

APPENDIX A

PERHITUNGAN NERACA MASSA

Basis : 1 tahun = 330 hari.

Antosianin yang diproduksi = 7600 kg Antosianin/tahun.

Bahan baku pembuatan antosianin adalah kulit ubi jalar ungu.

Berdasarkan hasil penelitian, dalam 30 gram kulit ubi jalar ungu terdapat 0,1 gram.

Kapasitas produksi antosianin per hari adalah = $7600\text{kg} / 330 = 23,03 \text{ kg}$.

Kebutuhan kulit ubi jalar ungu per hari adalah 6909,10 kg.

$$\frac{x}{30 \text{ gram kulit}} = \frac{23,03 \cdot 10^3 \text{ gram anthosianin}}{0,1 \text{ gram anthosianin}}$$

$$x = 6909090,91 \text{ gram}$$

$$= 6909,10 \text{ kg kulit}$$

Dari percobaan pengupasan yang telah dilakukan, pada setiap kilogram ubi jalar akan didapatkan kulit sebesar 23 %. Berarti dalam sehari ubi jalar bersih sebanyak:

$$\text{Dibutuhkan} = \frac{100}{23} \times 6909,10 \text{ kg}$$

$$= 30039,53 \text{ kg ubi jalar ungu bersih/hari.}$$

$$\text{Pengotor 7 \% dari ubi jalar ungu bersih} = \frac{7}{100} \times 30039,53 \text{ kg}$$

$$= 2102,77 \text{ kg pengotor/hari.}$$

$$\text{Total ubi jalar bersih + pengotor} = 30039,53 + 2102,77$$

$$= 32142,30 \text{ kg ubi jalar kotor/hari.}$$

Jadi, total kebutuhan ubi jalar kotor adalah 32142,30 kg.

Neraca massa kulit dan daging ubi jalar ditampilkan dalam bentuk komposisi.

Tabel A.1. Komposisi Kulit dan Daging Ubi Jalar Ungu (Rukmana, 1997)

Komposisi	Kulit, %	Daging, %
Pati	6,73	27,90
Protein	0,19	1,43
Air	6,00	68,54
Lemak	0,10	0,17
Abu	86,63	1,86
Antosianin	0,35	0,10

Kapasitas : 7600 kg antosianin/tahun

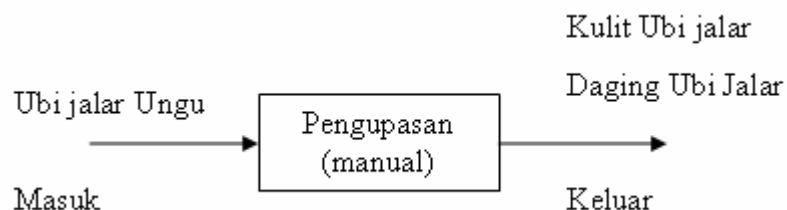
Basis operasi : 1 hari

Waktu operasi : 24 jam/hari

Satuan : kilogram

Tipe proses : *batch*

1. Pengupasan (Manual)

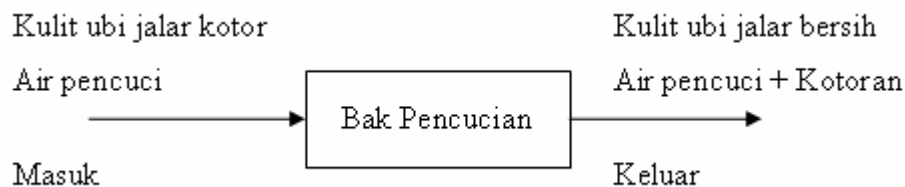


Gambar A.1

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Warehouse		Ke bak pencucian (F-111)	
Ubi jalar (kulit dan daging)		Kulit ubi jalar:	
pati	6918,37	pati	464,98
air	16268,15	air	414,55
protein	343,90	protein	13,13
abu	6415,58	abu	5985,35
lemak	46,23	lemak	6,91
antosianin	47,31	antosianin	24,18

kotoran	2102,77	kotoran	2102,77
		Total kulit	9011,87
		Daging ubi jalar:	
		pati	6453,39
		air	15853,60
		protein	330,77
		abu	430,23
		lemak	39,32
		antosianin	23,13
		Total daging	23130,43
Total	32142,30	Total	32142,30

2. Bak pencucian (F-111)



Gambar A.2

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Pengupasan		Ke Tray Dryer (B-110)	
Kulit ubi jalar:		Kulit ubi jalar:	
pati	464,98	pati	464,98
air	414,55	air	2487,28
protein	13,13	protein	13,13
abu	5985,35	abu	5985,35
lemak	6,91	lemak	6,91
antosianin	24,18	antosianin	24,18
kotoran	2102,77	kotoran	2102,77
Dari Utilitas		Ke Lingkungan	
Air pencuci	33828,34	Air pencuci	31755,61
Total	42840,21	Total	42840,21

$$\text{Volume kulit ubi jalar kotor} = \frac{m}{\rho} = \frac{9011,87 \text{ kg}}{0,333 \text{ kg/L}} = 27062,67 \text{ L}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume air pencuci} &= \text{Volume kulit ubi jalar kotor} \times 125 \% \\ &= 27062,67 \times 125 \% = 33828,34 \text{ L} \end{aligned}$$

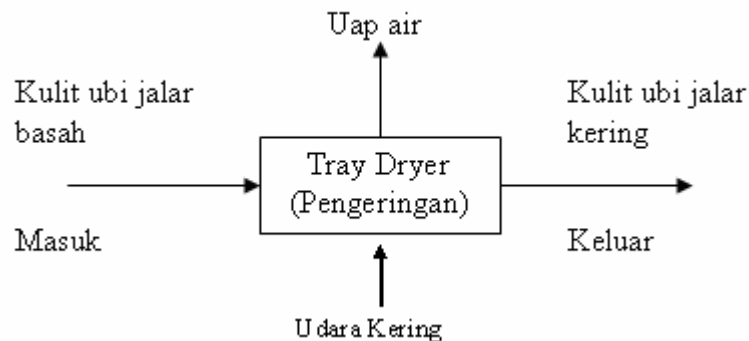
$$\text{Massa air pencuci} = V \cdot \rho = 33828,34 \text{ L} \cdot 1 \text{ kg/L} = 33828,34 \text{ kg}$$

Dari penelitian tentang antosianin dari ubi jalar diperoleh bahwa air yang terikut pada kulit ubi jalar adalah 23 % dari massa kulit yang dicuci. Sehingga dapat diperoleh data bahwa jumlah air keluar dari bak pencuci adalah :

Air yang terikut pada kulit = $(9011,87 \text{ kg} \times 23 \%) + 414,55 \text{ kg} = 2487,28 \text{ kg}$

Air yang keluar = $33828,34 - (9011,87 \times 23 \%) = 31755,61 \text{ kg}$

3. Tray Dryer (B-110)



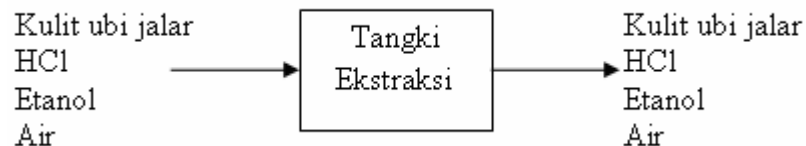
Gambar A.3

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari bak pencucian (F-111)		Ke Rotary Cutter (C-210)	
Kulit ubi jalar:		Kulit ubi jalar:	
pati	464,98	pati	464,98
air	2487,28	air	313,20
protein	13,13	protein	13,13
abu	5985,35	abu	5985,35
lemak	6,91	lemak	6,91
antosianin	24,18	antosianin	24,18
		Ke Lingkungan	
		uap air	2173,60
Total	8981,83	Total	8981,83

Dari penelitian tentang antosianin dari ubi jalar diperoleh data bahwa air yang teruapkan adalah sebesar 24,21 % dari massa kulit basah. Sehingga dapat diperoleh data bahwa jumlah air yang tersisa setelah penjemuran adalah :

$$\begin{aligned}\text{Air yang tersisa} &= 2487,28 \text{ kg} - (8981,83 \text{ kg} \times 24,2 \%) \\ &= 2487,28 \text{ kg} - 2173,60 \text{ kg} = 313,20 \text{ kg}\end{aligned}$$

4. Tangki Ekstraksi (F-210)



Gambar A.4

Dari hasil penelitian, dalam 30 gram kulit dibutuhkan 200 mL larutan *solvent* untuk mengekstrak antosianin dari kulit ubi jalar ungu. Larutan *solvent* yang dibutuhkan terdiri dari 15 % larutan HCl 37% dan 85 % larutan Etanol 96 % (% volume).

$$\text{Total solvent} = \frac{6813750 \text{ gram}}{30 \text{ gram}} \times \frac{200 \text{ mL}}{1000 \text{ mL / L}} = 45425 \text{ L}$$

$$\text{Solvent HCl} = \frac{15}{100} \times 45425 = 6813,75 \text{ L}$$

$$\text{Solvent etanol} = \frac{85}{100} \times 45425 = 38611,25 \text{ L}$$

Jumlah *solvent* yang dibutuhkan adalah 45425 liter, terdiri dari 6813,75 liter HCl dan 38611,25 liter etanol.

