = 0,03633 hp

Effisiensi = 80%

Power motor = $\frac{0,03633}{0,8}$ = 0,0454 hp ≈ 0,05 hp

68. Tangki Penampung Akhir (F-268)

Fungsi : sebagai tempat penampungan akhir tepung aga-agar.

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas berbentuk plat datar dan tutup bawah berbentuk konis.

Kondisi operasi :

- T = 30^{o}C
- Tekanan 1 atm

Data :

Massa larutan agar masuk = 2.307,1886 kg/hari

ρ larutan agar = 1.544 kg/m^3 = 96,3886 lb/ft^3

Volume bahan = 1,4943 m^3

<u>Ditetapkan untuk dimensi tangki:</u>

Bahan konstruksi *Stainless Steel* tipe 316-L.

1. *Stainless Steel* tipe 316-L mempunyai *allowable stress value* 23.000 psi.
2. Digunakan las *double-welded butt joint* (E = 0,8) [18, Tabel 13.2]

3. $\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$

4. Volume ruang kosong = 90% volume tangki

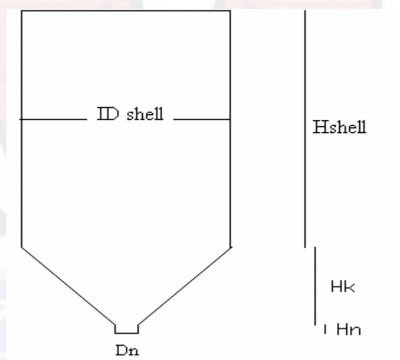
<u>Volume Tangki:</u>

Volume tangki = Volume bahan + Volume ruang kosong

Volume tangki = 1,4943 + 0,1 Volume tangki

Volume tangki = 1,6603 m^3

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis



Keterangan: ID_{shell} = diameter *shell*

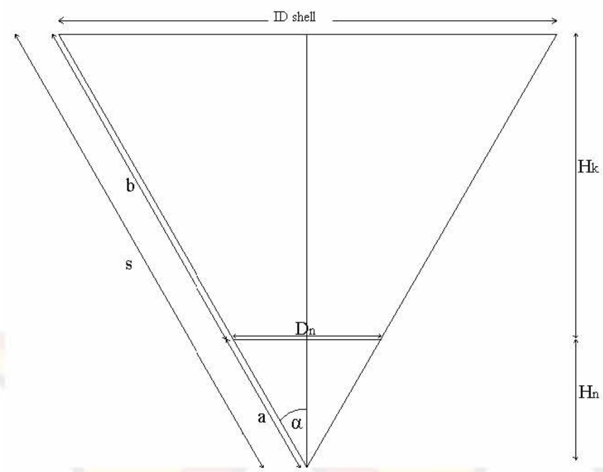
H_{shell} = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Dn = diameter *nozzle*

$\frac{H_{tangki}}{D_{tangki}} = \frac{1,5}{1}$ → volume *shell* $= \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ H_{shell} = \frac{1,5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3$



Sudut konis yang digunakan sebesar 60^o sehingga $\alpha = \frac{60}{2} = 30^o$ [18,p. 96]

Diameter *nozzle* (Dn) yang digunakan berkisar 4, 8, atau 10 inchi. [18,p. 96]

Dn yang digunakan adalah 8 inchi (0,2302 m)

$Hn = \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$ dan $Hk = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - Hn = \frac{ID_{shell}}{2\ tg\ \alpha} - \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha}$

Volume konis $= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ (Hk + Hn) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ Hn$

$= \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^2\ x\ \left(\frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} + \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}\right) - \frac{1}{3}\ x\ \frac{\pi}{4}\ x\ Dn^2\ x\ \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha}$

$= \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

Volume tangki = Volume *shell* + Volume konis

$1{,}6603\ m^3 = \frac{1{,}5\pi}{4}\ x\ ID_{shell}{}^3 + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}\ (ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

$1{,}6603\ m^3 = 1{,}1775\ ID_{shell}{}^3 + 0{,}2266\ ID_{shell}{}^3 - 0{,}0019$

$1{,}6622\ m^3 = 1{,}4041\ ID_{shell}{}^3$

ID_{shell} = 1,0579 m = 3,4706 ft = 41,6481 in

H_{shell} = 1,5 ID_{shell} = 1,5 x 1,0579 m = 1,5868 m = 5,2060 ft

$Hn = \frac{Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{0{,}2302\ m}{2\ tg\ 30} = 0{,}1760\ m$

$Hk = \frac{ID_{shell} - Dn}{2\ tg\ \alpha} = \frac{(1{,}0579 - 0{.}2302)\ m}{2\ tg\ 30} = 0{,}7402\ m$

H_{total} = H_{shell} + Hk = (1,5868 + 0,7402) m = 2,3270 m = 7,6343 ft

a = $\sqrt{\left(\frac{Dn}{2}\right)^2 + Hn^2} = \sqrt{\left(\frac{0,2302}{2}\right)^2 + 0,1760^2}$ = 0,2032 m = 0,6667 ft

s = $\sqrt{\left(\frac{ID_{shell}}{2}\right)^2 + (Hk + Hn)^2} = \sqrt{\left(\frac{1,0579}{2}\right)^2 + (1,0579 + 0,1760)^2}$

= 1,0579 m = 3,4706 ft

b = s – a = (1,0579 – 0,2032) m = 0,8547 m = 2,8040 ft

Tinggi Larutan dalam Tangki

Volume larutan (bahan) = Volume shell + Volume konis

1,4943 m^3 = $\frac{\pi}{4} x\ ID_{shell}{}^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}(ID_{shell}{}^3 - Dn^3)$

1,4943 m^3 = $\frac{\pi}{4} x\ 1,0579^2 . H_{larutan} + \frac{\pi}{24\ tg\ 30}(1,0579^3 - 0,2302^3)$

$H_{larutan}$ = 1,3978 m = 4,5859 ft

Tinggi larutan dalam tangki = $H_{larutan}$ + Hk

= (4,5859 + 0,7402) m = 2,1380 m = 7,0142 ft

Tekanan Operasi Tangki

Tekanan udara = 1 atm = 14,7 psia

Tekanan hidrostatik = $\frac{\rho_{bahan}\ x\ H_{bahan}}{144}$ [18, Eq. 3.17]

= $\frac{96,3886\frac{lbm}{ft^3}\ x\ 7,0142 ft}{144}$ = 4,6951 psia

Tekanan operasi alat = Tekanan udara + Tekanan hidrostatik

= (14,7 + 4,6951) psia = 19,3951 psia

Tekanan desain = 1,2 . Tekanan operasi alat

= 1,2 . 19,3951 psia = 23,2741 psia = 1,5883 atm

Tebal Tangki dan Tutup Atas Tangki

t_s = $\frac{P\ x\ D}{2\ x\ f\ x\ E} + c$ [18, p.45]

dimana: t_s = *thickness of shell* (in)

P = *internal design pressure* (psi)

D = *inside* diameter (in)

f = *allowable* working *stress* (psi)