- Etanol 96 %

$$\rho \text{ etanol 96 \%} = 0,792 \text{ kg/L}$$

$$\text{massa etanol 96 \%} = 38611,25 \text{ L} \times 0,792 \text{ kg/L}$$

$$= 30580,11 \text{ kg}$$

- HCl 37 %

$$\rho \text{ HCl 37 \%} = 1,19 \text{ kg/L}$$

$$\text{massa HCl 37 \%} = V \times \rho \text{ HCl} = 6813,75 \text{ liter} \times 1,19 \text{ kg/liter} = 8108,36 \text{ kg}$$

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Rotary Cutter (C-210)		Tinggal di Tangki Ekstraksi (F-210)	
Kulit ubi jalar:		Kulit ubi jalar:	
pati	464,98	pati	464,98
air	313,20	air	313,20
protein	13,13	protein	13,13
abu	5985,35	abu	5985,35
lemak	6,91	lemak	6,91
antosianin	24,18	antosianin	1,25
		HCl 37%	877,08
		Etanol 96%	3299,47
Dari Tangki Etanol 96 % (F-312)		Ke Tangki Penetralan (F-410)	
Etanol 96%	30580,11	Ekstrak antosianin	22,93
Dari Tangki HCl 37 % (F-311)		HCl 37%	7231,28
HCl 37%	8108,36	Etanol 96%	27280,64
Total	45496,22	Total	45496,22

Dari penelitian tentang antosianin dari ubi jalar diperoleh bahwa larutan campuran HCl 37 % dan etanol 96 % yang terikut pada kulit ubi jalar adalah 61,35 % dari massa kulit masuk tangki ekstraksi. Sehingga dapat diperoleh data bahwa jumlah air keluar dari tangki ekstraksi I adalah :

Larutan campuran HCl 37 % dan etanol 96 % pada kulit yang keluar dari tangki ekstraksi I (F-210):

$$= (6807,75 \text{ kg} \times 61,35 \%)$$

$$= 4176,55 \text{ kg}$$

Dari data di atas, komposisi HCl 37 % dan etanol 96 % pada kulit ubi jalar keluar dari tangki ekstraksi (F-210) dihitung :

$$\begin{aligned}
 X_{\text{HCl } 37\%} &= \text{massa HCl } 37\% / (\text{massa HCl } 37\% + \text{massa etanol } 96\%) \\
 &= 8108,36 / (8108,36 + 30580,11) \\
 &= 0,21
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 X_{\text{etanol } 96\%} &= \text{massa etanol } 96\% / (\text{massa HCl } 37\% + \text{massa etanol } 96\%) \\
 &= 30580,11 / (8108,36 + 30580,11) \\
 &= 0,79
 \end{aligned}$$

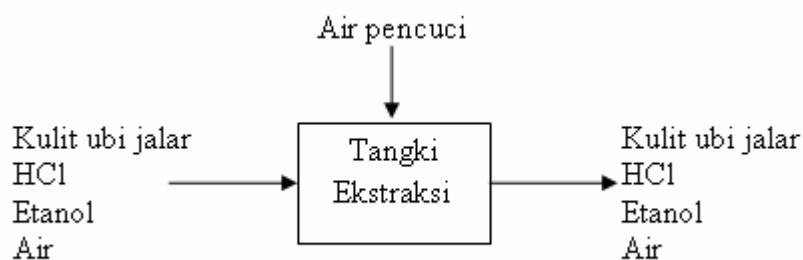
Massa HCl 37 % yang terikut pada kulit ubi jalar keluar tangki ekstraksi I (F-210) :

$$\begin{aligned}
 &= 0,21 \times 4176,55 \text{ kg} \\
 &= 877,08 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Massa etanol 96 % yang terikut pada kulit ubi jalar keluar tangki ekstraksi I (F-210) :

$$\begin{aligned}
 &= 0,79 \times 4176,55 \text{ kg} \\
 &= 3299,47 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

5. Tangki Ekstraksi II (F-210)



Gambar A.5

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Ekstraksi I (F-210)		Ke Proses Pengolahan Kompos	
Kulit ubi jalar:		Kulit ubi jalar:	
pati	464,98	pati	464,98
air	313,20	air	1873,71
protein	13,13	protein	13,13

abu	5985,35	abu	5985,35
lemak	6,91	lemak	6,91
antosianin	1,25	antosianin	1,15
HCl 37 %	877,08	Ke Tangki Penetralan (F-410)	
Etanol 96 %	3299,47	Ekstraksi antosianin	0,10
Dari Utilitas		HCl 37 %	877,08
Air pencuci	2740,34	Etanol 96 %	3299,47
		Air pencuci	1179,83
Total	13701,71	Total	13701,71

Jumlah air pencuci (aquades) yang diperlukan adalah berdasarkan asumsi bahwa untuk melarutkan sisa HCl dan etanol yang tersisa pada kulit ubi jalar adalah 25 %. Hal ini disebabkan kulit sudah dalam keadaan basah sehingga tidak perlu air terlalu banyak. Selain itu air pencuci tidak sampai perlu untuk perendaman kulit seperti pada bak pencuci. Sehingga air pencuci yang diperlukan:

$$\begin{aligned}
 &= (\text{massa kulit} + \text{larutan HCl 37 \%} + \text{larutan etanol 96 \%}) \times 25 \% \\
 &= (6784,82 \text{ kg} + 877,08 \text{ kg} + 3299,47 \text{ kg}) \times 25 \% \\
 &= 2740,34 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dari penelitian tentang antosianin dari ubi jalar diperoleh bahwa air yang terikut pada kulit ubi jalar adalah 23 % dari massa kulit yang dicuci. Sehingga dapat diperoleh data bahwa jumlah air yang terikut pada kulit adalah:

$$\begin{aligned}
 &= \text{massa kulit kering} \times 23 \% \\
 &= 6784,82 \text{ kg} \times 23 \% \\
 &= 1560,51 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Sedangkan air yang keluar ke Tangki Penetralan (F-410) adalah:

$$\begin{aligned}
 &= \text{massa air total} - \text{massa air terikut pada kulit} \\
 &= 2740,34 \text{ kg} - 1560,51 \text{ kg} \\
 &= 1179,83 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

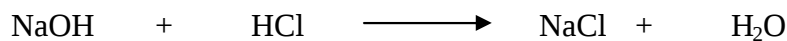
6. Tangki Penetralan (F-410)



Gambar A.6

Larutan NaOH yang dibutuhkan:

$$n_{\text{HCl}} = \frac{3000,10 \text{ kg}}{36,5 \text{ kg / kmol}} = 82,19 \text{ kmol}$$



$$82,195 \text{ kmol} \quad 82,195 \text{ kmol} \quad 82,195 \text{ kmol} \quad 82,195 \text{ kmol}$$

$$\text{Banyaknya NaOH yang dibutuhkan} = 82,195 \text{ kmol} \times 40 \text{ kg/kmol} = 3287,78 \text{ kg}$$

$$\text{Konsentrasi NaOH 5 N} \rightarrow \text{densitas NaOH } 16,6 \% = 1,1738 \text{ g/cm}^3. \text{ (Perry, 1997)}$$

$$N = \frac{\text{mol} \times n}{V_T} \longrightarrow V_T = \frac{82,195 \cdot 10^3}{5} = 16424 \text{ liter}$$

$$\begin{aligned} m_T &= V_T \times \rho_{\text{NaOH } 16,6\%} & m_{\text{air}} &= m_T - m_{\text{NaOH}} \\ &= 16424 \text{ L} \times 1,1738 \text{ kg / L} & &= 19278,49 - 3287,78 \\ &= 19278,49 \text{ kg} & &= 15990,71 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\text{NaCl} = 82,195 \text{ kmol} \times 58,50 \text{ kg/kmol} = 4808,38 \text{ kg}$$

$$\text{H}_2\text{O} = 82,195 \text{ kmol} \times 18,00 \text{ kg/kmol} = 1479,50 \text{ kg}$$

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Tangki Ekstraksi I (F-210)		Ke Tangki Evaporasi (V-510)	
Antosianin	22,93	Antosianin	23,03
HCl 37 %	7231,28	Etanol 96 %	30580,11
Etanol 96 %	27280,64	NaCl	4808,38
Dari Ekstraksi II (F-210)		Air	23758,30
Antosianin	0,10		

HCl 37 %	877,08		
Etanol 96 %	3299,47		
Air pencuci	1179,83		
Dari Tangki NaOH 5 N (F-412)			
NaOH	3287,78		
Air pelarut	15990,71		
Total	59169,82	Total	59169,82

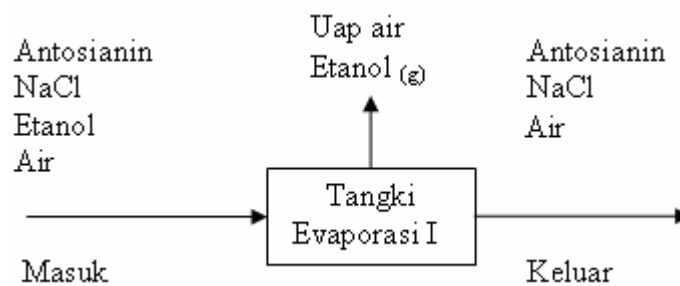
Air yang keluar dari Tangki Penetralan (F-310) adalah

= air larutan HCl 37% + air pencuci + air hasil reaksi + air pelarut NaOH

= 5108,26 kg + 1179,83 kg + 1479,50 kg + 15990,71

= 23758,30 kg

7. Tangki Evaporasi (V-510)



Gambar A.7

Kondisi $P = 31,63 \text{ mmHg}$, $T = 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Dari perancangan evaporasi, diharapkan padatan NaCl yang terbentuk dari pemekatan pada evaporasi I (V-510) ini adalah 99 %. Hal ini dirancang agar pada evaporasi II padatan NaCl yang nantinya terbentuk tidak akan tercampur lebih banyak dengan produk antosianin, air dan etanol yang hampir membentuk *slurry*.

Jadi NaCl yang harus terbentuk pada evaporasi I (V-510) adalah

= massa larutan NaCl $\times$ 99 %

$$= 4808,38 \text{ kg} \times 99 \%$$

$$= 4760,30 \text{ kg}$$

Massa NaCl yang masih terlarut dalam larutan campuran adalah

$$= 4808,38 \text{ kg} - 4760,30 \text{ kg}$$

$$= 48,08 \text{ kg}$$

Data: Kelarutan NaCl dalam air adalah 36 g / 100 kg H₂O

$$\text{Massa NaCl yang terlarut dalam air} = \frac{48,08 \text{ kg NaCl}}{0,36 \text{ kg NaCl/kg H}_2\text{O}}$$

$$= 133,57 \text{ kg H}_2\text{O}$$

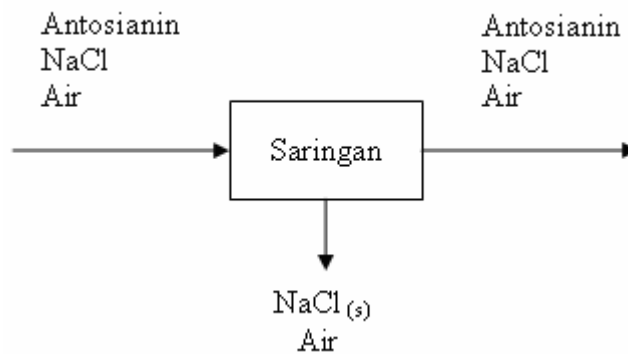
Massa uap air yang harus diuapkan = massa air mula-mula – massa air yang terlarut dalam NaCl

$$= 23758,30 \text{ kg} - 133,57 \text{ kg}$$

$$= 23624,73 \text{ kg}$$

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Tangki Penetralan (F-410)		Ke Plate and Frame Filter Press (H-610)	
Antosianin	23,03	Antosianin	23,03
NaCl _(l)	4808,38	NaCl _(l)	48,08
Etanol 96% _(l)	30580,11	Air	133,57
Air	23758,30	NaCl _(s)	4760,30
		Ke Utilitas	
		Etanol 96% _(g)	30580,11
		Ke Lingkungan	
		Uap air	23624,73
Total	59169,82	Total	59169,82

8. Plate and Frame Filter Press (H-610)



Gambar A.8

Dari hasil penelitian, jumlah air yang terikut dalam NaCl adalah 0,7 %.

Massa air yang terikut dalam NaCl = $0,7 \% \times 4760,30$

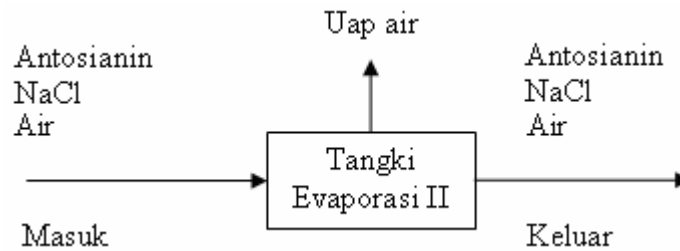
$$= 33,32 \text{ kg}$$

Massa air yang tersisa = $133,57 - 33,32$

$$= 100,25 \text{ kg}$$

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Tangki Evaporasi (V-510)		Ke Tangki Evaporasi Kristalisasi (V-520)	
Antosianin	23,03	Antosianin	23,03
NaCl _(l)	48,08	NaCl _(l)	48,08
Air	133,57	Air	100,25
NaCl _(s)	4760,30	Ke Penjualan	
		NaCl tersaring	4760,30
		Air yang terlarut dalam NaCl	33,32
Total	4964,98	Total	4964,98

9. Tangki Evaporasi Kristalisasi (V-520)



Gambar A.9

Kondisi $P = 1 \text{ atm}$, $T = 106^\circ\text{C}$

Pada evaporasi II (V-520) ini dirancang agar etanol dan air yang tersisa tidak sampai membuat antosianin membentuk endapan. Maka air yang tersisa haruslah sebesar minimal 11,63 kg (50 % dari massa antosianin).

Faktor kelarutan NaCl pada suhu $106^\circ\text{C} = 0,33$

$$\begin{aligned}\text{Massa NaCl yang terlarut dalam air} &= \text{massa air tersisa} \times 0,38 \\ &= 11,63 \times 0,38 \\ &= 4,419 \text{ kg} \approx 4,42 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa NaCl yang terendapkan} &= 48,08 \text{ kg} - 4,42 \text{ kg} \\ &= 43,66 \text{ kg}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa uap air} &= \text{massa air mula-mula} - \text{massa air yang tersisa} \\ &= 100,25 - 11,63 \\ &= 88,62 \text{ kg}\end{aligned}$$

Tabel Neraca Massa Evapoarsi

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari plate and frame filter press (H-610)		Ke pendinginan	
Antosianin	23,03	Antosianin	23,03
NaCl _(l)	48,08	NaCl _(l)	4,42
Air	100,25	Air	11,63

		NaCl _(s)	43,66
		Ke Lingkungan	
		Uap air	88,62
Total	171,36	Total	171,36

Faktor jenuh pada 30°C = 0,36

Maka jumlah NaCl yang terendapkan adalah sisa dari NaCl yang belum terbentuk

: Faktor kelarutan 106°C – Faktor kelarutan 30°C = 0,38 – 0,36 = 0,02

Massa NaCl yang terendapkan dalam air = massa air tersisa × 0,02

$$= 11,63 \times 0,02$$

$$= 0,23 \text{ kg}$$

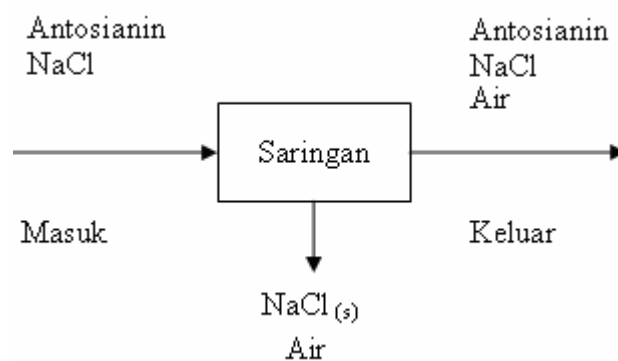
Massa NaCl yang terlarut = 4,42 kg – 0,23 kg

$$= 4,19 \text{ kg}$$

Tabel Neraca Massa Pendinginan

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari proses Evaporasi		Ke plate and frame filter press (H-610)	
Antosianin	23,03	Antosianin	23,03
NaCl _(l)	4,42	NaCl _(l)	4,19
Air	11,63	Air	11,63
NaCl _(s)	43,66	NaCl _(s)	43,89
Total	82,74	Total	82,74

10. Plate and Frame Filter Press II (H-610)



Gambar A.10

Massa air yang terikut dalam NaCl = 0,7 % × 43,89 kg

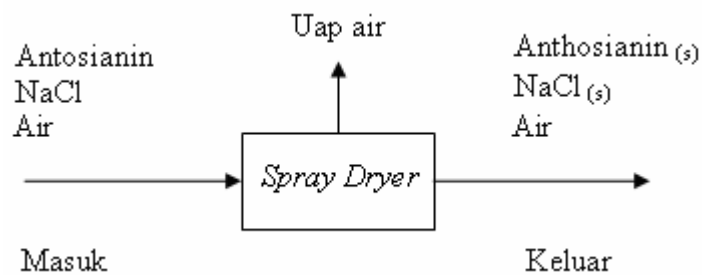
$$= 0,31 \text{ kg}$$

$$\text{Massa air yang keluar} = 11,63 - 0,31$$

$$= 11,32 \text{ kg}$$

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Tangki Evaporasi Kristalisasi (V-520)		Ke <i>Spray Dryer</i> (B-710)	
Antosianin	23,03	Antosianin	23,03
NaCl _(l)	4,19	NaCl(l)	4,19
Air	11,63	Air	11,32
NaCl _(s)	43,89	Ke Penjualan	
		NaCl _(s)	44,20
Total	82,74	Total	82,74

11. *Spray Dryer* (B-710)