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance* (1/8 = 0,125 in)

$t_{shell} = \frac{23{,}2741\ psia\ x\ 41{,}6841\ in}{2\ x\ 23.000\ x\ 0{,}8} + 0{,}125\ in$

= 0,1513 in → standarisasi 2/16 in

Tebal Tutup Konis

Tebal alas $= \frac{P\ x\ D}{2\cos\alpha\ (f.E - 0{,}6\ P)} + c$

$= \frac{23{,}2741\ psia\ x\ 41{,}6841\ in}{2\cos 30\ (23.000\ psia\ x\ 0{,}8 - 0{,}6\ x\ 23{,}2741)} + 0{,}125\ in$

= 0,1554 in → standarisasi 2/16 in

SPESIFIKASI

Kapasitas : 1,6603 m^3

ID_{shell} : 1,0579 m

H_k : 0,7402 m

H_{shell} : 1,5868 m

H total : 2,3270 m

Tebal *shell* : 2/16 in

Tebal *head* : 2/16 in

Tebal konis : 2/16 in

Bahan konstruksi : *Stainless Steel* tipe 316-L

Jumlah tangki : 1 buah

35. Jaket Pendingin Refrigerant untuk Tangki Susu Segar (F-110)

Dari perhitungan pada Bab VI didapatkan:

massa udara pendingin yang dibutuhkan = 8920,48 kg/hari = 0,732 m^3/s

Tebal shell = 4/16 in = 0,0057 m

Diameter luar (OD) shell = Dt + 2 x tebal shell = 3,2357 m

Diambil spasi jaket = 1 in = 0,025 m

ID jaket = OD shell + 2 x spasi jaket

= 3,2357 + 2 x 0,025 m = 3,2865 m

Laju volumetrik = A x v

$$0{,}732\ m^3/s = \frac{\pi}{4} \times [(\text{ID jaket})^2 - (\text{OD shell})^2] \times v$$

$$0{,}732\ m^3/s = \frac{\pi}{4} \times [(3{,}2865)^2 - (3{,}2357)^2]\ x\ v$$

v = 2,5505 m/s = 8,3675 ft/s

Perhitungan koefisien perpindahan panas konveksi dari liquid menuju pendingin dalam tangki (hj):

$$\text{hjh} = \frac{j \times k}{D_j} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k}\right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_W}\right)^{0,14} \quad [26]$$

di mana: hj = koefisien perpindahan panas konveksi

j = faktor perpindahan panas Sieder-Tate

k = konduktivitas termal (72°C) = 0,3663 Btu/h.ft.°F

Dj = diameter tangki = 10,5785 ft

Cp = kapasitas panas = 0,9513 btu/lb.°F

μ = viskositas fluida = 1,5579 lbm/ft h

μ_w = viskositas fluida pada suhu T_w = 1,5579 lbm/ft h

Faktor perpindahan panas Sieder-Tate didapat dengan perhitungan:

$$N_{Re,j} = \frac{L^2 \times N\ \rho}{\mu}$$ [26, p.718]

dimana : L = panjang pengaduk, ft = 1,0578 ft

N = putaran pengaduk, rph = 3000 rph

μ = viskositas, lb/ft.h = 0,0009 kg/m.s = 2,1772 lb/ft.h

ρ = densitas, lb/ft^3 = 62,6981 lb/ft^3

sehingga didapatkan:

$$N_{Re} = \frac{(1{,}0578)^2 \times 3000 \times 62{,}6981}{2{,}1772} = 96.678{,}2009$$

Untuk jaket, J_h = 800 [26, fig. 20.2]

Koefisien perpindahan panas konveksi :

$$hj = \frac{j \times k}{D_j} \times \left(\frac{Cp \times \mu}{k}\right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_W}\right)^{0,14}$$

$$= \frac{800 \times 0{,}3663}{10{,}5785} \times \left(\frac{0{,}9513 \times 1{,}5579}{0{,}3663}\right)^{1/3} \times \left(\frac{1{,}5579}{1{,}5579}\right)^{0,14}$$

$$= 44{,}1430\ btu/h.ft^2.°F$$

Perhitungan tinggi jaket pendingin:

hio = 2300 $btu/h.ft^2.°F$ [26]

$$U_C = \frac{h_j \times h_{io}}{h_j + h_{io}}$$

$$= \frac{44{,}1430 \times 2300}{44{,}1430 + 2300} = 43{,}3117\ btu/h.ft^2.°F$$

Diambil faktor kekotoran gabungan, Rd = 0,003

$$U_d = \left(\frac{1}{U_C} + R_d\right)^{-1}$$

$$= \left(\frac{1}{43{,}3117} + 0{,}003\right)^{-1} = 38{,}3312$$

Ketinggian jaket dapat dihitung dengan persamaan

$$Q = Ud\ A\Delta T \quad [26]$$

Q = 167.244,4007 btu/h

U_d = 38,3312

T_1 = 30^{o}C = 131^{o}F

T_2 = 4^{o}C = 86^{o}F

ΔT = 45^{o}F

167.244,4007 = 38,3312 x A x 45

A = 96,9588 ft^2 = 9,0080 m^2

A = luas jaket pada shell + luas jaket pada konis

A = π . OD shell . H jaket

9,0080 m^2 = π x 3,2357 m x H jaket

H jaket = 0,8866 m

Tinggi jaket 0,8866 m, terlalu kecil dibandingkan dengan tinggi bahan dalam tangki, sehingga tidak akan dapat mempengaruhi suhu dalam tangki. Untuk itu, ditetapkan untuk tinggi jaket sama dengan tinggi bahan dalam tangki, yaitu 6,2995 m.

Diambil tebal jaket = tebal konis = 4/16 in = 0,25 in = 0,0064 m

OD jaket = ID jaket + 2 . tebal jaket

= 3,2865 + 2 (0,0064) = 3,2992 m

APPENDIX D

PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI

D.1 Perhitungan Harga Peralatan

Metode Perkiraan Harga

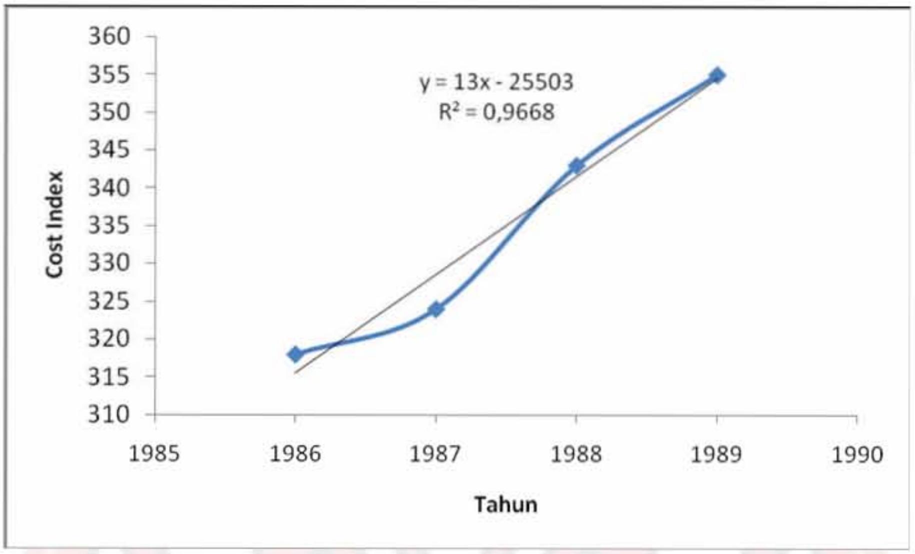
Dari tahun ke tahun harga peralatan selalu mengalami kenaikan seiring dengan perubahan kondisi ekonomi. Untuk memperkirakan harga peralatan tahun tertentu diperlukan suatu indeks yang dapat mengkonversikan harga peralatan tahun sebelumnya menjadi harga peralatan tahun tersebut. Metode yang digunakan untuk menentukan harga peralatan adalah metode *Cost Index* yang dihitung dengan persamaan :

$$\text{Harga alat tahun yang diinginkan} = \frac{\text{Cost index tahun diinginkan}}{\text{Cost index tahun A}} . \text{Harga alat tahun A}$$

Pada perencanaan pabrik susu bubuk tinggi protein, harga peralatan yang digunakan didasarkan pada harga alat yang terdapat pada pustaka Peters & Timmerhauss, Ulrich, Garett dan harga peralatan dari internet. *Cost index* yang digunakan adalah dari Chemical Engineering Plant Cost Index. Diperkirakan pabrik didirikan tahun 2011, sehingga dengan linierisasi data-data tahun sebelumnya didapatkan :

Tabel. D.1. ***Chemical Engineering Plant Cost Index*** **Tahun 1986-1990**

Tahun	Cost Index
1986	318
1987	324
1988	343
1989	355



Gambar D.1. Grafik Hubungan *Cost Index* vs Tahun

Dengan menggunakan regresi linear didapat persamaan y = 13x - 25503 (y= *cost index*, x = tahun) , kemudian diperoleh:

- *Cost index* pada tahun 2008 = 601
- *Cost index* pada tahun 2011 = 640

Contoh perhitungan:

Nama alat : Tangki Penampungan Susu Sapi Segar (F-110)

Kapasitas : 40,6865 m^3

Bahan konstruksi : *Stainless steel*

Harga tahun 2008 : $ 2.000

Harga tahun 2011 : $\frac{640}{601}$x $ 2.000 = $ 2.129,78

Dengan cara yang sama, harga peralatan alat proses dan utilitas di sajikan pada Tabel D.2 dan Tabel D.3.

Tabel D.2. Harga Alat Proses

No.	Nama Alat	Kode	Harga satuan thn 2008 ($)	Harga satuan thn 2011 ($)	Jumlah	Harga Total tahun 2011 (Rp.)
1	Tangki Penampungan	F-110	2000	2129,78	3	63.893.511
2	Pompa	L-111	750	798,67	1	7.986.689
3	Tangki Standarisasi	M-120	2500	2662,23	1	26.622.296
4	Pompa	L-121	750	798,67	1	7.986.689
5	PHE	E-130	7500	7986,69	1	79.866.889
6	Pompa	L-131	750	798,67	1	7.986.689
7	Tangki Penampungan Susu Pasteurisasi	F-132	15600	16612,31	1	166.123.128
8	Pompa	L-133	750	798,67	1	7.986.689
9	Centrifugal separator	H-140	12500	13311,15	1	133.111.481
10	Tangki Penampungan Lemak	F-142	1500	1597,34	1	15.973.378
11	Pompa	L-143	750	798,67	1	7.986.689
12	Falling Film Evaporator	V-150	46365,2	49373,92	1	493.739.235
13	Condenser	E-151	1500	1597,34	1	15.973.378
14	Blower		1350	1437,60	1	14.376.040
15	Pompa	L-152	750	798,67	1	7.986.689
16	Spray Dryer	B-160	72000	76672,21	1	766.722.130
17	Cyclone	H-162	5000	5324,46	1	53.244.592
18	Condenser	E-163	1500	1597,34	1	15.973.378
19	Tangki Penampungan Susu bubuk skim	F-161	1500	1597,34	1	15.973.378
20	Roll mill	C-164	2000	2129,78	1	21.297.837
21	Screen	H-165	1000	1064,89	1	10.648.918
22	Bucket Elevator	J-166	2500	2662,23	1	26.622.296
23	Tangki penampungan susu bubuk skim akhir	F-167	1500	1597,34	1	15.973.378
24	Cutter	C-201	1150	1224,63	1	12.246.256
25	Condenser	E-163	2750,61	2929,10	1	29.291.022
26	Tangki Penampungan Susu bubuk skim	F-161	2500	2662,23	1	26.622.296
27	Roll mill	C-164	750	798,67	1	7.986.689
28	Screen	H-165	2500	2662,23	1	26.622.296
29	Bucket Elevator	J-166	2500	2662,23	1	26.622.296

30	Tangki penampungan susu bubuk skim akhir	F-167	750	798,67	1	7.986.689
31	Cutter	C-201	1000	1064,89	1	10.648.918
32	Conveyor	J-202	2500	2662,23	1	26.622.296
33	Tangki Pelarutan Kaporit		1000	1064,89	1	10.648.918
34	Pompa		1150	1224,63	1	12.246.256
35	Tangki Perendaman	M-210	2500	2662,23	1	26.622.296
36	Tangki Pelarutan asam sitrat		750	798,67	1	7.986.689
37	Pompa		17600	18742,10	1	187.420.965
38	Screen+washer	H-211	750	798,67	1	7.986.689
39	Tangki pelembutan	M-220	4147,5	4416,64	1	44.166.389
40	Screen + washer	H-221	2500	2662,23	1	26.622.296
41	Cutter	C-222	1500	1597,34	1	15.973.378
42	tangki pengenceran asam asetat		750	798,67	1	7.986.689
43	Pompa		46365,2	49373,92	1	493.739.235
44	Tangki ekstraksi	M-230	1500	1597,34	1	15.973.378
45	Pompa	L-231	1350	1437,60	1	14.376.040
46	Filter Press	H-240	750	798,67	1	7.986.689
47	Filtrat Bin	M-241	72000	76672,21	1	766.722.130
48	Tangki penampungan cake		1500	1597,34	1	15.973.378
49	Pompa	L-242	5000	5324,46	1	53.244.592
50	Evaporator	V-250	1500	1597,34	1	15.973.378
51	Condenser	E-251	1500	1597,34	1	15.973.378
52	Blower		2000	2129,78	1	21.297.837
53	Pompa	L-252	1000	1064,89	1	10.648.918
54	Spray Dryer	B-260	2500	2662,23	1	26.622.296
55	Tangki Penampung agar-agar instan	F-261	1500	1597,34	1	15.973.378
56	Cyclone	H-262	1150	1224,63	1	12.246.256
57	Condenser	E-263	1500	1597,34	1	15.973.378
58	Roll Mill	C-265	2000	2129,78	1	21.297.837
59	Screw Conveyor	J-266	1500	1597,34	1	15.973.378
60	Bucket Elevator	J-267	2500	2662,23	1	26.622.296