Gambar A.11

Massa air yang tersisa adalah 1 %

$$\text{Massa air yang tersisa} = 1 \% \times (23,03 + 4,19) \text{ kg}$$

$$= 0,2722 \text{ kg}$$

$$\text{Uap air yang harus diuapkan} = 11,32 - 0,27$$

$$= 11,05 \text{ kg}$$

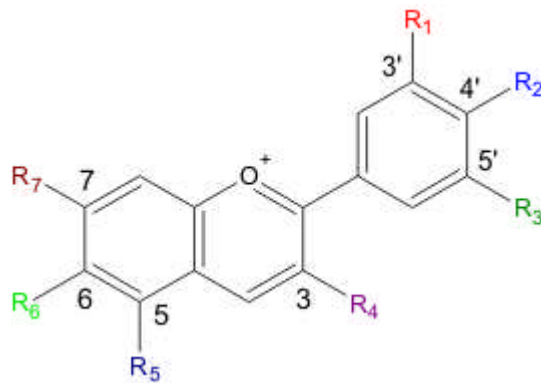
Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Saringan (H-610)		Ke <i>Packaging</i>	
Antosianin(l)	23,03	Antosianin(s)	23,03
NaCl _(l)	4,19	NaCl(s)	4,19
Air	11,32	Air yang tersisa	0,05
		Ke Lingkungan	
		Uap air	11,05
Total	38,54	Total	38,54

APPENDIKS B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

Kapasitas Produksi	: 7600 kg Antosianin/tahun
Waktu operasi produksi	: 330 hari/tahun
Satuan Panas	: kkal /hari
Basis Waktu	: 1 hari
Tipe proses	: Semi <i>batch</i>
Suhu basis (T_{ref})	: 25 °C

B.1. Perhitungan Cp Antosianin



Gambar B.1. Rumus Bangun Antosianin (www.wikipedia.com)

Keterangan: $R_1 = R_2 = R_4 = R_5 = R_7$ = ikatan OH
 $R_3 = R_6$ = ikatan H

Tabel B.1. Heat Capacity dari Rumus Bangun Antosianin (Perry, 1984)

Ikatan	Jumlah	Cp (kal/mol°C)
OH –	5 × 10,70	58,30
– C = H	4 × 5,30	21,20
– C = O (ikatan dalam <i>ring</i>)	1 × 12,66	12,66
$\begin{array}{c} \\ = C - H \end{array}$	2 × 5,10	10,20
$\begin{array}{c} \\ - C = \end{array}$	4 × 2,90	11,60
Total		113,96

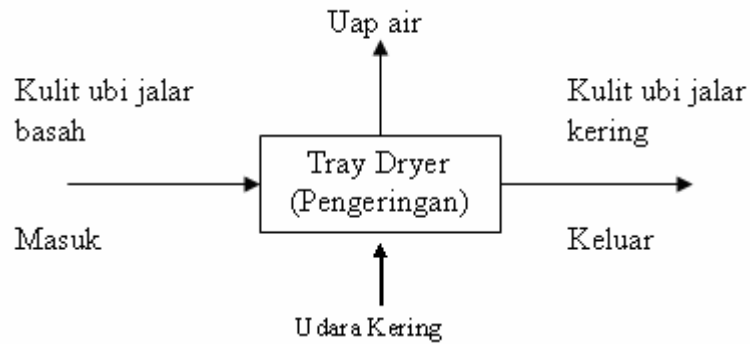
$$C_p \text{ Antosianin total} = 113,96 \text{ kal / mol}^\circ\text{C} \times \frac{1}{284,81 \text{ g / mol}} = 0,4000 \text{ kkal / kg}^\circ\text{C}$$

B.2. Data Kapasitas Panas yang Digunakan**Tabel B.2. Heat Capacity Senyawa-senyawa pada Ubi Jalar Ungu (Laurentia, 1998; Geankoplis, 1997)**

Senyawa	Cp (kkal/kg°C)
Pati	0,3318
Protein	0,1479
Lemak	0,4199
Abu	0,2075
Air 30°C	0,9987
Air 32°C	0,9987
Air 45°C	0,9989

B.3 Perhitungan Neraca Panas Alat

B.3.1 Tray Dryer (B-110)



Gambar B.2

Suhu bahan masuk	: 30 °C
Suhu bahan keluar	: 70 °C
Tekanan operasi	: 1 atm
Suhu udara panas masuk	: 120°C

Panas masuk

Komposisi bahan masuk (kg/hari):

pati	464,98
air	2487,28
protein	13,13
abu	5985,35
lemak	6,91
antosianin	24,18

Panas bahan masuk:

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{pati}} &= m_{\text{pati}} \times C_p_{\text{pati}} \times \Delta T \\
 &= 464,98 \text{ kg} \times 0,3318 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\
 &= 771,40 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{air}} &= m_{\text{air}} \times C_p_{\text{air}} \times \Delta T \\
 &= 2487,28 \text{ kg} \times 0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\
 &= 12420,23 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{protein}} &= m_{\text{protein}} \times C_p_{\text{protein}} \times \Delta T \\
 &= 13,13 \text{ kg} \times 0,1479 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\
 &= 9,71 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{abu}} &= m_{\text{abu}} \times C_p_{\text{abu}} \times \Delta T \\
 &= 5985,35 \text{ kg} \times 0,2075 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\
 &= 6163,21 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{lemak}} &= m_{\text{lemak}} \times C_p_{\text{lemak}} \times \Delta T \\
 &= 6,91 \text{ kg} \times 0,4199 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\
 &= 14,15 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{antosianin}} &= m_{\text{antosianin}} \times C_p_{\text{antosianin}} \times \Delta T \\
 &= 24,18 \text{ kg} \times 0,4000 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\
 &= 48,36 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{masuk}} &= 771,40 + 12420,23 + 9,71 + 6163,21 + 14,15 + 48,36 \\
 &= 19427,06 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Panas keluar

Komposisi bahan keluar:

Pati	464,98
Air	313,20
Protein	13,13
Abu	5985,35
Lemak	6,91
Antosianin	24,18
Uap air	2168,08

Panas bahan keluar:

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{pati}} &= m_{\text{pati}} \times C_p_{\text{pati}} \times \Delta T \\
 &= 464,98 \text{ kg} \times 0,3318 \text{ kkal/kg} \times (70-25)
 \end{aligned}$$

$$= 6942,62 \text{ kkal}$$

$$\Delta H_{\text{air}} = m_{\text{air}} \times C_p_{\text{air}} \times \Delta T$$

$$= 313,20 \text{ kg} \times 0,9987 \text{ kkal/kg} \times (70-25)$$

$$= 14075,68 \text{ kkal}$$

$$\Delta H_{\text{protein}} = m_{\text{protein}} \times C_p_{\text{protein}} \times \Delta T$$

$$= 13,13 \text{ kg} \times 0,1497 \text{ kkal/kg} \times (70-25)$$

$$= 88,45 \text{ kkal}$$

$$\Delta H_{\text{abu}} = m_{\text{abu}} \times C_p_{\text{abu}} \times \Delta T$$

$$= 5985,35 \text{ kg} \times 0,2075 \text{ kkal/kg} \times (70-25)$$

$$= 55888,21 \text{ kkal}$$

$$\Delta H_{\text{lemak}} = m_{\text{lemak}} \times C_p_{\text{lemak}} \times \Delta T$$

$$= 6,91 \text{ kg} \times 0,4199 \text{ kkal/kg} \times (70-25)$$

$$= 130,57 \text{ kkal}$$

$$\Delta H_{\text{anthosianin}} = m_{\text{anthosianin}} \times C_p_{\text{anthosianin}} \times \Delta T$$

$$= 24,18 \text{ kg} \times 0,4000 \text{ kkal/kg} \times (70-25)$$

$$= 435,24 \text{ kkal}$$

$$\Delta H_{\text{uap air}} = m_{\text{uap air}} \times \lambda + m_{\text{uap air}} \times C_p_{\text{uap air}} \times \Delta T$$

$$= 2168,08 \text{ kg} \times 557,8 \text{ kkal/kg} + 2168,08 \text{ kg} \times 0,9987 \text{ kkal/kg} \times (70-25)$$

$$= 1306783,91 \text{ kkal}$$

$$\Delta H_{\text{total panas keluar}} = 1384344,68 \text{ kkal}$$

$$\text{Diambil } Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{udara panas}}$$

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

$$0,9 Q_{\text{udara panas}} = 1384344,68 \text{ kkal} - 19427,06 \text{ kkal}$$

Q udara panas = 1516575,13 kkal

Q loss = 151657,51 kkal

T udara masuk = 120°C

T udara keluar = 50°C

T rata-rata = 85°C

C_p udara panas (udara kering) pada T rata-rata = 1,0066 Kj/kg.K = 0,2406 kkal/kg $^{\circ}\text{C}$

Massa udara panas yang digunakan = Q udara panas / (C_p rata-rata. ΔT)

$$= 1516575,13 \text{ kkal} / (0,2406 \text{ kkal/kg}^{\circ}\text{C} \cdot 70^{\circ}\text{C})$$

$$= 90047,21 \text{ kg}$$

Panas masuk, 30°C (kkal\hari)		Panas keluar, 70°C (kkal\hari)	
Dari Bak Pencucian (F-111)		Ke Rotary Cutter (C-210)	
pati	771,40	pati	6942,62
air	12420,23	air	14075,68
protein	9,71	protein	88,45
abu	6163,21	abu	55888,21
lemak	14,15	lemak	130, 57
anthosianin	48,36	anthosianin	435,24
Dari Utilitas		Ke Lingkungan	
Q udara kering	1516575,13	Q uap air	1306783,91
		Q loss	151657,51
Total	1536002,19	Total	1536002,19

B.3.2 Tangki Larutan NaOH (F-412)