61	Tangki Penampungan Akhir	F-268	1500	1597,34	1	15.973.378
62	Filling Machine		5500	5856,91	2	117.138.103
TOTAL						4.087.358.509

* Kurs : U$ 1 = Rp. 10.000

Tabel D.3. Harga Alat Utilitas

Nama Alat	Jumlah	Harga satuan 2008 ($)	Harga satuan 2011 ($)	Harga Total 2011 (Rp.)
Tangki Penampung	1	2000	2129,78	21.297.837
Tangki demineralisasi	1	6000	6389,35	63.893.511
Tangki penampung air umpan	1	2000	2129,78	21.297.837
Pompa	4	1000	1064,89	42.595.674
Refrigerator	1	52000	55374,38	553.743.760
Boiler	1	43209,9	46013,87	460.138.702
TOTAL				1.162.967.321

* Kurs : U$ 1 = Rp. 10.000

Total harga alat = Rp. 4.087.358.509 + Rp. 1.162.967.321

= Rp. 5.250.325.830

D.2. Perhitungan Harga Bahan Baku

Harga bahan baku dapat dilihat pada Tabel D.4.

Tabel D.4. Harga Bahan Baku

Bahan	Harga per kg (Rp)	Kebutuhan per hari (kg)	Kebutuhan per tahun (kg)	Harga per tahun (Rp)
Susu sapi segar	3.900	75633,2	24958956	97.339.928.400
Rumput laut	6.000	2850,665	940719,45	5.644.316.700
Kaporit	12.600	1425,3325	470359,725	5.926.532.535
Asam sitrat	15.000	299,3198	98775,534	1.481.633.010
Asam asetat	11.000	29,931	9877,23	108.649.530
Total				110.501.060.175

D.3. Perhitungan Harga Utilitas

<u>LISTRIK</u>

Perhitungan harga utilitas meliputi harga listrik, harga air, harga bahan bakar, dan harga pemurnian air. Berdasarkan keputusan Presiden Republik Indonesia nomor 76 tahun 2003, biaya listrik luar beban puncak (LWBP) untuk industri adalah Rp 439/kWh. Sedangkan, biaya listrik beban puncak (WBP) pada Pk. 17.00-22.00 adalah 1,4 × LWBP. Contoh perhitungan biaya listrik :

Lampu di pos keamanan kanan menyala selama 12 jam/hari, Maka biaya listrik dihitung sebagai berikut :

$$\text{Power} = \frac{2.512,97\ lumen}{85\ lumen/watt} = 0,0296\ \text{kW}$$

WBP = 5 jam × 0,0296 kW = 0,148 kWh

Harga listrik WBP = 1,4 × Rp 439/kWh × 0,148 kWh = Rp. 90,9608 /hari

LWBP = 7 jam × 0,0296 kW = 0,2072 kWh

Harga listrik LWBP = Rp 439/kWh × 0,2072 kWh = Rp. 90,9608 /hari

Dengan cara yang sama, biaya listrik dihitung sebagai berikut:

Tabel D.5. Biaya Listrik dari Lampu

No	Ruangan	Lumen Output	Efficacy (lumen/ watt)	Waktu (jam)	kW	kWh (WBP)	kWh (LWBP)	WBP (Rp.)	LWBP (Rp.)
1	Pos keamanan kanan	2512,9665	85	12	0,0296	0,148	0,207	90,96	90,96
2	Pos keamanan kiri	1416,9544	85	24	0,0167	0,083	0,117	51,23	51,23
3	Parkir sepeda motor	999,185	85	24	0,0118	0,059	0,082	36,12	36,12
4	Parkir mobil	999,185	85	12	0,0118	0,059	0,082	36,12	36,12
5	Parkir truk	745,546	85	12	0,0088	0,044	0,061	26,95	26,95
6	Kantor lantai 1	745,546	85	12	0,0088	0,044	0,061	26,95	26,95
7	Warehouse rumput laut	25281,983	85	12	0,2974	1,487	2,082	914,02	914,02
8	Kantor manager lantai 2	31757,88	40	24	0,7939	3,970	5,558	2439,80	2439,80
9	Ruang QC dan Rnd	170930,0586	40	24	4,2733	21,366	29,913	13131,70	13131,70
10	Ruang rapat	41245,14	40	24	1,0311	5,156	7,218	3168,66	3168,66
11	Laboratorium	291451,095	40	24	7,2863	36,431	51,004	22390,73	22390,73
12	Area proses lantai 2	8472,961	40	12	0,2118	1,059	1,483	650,94	650,94
13	*Control room*	5920,01	40	24	0,1480	0,740	1,036	454,80	454,80
14	Area proses lantai 1A	21192,43	40	12	0,5298	2,649	3,709	1628,11	1628,11
15	Area proses lantai 1B	41245,14	40	12	1,0311	5,156	7,218	3168,66	3168,66
16	Gudang	72597,9	40	12	1,8149	9,075	12,705	5577,33	5577,33

		1							
17	Gudang storage produk	72597,91	40	12	1,8149	9,075	12,705	5577,33	5577,33
18	Area Utilitas	15889,17	40	12	0,3972	1,986	2,781	1220,69	1220,69
19	Kantor utilitas	33907,59	40	24	0,8477	4,238	5,934	2604,95	2604,95
20	Taman	81600,98	85	12	0,9600	4,800	6,720	2950,12	2950,12
21	Kantin	21192,43	85	12	0,2493	1,247	1,745	766,17	766,17
22	Mushola	19655,06	85	12	0,2312	1,156	1,619	710,59	710,59
23	Poliklinik	26104,63	85	12	0,3071	1,536	2,150	943,76	943,76
24	Koperasi	34113,14	85	12	0,4013	2,007	2,809	1233,29	1233,29
25	Jalan	13701,85	85	12	0,1612	0,806	1,128	495,36	495,36
26	WC pos satpam kiri	10276,36	85	24	0,1209	0,604	0,846	371,52	371,52
27	WC pos satpam kiri	7840	85	24	0,0922	0,461	0,646	283,44	283,44
28	WC lantai 1	8914,16	85	24	0,1049	0,524	0,734	322,27	322,27
29	WC lantai 2	5064,73	85	24	0,0596	0,298	0,417	183,10	183,10
30	Ruang generator	4347,31	85	12	0,0511	0,256	0,358	157,17	157,17
31	Pengolahan limbah	4344,73	85	12	0,0511	0,256	0,358	157,07	157,07
32	Pos keamanan kanan	2512,9665	85	12	0,0296	0,148	0,207	90,85	90,85
33	Pos keamanan kiri	1416,9544	85	12	0,0167	0,083	0,117	51,23	51,23
34	Parkir sepeda motor	999,185	85	12	0,0118	0,059	0,082	36,12	36,12
35	Parkir mobil	999,185	85	12	0,0118	0,059	0,082	36,12	36,12
TOTAL								**71769,82**	**71769,82**

Tabel D.6 Biaya Listrik dari Alat Proses dan Utilitas

Ruang	hp	kW	kWh (WBP)	kWh (LWBP)	WBP (Rp)	LWBP (Rp)
Proses dan utilitas	159,4247	118,883	594,415	832,181	**365327,459**	**365327,46**

Total biaya listrik lampu dan alat :

= Rp. 71.769,82 + Rp. 71.769,82 + Rp. 365.327,459 + Rp. 365.327,46

= Rp. 874.194,55 per hari = Rp. 262.258.364,7 per tahun

Biaya beban listrik = Rp 29.500/kW bulan

Kebutuhan listrik total = 142,238 kW

Total biaya beban dalam setahun :

= 142,238 kW x 29.500/kW bulan x 12 bulan/tahun

= Rp. 50.352.240,53 per tahun

Total biaya listrik = Total biaya beban + biaya listrik lampu dan alat

= Rp. 50.352.240,53 + Rp. 262.258.364,7

= Rp. 312.610.605,2 per tahun

AIR

Biaya kebutuhan air dihitung dengan rumus :

Biaya kebutuhan air = Biaya pemakaian + biaya administrasi + biaya pemeliharaan + biaya pelayanan air kotor

Kebutuhan air total = 248,1873 m^3/hari

Berdasarkan keterangan dari PDAM kota Situbondo, diperoleh harga untuk pemakaian air untuk industri Rp. 4.000 per m^3

Total biaya pemakaian = 248,1873 m^3/hari x Rp.4.000 /m^3

= Rp. 992.749,2 per hari = Rp. 327.607.236 per tahun

Biaya administrasi (biaya cetak rekening) = Rp. 90.000 per tahun

Biaya pelayanan air kotor = Rp. 1.440.000 per tahun

Biaya pemeliharaan = Rp .1.800.000 per tahun

Biaya kebutuhan air = Rp. 327.607.236 + (Rp. 90.000 + Rp. 1.440.000 + Rp. 1.800.000)

= Rp. 330.937.236 per tahun

BAHAN BAKAR

Dari perhitungan boiler dan Generator pada BAB VI didapatkan data :

Kebutuhan solar total : 8.692,20116 L/tahun

Harga 1 liter solar = Rp. 5.000

Biaya solar per tahun = 8.692,20116 x Rp. 5.000 = Rp. 13.038.301.740
Total biaya bahan bakar per tahun = Rp. 13.038.301.740

PEMURNIAN AIR

Biaya pemurnian air meliputi biaya zeolit dan NaCl. Dari perhitungan pada BAB VI didapatkan data :

1. Zeolit

Kebutuhan = 273,52 kg/6 bulan

Pembelian zeolit dilakukan setiap 6 bulan sekali, sehingga dalam 1 tahun dilakukan pembelian zeolit sebanyak dua kali.

Pembelian = 273,52 kg x 2 = 547,04 kg

Harga beli pertahun = Rp. 22.000,-/kg x 547,04 kg = Rp. 12.034.880

2. NaCl

Kebutuhan = 111,6856 kg/tahun

Harga beli pertahun = Rp. 4.500,-/kg x 111,6856 kg = Rp.502.585,2

Total biaya pemurnian air per tahun = Rp. 12.034.880 + Rp. 502.585,2

= Rp. 12.537.465,2

REFRIGERANT

Kebutuhan = 18.462 kg/tahun

Pembelian refrigerant dilakukan setiap 6 bulan sekali, sehingga dalam 1 tahun dilakukan pembelian refrigerant sebanyak dua kali.

Harga beli per tahun = Rp. 30.000,-/kg x 18.462 kg = Rp. 553.860.000

Harga total utilitas per tahun dapat dilihat pada Tabel D.7.

Tabel D.7. Biaya Utilitas per Tahun

No.	Jenis	Harga (Rp.)
1	Biaya Listrik	312.610.605,2
2	Biaya Air	330.937.236
3	Biaya Bahan Bakar	13.038.301.740
4	Biaya Pemurnian Air	12.537.465,2
5	Biaya Refrigerant	553.860.000
TOTAL		14.248.247.046

D.4. Perhitungan Harga Tanah dan Bangunan

Harga Tanah dan bangunan di Kota Situbondo dapat dilihat pada Tabel D.8.

Tabel D.8. Harga Tanah dan Bangunan Kota Situbondo

Jenis	Harga per m^2 (Rp.)	Luas (m^2)	Harga Total (Rp.)
Tanah	450.000	8.500	3.825.000.000
Bangunan	2.000.000	8.108,7858	16.217.571.572
TOTAL			20.042.571.572

D.5. Perhitungan Gaji Pegawai

Pabrik minuman multivitamin agar-agar instan ini mempekerjakan pegawai sebanyak 200 orang dengan gaji pegawai ditetapkan selama 12 bulan dengan 1 bulan tunjangan.

Karyawan terbagi atas :

1. Karyawan non shift

Karyawan yang bekerja non shift adalah karyawan di bidang RD, akuntasi dan keuangan, personalia dan administrasi, promosi dan marketing, pegawai kebersihan, serta sopir dengan jam kerja Senin-Jumat pukul 08.00-16.00, dan Sabtu pukul 08.00-14.00.

2. Karyawan shift

Karyawan yang bekerja shift terdiri dari supervisor proses, karyawan di bidang proses, *maintenance*, utilitas, petugas *Quality Control*, pekerja gudang, pekerja keamanan, pekerja kantin dan koperasi, serta pekerja poliklinik. Jam kerja karyawan shift kecuali pekerja kantin dan koperasi serta pekerja poliklinik adalah dari hari Senin–Minggu dengan jadwal :

Shift A : pk. 07.00-15.00

Shift B : pk. 15.00-23.00

Shift C : pk. 23.00-07.00

Pergantian shift dilakukan setiap dua hari sekali.

Shift	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
A	I	I	II	II	III	III	IV
B	IV	IV	I	I	II	II	III
C	III	III	IV	IV	I	I	II
Libur	II	II	III	III	IV	IV	I

Pergantian shift untuk pekerja kantin dan koperasi serta pekerja poliklinik sebanyak 2 kali dengan jam kerja yaitu hari Senin-Minggu dengan jadwal :

Shift A : pk. 07.00- 15.00

Shift B : pk. 15.00 –23.00

Pergantian shift dilakukan setiap seminggu sekali.

Perhitungan gaji pegawai dapat dilihat pada Tabel D.9.