Panas masuk

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ air pelarut NaOH} &= m \text{ air pelarut NaOH} \times C_p \text{ Air} \times \Delta T \\
 &= 15990,71 \times 0,9987 \text{ kkal/kg}^{\circ}\text{C} \times (30 - 25) \\
 &= 79849,61 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Perhitungan C_p NaOH:

$$\int \frac{C_p \text{ NaOH}}{R} dT = \int_{303}^{298} (0,121 + 16,316 \cdot 10^{-2} T + 1,948 \cdot 10^5 T^{-2}) dT$$

$$\int C_p \text{ NaOH} dT = 35,91 \times 1,9872 \cdot 10^{-3} = 0,07135 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta H \text{ NaOH} = \frac{m \text{ NaOH}}{\text{BM NaOH}} \cdot 10^3 \times \int C_p \text{ NaOH} dT = 5864,26 \text{ kkal}$$

Panas kelarutan = 10,84 kkal/mol (Perry, six edition)

$$= 10,84 \text{ kkal/mol} \cdot (3287,78 \text{ kg} / 40 \text{ kg/kmol}) \cdot 1000$$

$$= 890988,38 \text{ kkal}$$

Panas keluar

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ air pelarut NaOH} &= m \text{ air pelarut NaOH} \times C_p \text{ Air} \times \Delta T \\ &= 15990,71 \times 0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25) \\ &= 79849,61 \text{ kkal} \end{aligned}$$

Perhitungan C_p NaOH:

$$\int \frac{C_p \text{ NaOH}}{R} dT = \int_{303}^{298} (0,121 + 16,316 \cdot 10^{-2} T + 1,948 \cdot 10^5 T^{-2}) dT$$

$$\int C_p \text{ NaOH} dT = 35,91 \times 1,9872 \cdot 10^{-3} = 0,07135 \text{ kkal/mol}$$

$$\Delta H \text{ NaOH} = \frac{m \text{ NaOH}}{\text{BM NaOH}} \cdot 10^3 \times \int C_p \text{ NaOH} dT = 5864,26 \text{ kkal}$$

Q loss = Panas kelarutan = 890988,38 kkal

Panas masuk, 30 °C (kkal/hari)		Panas keluar, 30 °C (kkal/hari)	
Dari Utilitas		Ke Tangki Penetralan (F-410)	
Air	79849,61	Air	79849,61
NaOH	5864,26	NaOH	5864,26
Panas kelarutan	890988,38	Qloss	890988,38
Total	976702,25	Total	976702,25

B.3.3. Tangki Penetralan (F-410)**Gambar B.5**

Suhu bahan masuk : 30 °C

Suhu bahan keluar : 30 °C

Tekanan operasi : 1 atm

Perhitungan C_p HCl 37 % (Himmeblau, 1962):

$$\int \frac{C_p \text{ HCl}}{R} dT = \int_{298}^{303} (29,13 - 0,1341 \cdot 10^{-2} T + 0,9715 \cdot 10^{-5} T^2 - 4,335 \cdot 10^{-9} T^3) dT$$

$$\int C_p \text{ HCl} dT = 145,501994 \times 1,9872 \cdot 10^{-3} = 0,2891 \text{ kkal/mol}$$

Perhitungan C_p air pada 30 °C = 0,9987 kkal/kg°C (Geankoplis, 1997)

$$0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \times 18 \text{ kg/kmol} \times 1/1000 = 0,0890 \text{ kkal/mol}$$

Basis 100 gram larutan HCl 37 %.

$$\text{Mol HCl} = \frac{37}{36,5} = 1,0137 \text{ kmol}$$

$$\text{Mol air} = \frac{63}{18} = 3,50 \text{ kmol}$$

$$X_{\text{HCl}} = \frac{1,0137}{(3,50 + 1,0137)} = 0,23$$

$$X_{\text{air}} = \frac{3,50}{(3,50 + 1,0137)} = 0,77$$

$$\begin{aligned} \text{Cp larutan HCl 37 \% pada } 30\text{ }^{\circ}\text{C} &= (0,2891 \times 0,23) + (0,0890 \times 0,77) \\ &= 0,0665 + 0,0685 \\ &= 0,13503 \text{ kkal/kmol} \end{aligned}$$

Perhitungan Cp Etanol 96 % (Himmeblau, 1962):

$$\int \frac{\text{Cp Etanol}}{R} = \int_{298}^{303} (-325,137 + 0,041379 \cdot 10^{-2} T - 1403,1 \cdot 10^{-5} T^2 + 1,7035 \cdot 10^{-9} T^3) dT$$

$$\int \text{Cp Etanol } dT = 1677,042966 \times 1,9872 \cdot 10^{-3} = 3,3326 \text{ kkal/mol}$$

Perhitungan Cp air pada 30 °C = 0,9987 kkal/kg°C (Geankoplis, 1997)

$$0,9987 \text{ kkal/kg}^{\circ}\text{C} \times (30 - 25)^{\circ}\text{C} \times 18 \text{ kg/kmol} \times 1/1000 = 0,0890 \text{ kkal/mol}$$

Basis 100 gram larutan etanol 96 %.

$$\text{Mol etanol} = \frac{96}{46,07} = 2,0840 \text{ kmol}$$

$$\text{Mol air} = \frac{4}{18} = 0,2220 \text{ kmol}$$

$$X_{\text{HCl}} = \frac{2,0840}{(2,0840 + 0,2220)} = 0,904$$

$$X_{\text{air}} = \frac{0,2220}{(2,0840 + 0,2220)} = 0,0960$$

$$\begin{aligned} \text{Cp larutan etanol 96 \%} &= (3,3260 \times 0,9040) + (0,0890 + 0,0960) \\ &= 3,0067 + 0,0085 \end{aligned}$$

$$= 3,0152 \text{ kkal/kmol}$$

Panas masuk

Komposisi bahan masuk(kg/hari):

Dari Tangki ekstraksi I (F-210)	
Antosianin	22,93
HCl 37%	7231,28
Etanol 96%	27280,64
Dari Tangki Ekstraksi II (F-210)	
Antosianin	0,10
HCl 37%	877,08
Etanol 96%	3299,47
Air pencuci	1179,83
Dari Tangki NaOH (F-412)	
NaOH	3287,78
Dari Utilitas	
Air pelarut	15990,71

Panas bahan masuk:

Dari tangki ekstraksi I (F-210):

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ antosianin} &= m \text{ antosianin} \times C_p \text{ antosianin} \times \Delta T \\ &= 22,93 \text{ kg} \times 0,4000 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 45,86 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ HCl 37\%} &= \frac{m \text{ HCl 37\%}}{\text{BM camp HCl 37\%}} \times 10^3 \times \int C_p \text{ HCl } dT \\ &= \frac{7231,28 \text{ kg}}{22,26 \text{ kg/kmol}} \times 10^3 \text{ mol/kmol} \times 0,13503 \text{ kkal/mol} \\ &= 43865,2174 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Etanol 96\%} &= \frac{m \text{ Etanol 96\%}}{\text{BM camp Etanol 96\%}} \times 10^3 \times \int C_p \text{ Etanol } dT \\ &= \frac{27280,64 \text{ kg}}{43,20 \text{ kg/kmol}} \times 10^3 \text{ mol/kmol} \times 3,0152 \text{ kkal/mol} \\ &= 1904087,63 \text{ kkal}\end{aligned}$$

Dari tangki ekstraksi II (F-210):

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ antosianin} &= m \text{ antosianin} \times C_p \text{ antosianin} \times \Delta T \\ &= 0,10 \text{ kg} \times 0,4000 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 0,20 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ HCl 37\%} &= \frac{m \text{ HCl 37\%}}{\text{BM camp HCl 37\%}} \times 10^3 \times \int C_p \text{ HCl } dT \\ &= \frac{887,08 \text{ kg}}{22,26 \text{ kg/kmol}} \times 10^3 \text{ mol/kmol} \times 0,135103 \text{ kkal/mol} \\ &= 5381,06 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ Etanol 96\%} &= \frac{m \text{ Etanol 96\%}}{\text{BM camp Etanol 96\%}} \times 10^3 \times \int C_p \text{ Etanol } dT \\ &= \frac{3299,47 \text{ kg}}{43,20 \text{ kg/kmol}} \times 10^3 \text{ mol/kmol} \times 3,0152 \text{ kkal/mol} \\ &= 23090,79 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ air pencuci} &= m \text{ air pencuci} \times C_p \text{ air} \times \Delta T \\ &= 1179,83 \text{ kg} \times 0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 5891,48 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ air pelarut NaOH} &= m \text{ air pelarut NaOH} \times C_p \text{ Air} \times \Delta T \\ &= 15990,71 \times 0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25) \\ &= 79849,61 \text{ kkal}\end{aligned}$$

Dari tangki NaOH (F-412):

Perhitungan C_p NaOH:

$$\begin{aligned}\int \frac{C_p \text{ NaOH}}{R} dT &= \int_{303}^{298} (0,121 + 16,316 \cdot 10^{-2} T + 1,948 \cdot 10^{-5} T^{-2}) dT \\ \int C_p \text{ NaOH } dT &= 35,91 \times 1,9872 \cdot 10^{-3} = 0,07135 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

$$\Delta H \text{ NaOH} = \frac{m \text{ NaOH}}{\text{BM NaOH}} \cdot 10^3 \times \int C_p \text{ NaOH } dT = 5864,26 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{masuk}} &= 54,20 + 43865,22 + 1904087,63 + 0,20 + 5381,06 + 230290,79 \\
 &\quad + 5891,48 + 5864,58 + 79849,61 \\
 &= 2275284,77 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Panas Keluar