Tabel D.9. Perincian Gaji Karyawan Tiap Bulan

No	Jabatan	Jumlah	Gaji (Rp.)	Total (Rp.)
1	Direktur Utama	1	15.000.000	15.000.000
2	General Manager	1	8.000.000	8.000.000
3	Manager Produksi	1	4.000.000	4.000.000
4	Manager Keuangan	1	4.000.000	4.000.000
5	Manager Pemasaran	1	4.000.000	4.000.000
6	Manager Personalia dan Umum	1	4.000.000	4.000.000
7	Kepala Bagian Research and Development	1	3.000.000	3.000.000
8	Kepala Bagian Akutansi dan Keuangan	1	3.000.000	3.000.000
9	Kepala Bagian Promosi dan Marketing	1	3.000.000	3.000.000
10	Kepala Bagian Proses dan Utilitas	1	3.000.000	3.000.000
11	Kepala Bagian Maintenance	1	3.000.000	3.000.000
12	Kepala Bagian Laboratorium dan QC	1	3.000.000	3.000.000
13	Kepala Bagian Pembelian dan Penjualan	1	3.000.000	3.000.000
14	Sekretaris	2	1.500.000	3.000.000
15	Supervisor Proses	8	2.000.000	16.000.000
16	Pekerja Proses	72	1.200.000	86.400.000
17	Pekerja Maintenance	12	1.200.000	14.400.000
18	Pekerja Utilitas	20	1.200.000	24.000.000
19	Pekerja Laboratorium dan QC	8	1.500.000	12.000.000
20	Pekerja Akutansi dan Keuangan	3	1.500.000	4.500.000
21	Pekerja Personalia dan Umum	3	1.500.000	4.500.000
22	Pekerja Pembelian dan Penjualan	3	1.500.000	4.500.000
23	Pekerja Pemasaran dan Marketing	4	1.500.000	6.000.000
24	Pekerja Research and Development	4	1.500.000	6.000.000
25	Pekerja Gudang	8	1.000.000	8.000.000
26	Pekerja Kebersihan	10	750.000	7.500.000
27	Keamanan	12	750.000	9.000.000
28	Sopir	6	750.000	4.500.000

29	Koperasi dan Kantin	8	600.000	4.800.000
30	Poliklinik	4	600.000	2.400.000
	TOTAL	**200**		**277.500.000**

Total gaji pegawai = Rp. 277.500.000/bulan x 12 bulan/tahun

= Rp. 3.330.000.000/tahun

D.6. Perhitungan Harga Jual Produk

1. Minuman Multivitamin Agar-agar Instan

   Harga jual produk ini, ditentukan dengan memperkirakan harga pasar susu bubuk skim dan rumput laut (dalam skala kecil).

   Setiap hari dihasilkan minuman multivitamin sebanyak 230.718 *sachet*.

   Harga 1 *sachet* Rp. 3.000

   Harga jual minuman multivitamin = 230.718 *sachet* x Rp. 3.000/*sachet*

   = Rp. 692.154.000

2. Ampas Rumput Laut

   Setiap hari dihasilkan ampas rumput laut sebanyak sebanyak 665,0885 kg

   Harga 1 kg ampas rumput laut Rp. 2.500 [34]

   Harga jual ampas rumput laut = 665,0885 x Rp. 2.500 = Rp. 1.662.721

3. Lemak

   Setiap hari dihasilkan lemak sebanyak 2.891,5 kg

   Harga 1 kg lemak Rp. 4.000 [32]

   Harga jual lemak = 2.891,5 x Rp. 4.000 = Rp. 11.566.000

Tabel D.10. Harga Jual Produk

No.	Produk	Penjualan per hari (Rp.)
1.	Minuman multivitamin	692.154.000
2.	Ampas Rumput Laut	1.662.721
3.	Lemak	11.566.000

TOTAL	705.382.721

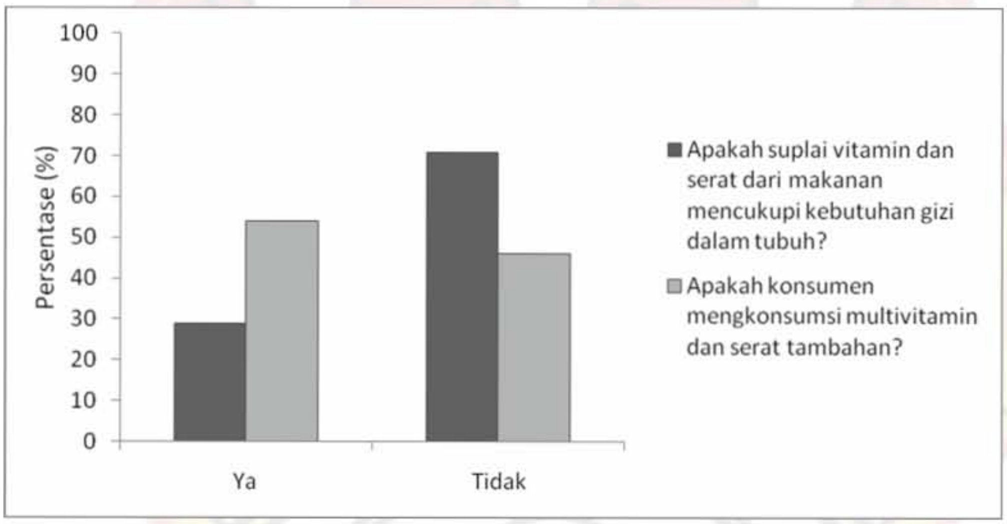
Harga jual produk per tahun = Rp. 705.382.721 x 330

= Rp. 232.776.298.013

APPENDIX E

HASIL POLLING

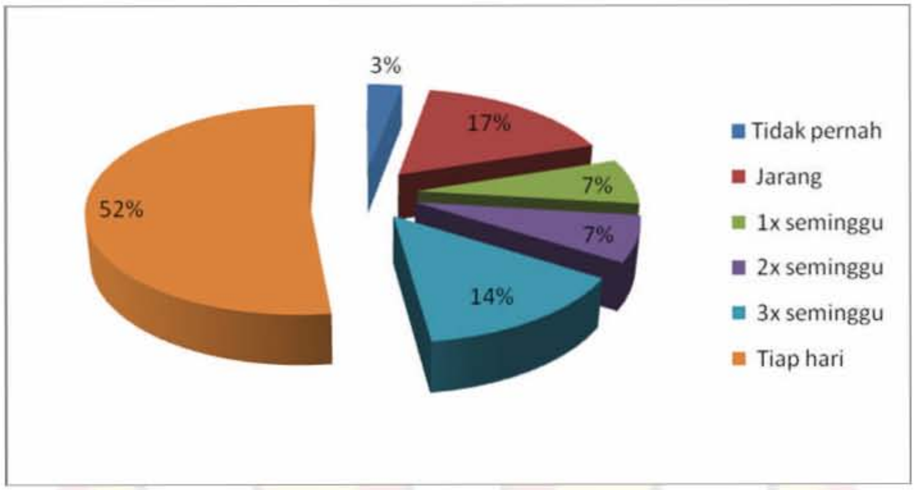
Polling dilakukan terhadap 100 orang koresponden di lingkungan Universitas Widya Mandala (Kalijudan) dan sekitarnya, dimana setiap orang mewakili daerah di Jawa Timur.