Komposisi bahan keluar(kg/hari):

Ke Tangki Evaporasi I (V-510)	
Antosianin	23,03
Etanol 96%	30580,11
NaCl	4808,38
Air	23758,30

Panas bahan keluar:

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{antosianin}} &= m_{\text{antosianin}} \times C_p_{\text{antosianin}} \times \Delta T \\
 &= 23,03 \text{ kg} \times 0,4000 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\
 &= 46,06 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{Etanol 96\%}} &= \frac{m_{\text{Etanol 96\%}}}{\text{BM camp Etanol 96\%}} \times 10^3 \times \int C_p_{\text{Etanol}} dT \\
 &= \frac{30580,11 \text{ kg}}{43,20 \text{ kg/kmol}} \times 10^3 \text{ mol/kmol} \times 3,0152 \text{ kkal/mol} \\
 &= 2134378,42 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Perhitungan C_p NaCl:

$$\begin{aligned}
 \int \frac{C_p \text{ NaCl}}{R} dT &= \int_{298}^{303} (5,526 + 1,693 \cdot 10^{-3} T) dT \\
 \int C_p \text{ NaCl} dT &= 30,1737 \times 1,9872 \cdot 10^{-3} = 0,0599 \text{ kkal/mol}
 \end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{\text{BM NaCl}} \cdot 10^3 \times \int C_p \text{ NaCl} dT = 4923,09 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H_{\text{air}} &= m_{\text{air}} \times C_p_{\text{air}} \times \Delta T \\
 &= 23758,30 \text{ kg} \times 0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\
 &= 118637,07 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{keluar}} &= 46,06 + 2134378,42 + 4923,09 + 118637,07 \\ &= 2257984,64 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H_{\text{reaksi } 25^\circ \text{ C}} &= \sum \Delta H_{\text{produk}} - \sum \Delta H_{\text{reaktan}} \\ &= (-411,00 + (-285,840) - (-425,609 - 92,311)) \\ &= -696,983 + 517,916 \\ &= -179,067 \text{ kJ/gmol} \times 82,19 \cdot 10^3 \\ &= -14717526,75 / 4,187 \\ &= -3515050,57 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\Delta H_{\text{masuk}} + \Delta H_{\text{reaksi}} = \Delta H_{\text{keluar}} + Q_{\text{loss}} + Q_{\text{air pendingin}}$$

$$2275284,77 + 3515050,57 = 2257984,64 + 0,05 \times 3515050,57 + Q_{\text{air pendingin}}$$

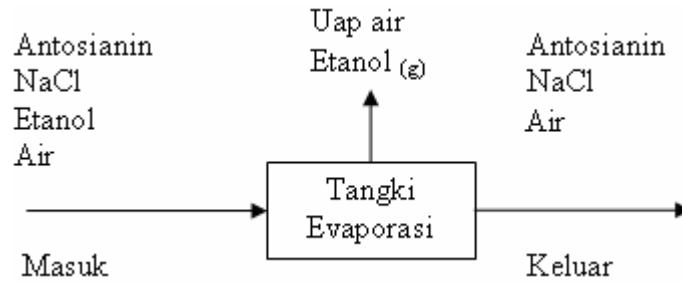
$$Q_{\text{air pendingin}} = 3356589,83 \text{ kkal}$$

Cp air pendingin pada 45 °C adalah 0,9989 kkal/kg°C (Geankoplis, 1997)

$$\text{Massa air pendingin} = \frac{Q}{C_p \cdot \Delta T} = \frac{3402398,34}{0,9989 \times (45 - 30)} = 227076,34 \text{ kg}$$

Panas masuk, 30 °C (kkal/hari)		Panas keluar, 30 °C (kkal/hari)	
Dari Tangki ekstraksi I (F-210)		Ke Tangki Evaporasi (V-510)	
Antosianin	45,86	Antosianin	48,06
HCl 37%	43865,22	Etanol 96%	2134378,42
Etanol 96%	1904087,63	NaCl	4923,09
Dari Ekstraksi II (F-210)		Air	118637,07
Antosianin	0,20	Q loss	175752,53
HCl 37%	5381,06	Q Air pendingin	3356589,83
Etanol 96%	230290,79		
Air pencuci	5891,48		
Dari Tangki NaOH (F-412)			
NaOH	5864,58		
Air pelarut	79849,61		
$\Delta H_{\text{reaksi } 25^\circ \text{ C}}$	3515050,57		
Total	5790327,00	Total	5790327,00

B.3.4. Tangki Evaporasi (V-510)

**Gambar B.6**

Suhu bahan masuk : 30 °C

Suhu bahan keluar : 30 °C

Tekanan operasi : 31,63 mmHg

Kondisi operasi dipilih karena antosianin akan rusak jika dipanaskan pada suhu 100°C dengan jangka waktu lebih dari 1 jam. Sehingga Evaporasi I dijalankan pada kondisi vakum.

Komposisi bahan masuk dan keluar:

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Tangki Penetralan (F-410)		Ke Plate and Frame Filter Press (H-610)	
Antosianin	23,03	Antosianin	23,03
NaCl _(l)	4808,38	NaCl _(l)	48,08
Etanol 96% _(l)	30580,11	Air	133,57
Air	23758,30	NaCl _(s)	4760,30
		Ke Utilitas	
		Etanol 96% _(g)	30580,11
		Uap air	23624,73
Total	59169,82	Total	59169,82

$$F.h_F + S.\lambda + \text{Panas Kristalisasi} = L.h_L + V.h_V + Q_{\text{loss}}$$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% (\text{Panas masuk} + \text{Panas steam})$$

Panas kelarutan NaCl = -1,164 kkal/mol (Perry, six edition)

T = 150 °C → superheated → P₀ = 150 kPa (Geankoplis, 1997)

$$\lambda = 2772,6 \text{ kJ/kg} = 662,6673 \text{ kkal/kg (Geankoplis, 1997)}$$

$$X_{\text{etanol}} = \frac{30580,11}{30580,11 + 23624,73} = 0,5642$$

$$X_{\text{uap air}} = 0,4358$$

$$h_{V \text{ uap air}} = 2676,1 \text{ kJ/kg} = 639,6033 \text{ kkal/kg (Perry, 1984)}$$

$$h_{V \text{ etanol}} = 204,26 \text{ kJ/kg} = 204,26 \text{ kkal/kg (Perry, 1984)}$$

$$H_V \text{ campuran} = 0,4358 \times 639,6033 + 0,5642 \times 204,26$$

$$H_V \text{ campuran} = 393,98 \text{ kkal/kg}$$

$$\begin{aligned} \text{BM campuran} &= x_{\text{antosianin}} \cdot \text{BM}_{\text{antosianin}} + x_{\text{etanol}} \cdot \text{BM}_{\text{etanol}} + x_{\text{air}} \cdot \text{BM}_{\text{air}} + x_{\text{NaCl}} \cdot \text{BM}_{\text{NaCl}} \\ &= 0,0003 \cdot 258 + 0,5168 \cdot 43,20 + 0,4015 \cdot 18 + 0,0814 \cdot 58,5 = 34,39 \end{aligned}$$

$$\text{BPR} = \Delta T_b = K_b \cdot m, \text{ dimana } K_b = 0,52 \text{ (Maron, S.H., 1974)}$$

$$m = ((4831,41/34,39) \cdot 1000) / 54338,41 = 2,59 \text{ molal}$$

$$\text{BPR} = \Delta T_b = K_b \cdot m = 0,52 \cdot 2,59 = 1,34^\circ\text{C}$$

maka tekanan yang harus diturunkan agar pada kondisi $30^\circ\text{C} = 31,63 \text{ mmHg}$

Panas bahan masuk:

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ antosianin} &= m \text{ antosianin} \times C_p \text{ antosianin} \times \Delta T \\ &= 23,03 \text{ kg} \times 0,4000 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 46,06 \text{ kkal} \end{aligned}$$

$$\Delta H \text{ NaCl} = \frac{4808,38}{58,5} \times 1000 \times 0,0599 = 4849,48 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ air} &= m \text{ air} \times C_p \text{ air} \times \Delta T \\ &= 23758,30 \text{ kg} \times 0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 118637,07 \text{ kkal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ Etanol } 96\% &= \frac{m \text{ Etanol } 96\%}{\text{BM camp Etanol } 96\%} \times 10^3 \times \int C_p \text{ Etanol } dT \\ &= \frac{30580,11 \text{ kg}}{43,20 \text{ kg/kmol}} \times 10^3 \text{ mol/kmol} \times 3,0142 \text{ kkal/mol} \\ &= 2134378,42 \text{ kkal} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 FH_F &= \Delta H \text{ antosianin} + \Delta H \text{ NaCl}_{(l)} + \Delta H \text{ etanol} + \Delta H \text{ air} \\
 &= 46,06 + 4849,48 + 2134378,42 + 118637,07 \\
 &= 2257911,03 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Panas bahan keluar:

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ antosianin} &= m \text{ antosianin} \times C_p \text{ antosianin} \times \Delta T \\
 &= 23,03 \text{ kg} \times 0,4000 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\
 &= 46,06 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\Delta H \text{ NaCl}_{(l)} = \frac{48,08}{58,5} \times 1000 \times 0,0599 = 48,49 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned}
 \Delta H \text{ air} &= m \text{ air} \times C_p \text{ air} \times \Delta T \\
 &= 133,57 \text{ kg} \times 0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\
 &= 666,98 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\Delta H \text{ NaCl}_{(s)} = \frac{4760,30}{58,5} \times 1000 \times 0,0599 = 4800,99 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned}
 LH_L &= \Delta H \text{ antosianin} + \Delta H \text{ NaCl}_{(l)} + \Delta H \text{ air} + \Delta H \text{ NaCl}_{(s)} \\
 &= 46,06 + 48,49 + 666,98 + 4800,99 \\
 &= 5562,52 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

Panas kristalisasi = - Panas kelarutan

$$\begin{aligned}
 &= 1,164 \text{ kkal/mol} \times 4760,30 \text{ kg} / 58,5 \text{ kmol} \times 1000 \\
 &= 94717,76 \text{ kkal}
 \end{aligned}$$

$$\text{Input} + \text{Steam} = \text{Output} + \text{Vapor} + Q_{\text{loss}}$$

$$F.H_F + S.\lambda + \text{Panas kristalisasi} = L.H_L + V.H_v + 0,1F.H_F + 0,1S.\lambda + 0,1 \text{ Panas kristalisasi}$$

$$\text{Massa steam} = \frac{L.H_L + V.H_V + 0,9 \text{Panas kristalisasi} - 0,9.F.H_F - 0,9 \text{Panas kristalisasi}}{0,9\lambda}$$

$$= \frac{5562,52 + 21355622,89 - 2032119,93 - 85245,98}{0,9.662,6673}$$

$$= 32266,60 \text{ kg}$$

$$0,9.662,6673$$

(Geankoplis, 1997)

$$Q_{\text{steam}} = 32266,60 \cdot 662,6673 = 21382021,67$$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% \text{ panas masuk} = 2373465,05 \text{ kkal}$$

$$\Delta H_{\text{uap air}} = \text{massa uap air} \times H_V$$

$$= 23624,73 \times 393,98$$

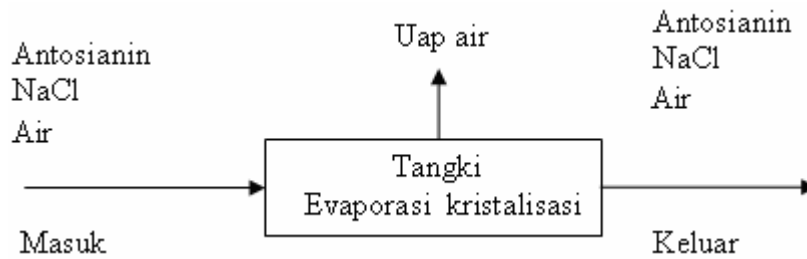
$$= 9307671,13 \text{ kkal}$$

$$\Delta H_{\text{uap etanol 96 \%}} = 30580,11 \times 393,98$$

$$= 12047951,47 \text{ kkal}$$

Panas masuk, 30 °C (kkal\hari)		Panas keluar, 30 °C (kkal\hari)	
Dari Tangki Penetralan (F-410)		Ke Plate and Frame Filter Press (H-610)	
Antosianin	46,06	Antosianin	46,06
NaCl _(l)	4849,48	NaCl _(l)	48,49
Etanol 96% _(l)	2134378,42	Air	666,98
Air	118637,07	NaCl _(s)	4800,99
Kristalisasi	94717,76		
Dari Utilitas		Ke Utilitas	
Q Steam	21382021,67	Etanol 96% _(g)	12047951,47
		Ke Lingkungan	
		Uap air	9307671,13
		Q Loss	2373465,05
Total	23734650,46	Total	23734650,46

B.3.5. Tangki Evaporasi dan Kristalisasi (V-520)

**Gambar B.7**

Suhu bahan masuk : 30 °C

Suhu bahan keluar : 30 °C

Tekanan operasi : 1 atm

Komposisi bahan masuk dan keluar:

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari plate and frame filter press (H-610)		Ke proses pendinginan	
Antosianin	23,03	Antosianin	23,03
NaCl _(l)	48,08	NaCl _(l)	4,42
Air	100,25	Air	11,63
		NaCl _(s)	43,66
		Ke Lingkungan	
		Uap air	88,62
Total	171,36	Total	171,36

Data steam:

$T = 150\text{ °C} \rightarrow \text{superheated} \rightarrow P_0 = 1,5\text{ atm}$

$\lambda = 2772,6\text{ kJ/kg} = 662,6673\text{ kkal/kg}$ (Geankoplis, 1997)

$BM_{\text{campuran}} = x_{\text{air}} \cdot BM_{\text{air}} + x_{\text{NaCl}} \cdot BM_{\text{NaCl}} + x_{\text{antosianin}} \cdot BM_{\text{antosianin}}$

$= 0,5850 \cdot 18 + 0,2806 \cdot 58,5 + 0,1344 \cdot 258 = 61,62$

$BPR = \Delta T_b = K_b \cdot m$, dimana $K_b = 0,52$ (Maron, S.H., 1974)

$m = ((71,11/61,62) \cdot 1000) / 100,25 = 11,51\text{ molal}$

$BPR = \Delta T_b = K_b \cdot m = 0,52 \cdot 11,51 = 5,99 = 6\text{ °C}$

maka suhu evaporasi = $100\text{ °C} + 6\text{ °C} = 106\text{ °C}$

Panas bahan masuk:

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ antosianin} &= m \text{ antosianin} \times C_p \text{ antosianin} \times \Delta T \\ &= 23,03 \text{ kg} \times 0,4000 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 46,06 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\Delta H \text{ NaCl}_{(l)} = \frac{48,08}{58,5} \times 1000 \times 0,0599 = 48,49 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ air} &= m \text{ air} \times C_p \text{ air} \times \Delta T \\ &= 100,25 \text{ kg} \times 0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 500,60 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}FH_F &= \Delta H \text{ antosianin} + \Delta H \text{ NaCl}_{(l)} + \Delta H \text{ air} \\ &= 46,06 + 48,49 + 500,60 \\ &= 595,15 \text{ kkal}\end{aligned}$$

Panas bahan evaporasi 106°C

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ antosianin} &= m \text{ antosianin} \times C_p \text{ antosianin} \times \Delta T \\ &= 23,03 \text{ kg} \times 0,4000 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (106 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 746,17 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\Delta H \text{ NaCl}_{(l)} = \frac{4,42}{58,5} \times 1000 \times 0,9082 = 68,62 \text{ kkal}$$

$$\Delta H \text{ NaCl}_{(s)} = \frac{43,66}{58,5} \times 1000 \times 0,9082 = 677,81 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ air} &= m \text{ air} \times C_p \text{ air} \times \Delta T \\ &= 11,63 \text{ kg} \times 1,0076 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (106 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 940,81 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}LH_L &= \Delta H \text{ antosianin} + \Delta H \text{ NaCl}_{(l)} + \Delta H \text{ air} + \Delta H \text{ NaCl}_{(s)} \\ &= 2433,41 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$H_v \text{ uap air} = 639,6033 \text{ kkal/kg}$$

$$V.H_v = 77,22 \times 639,6033 = 49390,17 \text{ kkal}$$

$$H_v \text{ uap air} = 639,6033 \text{ kkal/kg (Perry, 6 ed.)}$$

$$V.H_v = 88,62 \text{ kg} \times 639,6033 \text{ kkal/kg} = 49390,17 \text{ kkal}$$

$$\text{Input} + \text{Steam} + \text{Panas kristalisasi} = \text{Output} + \text{Vapor} + Q_{\text{loss}}$$

Panas kristalisasi 30°C :

$$\text{Panas kelarutan NaCl} = -1,164 \text{ kkal/mol}$$

$$\text{Panas kristalisasi} = - \text{Panas kelarutan}$$

$$= 1,164 \text{ kkal/mol} \times (43,66 \text{ kg}/58,5 \text{ kmol}) \times 1000$$

$$= 868,72 \text{ kkal}$$

$$F.H_F + S.\lambda + \text{Panas kristalisasi} = L.H_L + V.H_v + 0,1F.H_F + 0,1 S.\lambda$$

$$S = \frac{V.H_v + L.H_L - 0,9.F.H_F - 0,9 \text{Panas kristalisasi}}{0,9.\lambda}$$

$$= \frac{49390,17 + 2433,41 - 535,64 - 781,85}{0,9.662,6673} = \frac{50506,09}{0,9.662,6673} = 84,68 \text{ kg}$$

$$0,9.662,6673$$

$$0,9.662,6673$$

(Geankoplis, 1997)

$$Q = S.\lambda = 84,68 \cdot 662,6673 = 56117,88 \text{ kkal}$$

$$Q_{\text{loss}} = 10\% \cdot \text{panas masuk} = 5758,18 \text{ kkal}$$

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari proses Evaporasi		Ke plate and frame filter press (H-610)	
Antosianin	23,03	Antosianin	23,03
NaCl _(l)	4,42	NaCl _(l)	4,19
Air	11,63	Air	11,63
NaCl _(s)	43,66	NaCl _(s)	43,89
Total	82,74	Total	82,74