Gambar E.1. Persentase konsumsi multivitamin dan serat

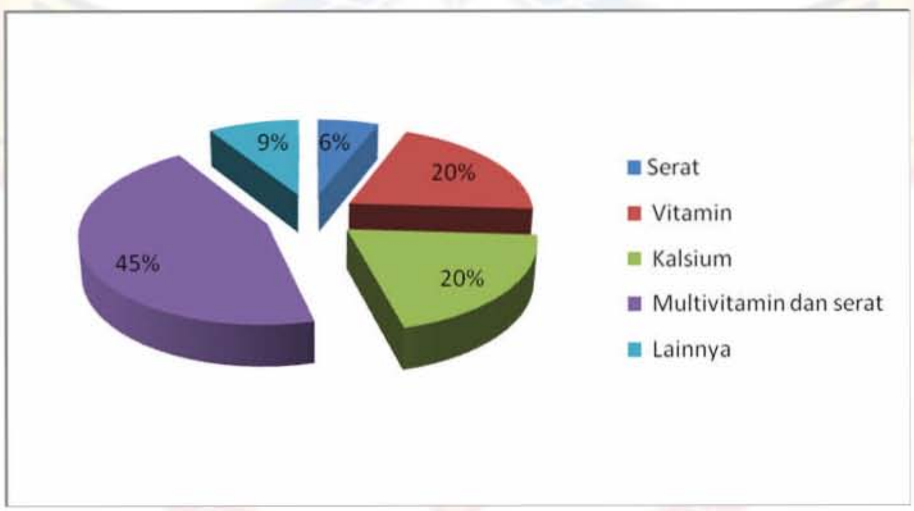
Dari **Gambar E.1**, dapat dilihat bahwa 70% koresponden yang merasa suplai vitamin dan serat dari makanan tidak mencukupi kebutuhan gizi tubuh, 50%nya akan mengkonsumsi multivitamin dan serat tambahan.

Seberapa sering koresponden mengkonsumsi multivitamin dan serat tambahan serta kandungan gizi yang diinginkan terdapat dalam produk makanan dan minuman yang dikonsumsi saat ini akan ditampilkan pada **Gambar E.2** dan **Gambar E.3**.



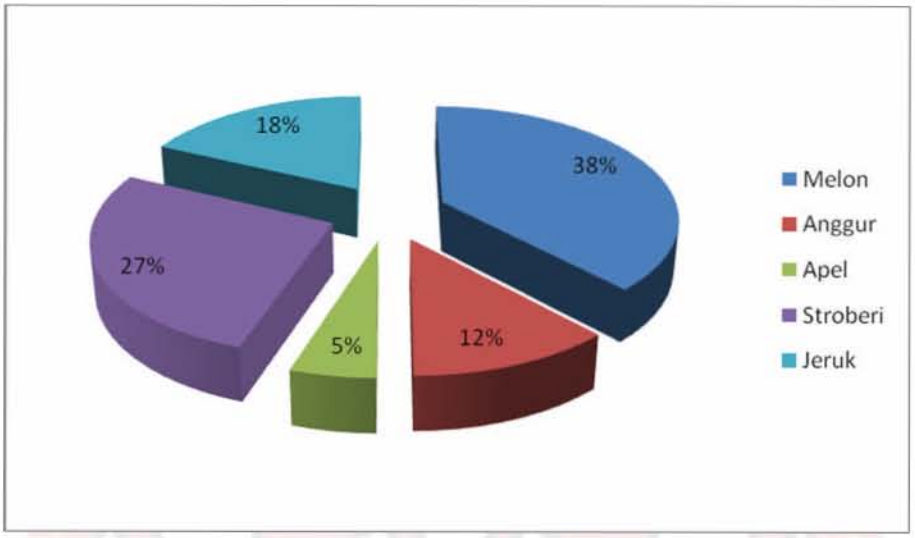
Gambar E.2. Waktu konsumsi multivitamin dan serat tambahan

Waktu konsumsi multivitamin dan serat tambahan oleh koresponden, kebanyakan dilakukan tiap hari secara teratur.



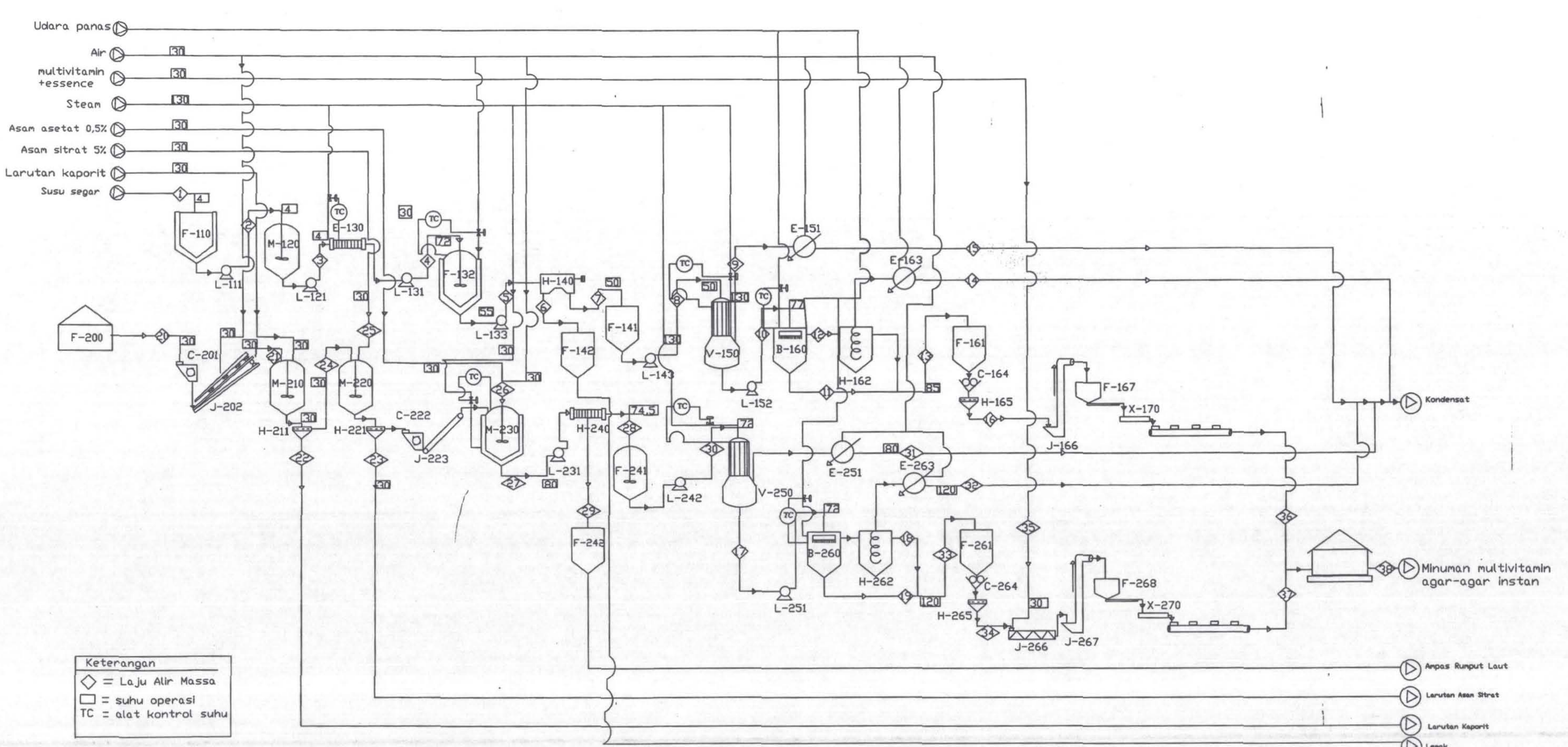
Gambar E.3. Kandungan gizi yang diinginkan terdapat dalam produk makanan dan minuman saat ini

Kandungan gizi yang diiinginkan oleh koresponden terdapat dalam makanan dan minuman saat ini adalah multivitamin dan serat. Menurut koresponden, multivitamin yang disukai adalah vitamin A dan vitamin C.



Gambar E.4. Rasa buah-buahan pada minuman

Rasa buah-buahan yang paling diminati oleh koresponden adalah rasa melon.



No.	Kode Alat	Keterangan
51	E-163.	Condensor
50	F-112	Tangki Pendingin Susu Segar
49	F-200	Warehouse Rumput Laut
48	L-111	Pompa Centrifugal
47	C-201	Rotary Cutter
46	M-120	Tangki Standardisasi
45	J-202	Vibrating Conveyor
44	M-210	Tangki Perendaman Kaporit
43	H-211	Screen+Washer
42	L-121	Pompa Centrifugal
41	E-130	Plate Heat Exchanger
40	M-220	Tangki Pelunakan
39	H-221	Screen+Washer
38	L-131	Pompa Centrifugal
37	F-132	Tangki Pasteurisasi
36	C-222	Rotary Cutter
35	J-223	Belt Conveyor
34	M-230	Tangki Ekstraksi
33	L-231	Pompa Centrifugal
32	L-133	Pompa Centrifugal
31	H-140	Centrifugal Separators
30	F-142	Tangki Penampungan Lemak
29	H-240	Plate and Frame Filter Press
28	F-241	Tangki Penampungan Filtrat
27	L-242	Pompa Centrifugal
26	F-141	Tangki Penampungan Susu Skim
25	L-143	Pompa Centrifugal
24	V-150	Falling Film Evaporator
23	V-250	Evaporator
22	L-152	Pompa Centrifugal
21	L-251	Pompa Centrifugal
20	E-251	Condensor
19	E-151	Condensor
18	B-160	Spray Dryer
17	B-260	Spray Dryer
16	H-162	Cyclone
15	H-262	Cyclone
14	E-263	Condensor
13	F-161	Tangki Penampungan Susu Bubuk
12	F-261	Tangki Penampungan Tepung Agar-Agar
11	C-164	Roll Mill
10	C-264	Roll Mill
9	H-265	Screen
8	H-165	Screen
7	J-166	Bucket Conveyor
6	J-266	Screw Conveyor
5	J-267	Bucket Conveyor
4	F-167	Filling Machine
3	F-268	Filling Machine
2	X-170	Conveyor
1	X-270	Conveyor

Flowsheet Prarencana Pabrik Minuman Multivitamin Agar-Agar Instan

Dibuat oleh:

Natalia Layadi / 5203005012

David Rio Wira H/5203005052

Disetujui oleh pembimbing:

Pembimbing I	Pembimbing II
Aning Ayucitra,ST.,M.Eng.Sc NIK. 521.03.0563	Prof.Ir. Mudjijati Ph.D NIK. 521.65.0005

Komponen	Massa(kg) 1	Massa(kg) 2	Massa(kg) 3	Massa(kg) 4	Massa(kg) 5	Massa(kg) 6	Massa(kg) 7	Massa(kg) 8	Massa(kg) 9	Massa(kg) 10	Massa(kg) 11	Massa(kg) 12	Massa(kg) 13
Laktosa	3479,13	3479,13	3479,13	3479,13	3479,13		3479,13	3479,13		3479,13	3461,73	17,4	3479,13
Lemak	2949,69	2949,69	2949,69	2949,69	2949,69	2891,5	58,19	58,19		58,19	57,90	0,29	58,19
Protein	2458,08	2458,08	2458,08	2458,08	2458,08		2458,08	2458,08		2458,08	2445,79	12,29	2458,08
Abu	718,2	718,2	718,2	718,2	718,2		718,2	718,2		718,52	714,92	3,59	718,52
Air	66027,8	66027,8	66027,8	66027,8	66027,8		66027,8	66027,8	29712,5	36315,28	206,1	36108,67	207,65
Karbohidrat													
Serat													
asam asetat													
asam sitrat													
Kaporit													
Multivitamin													

Komponen	Massa(kg) 14	Massa(kg) 15	Massa(kg) 16	Massa(kg) 17	Massa(kg) 18	Massa(kg) 19	Massa(kg) 20	Massa(kg) 21	Massa(kg) 22	Massa(kg) 23	Massa(kg) 24	Massa(kg) 25	Massa(kg) 26
Laktosa			3479,13										
Lemak			58,19	24.3731	0,1320	24.2513	27.0183	27.0183			27.0183		
Protein			2458,08	129.9710	0,6669	133.7153	141.1079	141.1079			141.1079		
Abu			718,52	265.1420	0,1639	32.6339	132.5559	132.5559			132.5559	5687.077	
Air	36107,63	29712,5	207,65	14022.5992	13676.1871	3672785.0000	480.3370	480.3370			480.3370		35887.96
Karbohidrat				566.1420	0,283	1599.8213	1786.5118	1786.5118			1786.5118		
Serat				269.3870	282932.0000		28.3071	28.3071			28.3071		
asam asetat				17959.1800		17.8693							29.9319
asam sitrat										299.3198		299.3198	
Kaporit									4275.5				
Multivitamin													

Komponen	Massa(kg) 27	Massa(kg) 28	Massa(kg) 29	Massa(kg) 30	Massa(kg) 31	Massa(kg) 32	Massa(kg) 33	Massa(kg) 34	Massa(kg) 35	Massa(kg) 36	Massa(kg) 37	Massa(kg) 38
Laktosa											3479.13	3479.13
Lemak	26.539	27.0813	0.5416	26.4069			26.4069	24.3731		26.44069	58.19	84.19
Protein	141.1079	141.1079	7.0533	133.3822			133.3822	126.9971		133.3822	2458.08	2591.462
Abu	132.5559	132.5559	66.2779	32.7979			32.7979	26.5142		32.7979	718.52	751.3179
Air	480.3370	25557.9221	24.0168	14043.47	13666.48	12660.78	14043.47	357.8898		369.1241		369.1241
Karbohidrat	2.7747	1786.5118	89.3256	1688.7			1688.7	1607.861		1688.7		1688.7
Serat	17,865,118	283.0710	141.5355	56.6142			56.6142	56.6142		56.6142		56.6142
asam asetat	1,325,559	29.9319	14,965	28.2932			28.2932					
asam sitrat	29.319	89.7959										
Kaporit	89.7959											
Multivitamin									88.98	88.98		88.98