Panas keluar 30°C :

$$\Delta H \text{ antosianin} = m \text{ antosianin} \times C_p \text{ antosianin} \times \Delta T$$

$$= 23,03 \text{ kg} \times 0,4000 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C}$$

$$= 46,06 \text{ kkal}$$

$$\Delta H \text{ NaCl}_{(l)} = \frac{4,19}{58,5} \times 1000 \times 0,0599 = 4,29 \text{ kkal}$$

$$\Delta H \text{ NaCl}_{(l)} = \frac{0,23}{58,5} \times 1000 \times 0,0599 = 0,24 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned} \Delta H \text{ air} &= m \text{ air} \times C_p \text{ air} \times \Delta T \\ &= 11,63 \text{ kg} \times 0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 58,07 \text{ kkal} \end{aligned}$$

$$\text{Panas keluar} : \Delta H \text{ antosianin} + \Delta H \text{ NaCl} + \Delta H \text{ air} = 108,66 \text{ kkal}$$

$$\text{Panas kristalisasi} = - \text{Panas kelarutan}$$

$$\begin{aligned} &= 1,164 \text{ kkal/mol} \times (0,23 \text{ kg}/58,5 \text{ kmol}) \times 1000 \\ &= 4,58 \text{ kkal} \end{aligned}$$

$$\text{Panas masuk} + \text{Panas kristalisasi} = \text{Panas keluar} + \text{Panas hilang} + \text{Panas yang diterima air dingin}$$

$$2433,41 + 4,58 = 108,66 + \text{Panas yang diterima air dingin} + 10 \% \text{ panas masuk}$$

$$\text{Panas hilang} : 10\% \text{ dari panas masuk} = 10\%(2433,41 + 4,58) = 243,80 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned} \text{Panas yang diterima air dingin} &= 2433,41 + 4,58 - 243,80 - 108,66 \\ &= 2076,37 \text{ kkal} \end{aligned}$$

Kebutuhan air dingin :

$$Q = m \cdot C_p \cdot \Delta T$$

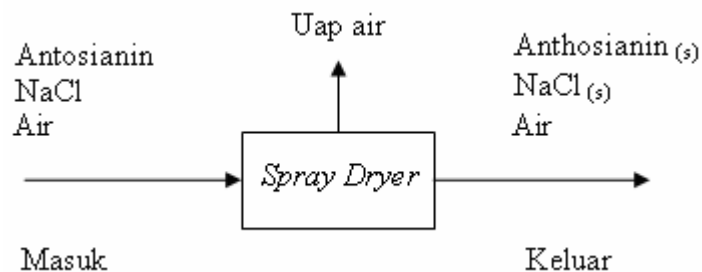
$$2076,37 \text{ kkal} = m \cdot 0,9989 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \cdot (45 - 30)^\circ\text{C}$$

$$m \text{ air pendingin} = 149,79 \text{ kg}$$

Panas masuk, 30 °C (kkal\hari)		Panas keluar, 106 °C (kkal\hari)	
Dari Plate and frame Filter Press (H-610))		Ke Proses Kristalisasi	
Antosianin	46,06	Antosianin	746,17
NaCl _(l)	48,49	NaCl _(l)	68,62
Air	500,60	Air	940,81
Kristalisasi	868,72	NaCl _(s)	677,81
Dari Utilitas		Ke Lingkungan	
Steam	56117,88	Uap air	49390,17
		Q _{loss}	5758,18
Total	57581,75	Total	57581,75

Panas masuk, 106 °C (kkal/hari)		Panas keluar, 30 °C (kkal/hari)	
Dari Proses Evaporasi		Ke Plate and Frame Filter Press (H 610)	
Antosianin	746,17	Antosianin	46,06
NaCl _(l)	68,62	NaCl _(l)	4,29
Air	940,81	Air	58,07
NaCl _(s)	677,81	NaCl _(s)	0,24
Kristalisasi	4,58	Air pendingin	2076,37
		Q _{loss}	243,80
Total	2437,99	Total	2437,99

B.3.6. Spray Dryer (B-710)



Gambar B.8

Suhu bahan masuk : 30 °C

Suhu bahan keluar : 120 °C

Tekanan operasi : 760 mmHg

Komposisi bahan masuk dan keluar:

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Plate and Frame Filter Press (H-610)		Ke packaging	
Antosianin(l)	23,03	Antosianin(s)	23,03
NaCl _(l)	4,19	NaCl(s)	4,19
Air	11,32	Air yang tersisa	0,27
		Ke lingkungan	
		Uap air	11,05
Total	38,54	Total	38,54

Panas bahan masuk:

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ antosianin} &= m \text{ antosianin} \times C_p \text{ antosianin} \times \Delta T \\ &= 23,03 \text{ kg} \times 0,400 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 46,06 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\Delta H \text{ NaCl}_{(l)} = \frac{4,19}{58,5} \times 1000 \times 0,0599 = 4,29 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ air} &= m \text{ air} \times C_p \text{ air} \times \Delta T \\ &= 11,32 \text{ kg} \times 0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (30 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 56,53 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ masuk} &= \Delta H \text{ antosianin} + \Delta H \text{ NaCl} + \Delta H \text{ air} \\ &= 106,88 \text{ kkal}\end{aligned}$$

Panas bahan keluar:

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ antosianin} &= m \text{ antosianin} \times C_p \text{ antosianin} \times \Delta T \\ &= 23,03 \times 0,400 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} \times (120 - 25)^\circ\text{C} \\ &= 875,14 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}C_p \text{ NaCl}_{(s)} &= \frac{393}{298} (5,526 - 1,963 \cdot 10^{-3} \cdot T) dT \\ &= 0,5891 \text{ kkal/mol}\end{aligned}$$

$$\Delta H \text{ NaCl}_{(s)} = (4,19/58,5) \times 1000 \times 0,5891 = 42,186 \text{ kkal}$$

$$H_v \text{ uap air} = 360 \text{ kkal/kg (Perry, 1984)}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ uap air} &= V \cdot H_v \\ &= 11,05 \times 360 \\ &= 3978 \text{ kkal}\end{aligned}$$

$$\Delta H \text{ air yang tersisa} = 0,27 \times 0,9 \times (120 - 25) = 23,085 \text{ kkal}$$

$$\begin{aligned}\Delta H \text{ keluar} &= \Delta H \text{ antosianin} + \Delta H \text{ NaCl} + \Delta H \text{ uap air} + \Delta H \text{ air yang tersisa} \\ &= 4918,42 \text{ kkal}\end{aligned}$$

Q loss diasumsi 10 % dari panas masuk

$$Q_{in} = Q_{out} + Q_{loss}$$

$$Q_{in} = 4918,42 \text{ kkal/hari} + 0,1 Q_{in}$$

$$0,9 Q_{in} = 4918,42 \text{ kkal/hari}$$

$$Q_{in} = 5464,91 \text{ kkal/hari}$$

$$Q_{udara \text{ panas}} = \Delta H_{keluar} - \Delta H_{masuk}$$

$$= 4918,42 - 106,88$$

$$= 4811,54 \text{ kkal}$$

$$Q_{loss} = 0,1 \times 5464,91 \text{ kkal/hari}$$

$$= 546,49 \text{ kkal/hari}$$

$$Q_{udara \text{ panas}} = 5464,91 \text{ kkal/hari} - 106,88 \text{ kkal/hari}$$

$$= 5358,03 \text{ kkal/hari}$$

Panas masuk, 30 °C (kkal\hari)		Panas keluar, 120 °C (kkal\hari)	
Dari Plate and Frame Filter Press (H-610)		Ke Packaging	
Antosianin(l)	46,06	Antosianin(s)	875,14
NaCl(l)	4,29	NaCl(s)	42,19
Air	56,53	Air yang tersisa	23,09
Q udara panas	5358,03	Ke lingkungan	
		Uap air	3978
		Q loss	546,49
Total	5464,91	Total	5464,91

APPENDIX C

PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT

1. Bak Pencucian (F-111)

Fungsi : memisahkan kulit ubi jalar ungu dari pengotor-pengotor

Tipe : bak plastik berbentuk silinder

Bahan konstruksi : Plastik Polypropilen

Dasar pemilihan :

- Sangat ekonomis

Kapasitas kulit ubi jalar = 9011,87 kg

ρ kulit ubi jalar = 0,333 kg/L

Volume kulit = $9011 \text{ kg} / 0,333 \text{ kg/L} = 27062,7 \text{ L} = 27,063 \text{ m}^3$

Massa air pencuci = 6758,90 kg (Appendix A)

ρ air pencuci = 1 kg/L

Volume air pencuci = $6758,9 \text{ kg} / 1 \text{ kg/L} = 6758,9 \text{ L} = 6,759 \text{ m}^3$

$V_{\text{total}} = 6,759 \text{ m}^3 + 27,063 \text{ m}^3 = 33,822 \text{ m}^3$

Volume bak total = $1,4 \times \text{Volume total}$

Volume bak total = $1,4 \times 33,822 \text{ m}^3 = 47,351 \text{ m}^3$

Total bak = 10 buah

Volume 1 bak pencuci = $47,351 \text{ m}^3 / 10 = 4,735 \text{ m}^3$

Diambil $H = 0,5 D$

Volume 1 bak pencuci = $\frac{\pi}{4} D^2 \cdot 0,5 \cdot D$

$$4,735 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} D^2 \cdot 0,5 \cdot D$$

$$D = 2,3 \text{ m}$$

$$H = 0,5 \cdot 2,3 \text{ m} = 1,15 \text{ m}$$

Spesifikasi:

Diameter = 2,3 m

Tinggi = 1,15 m

Bahan konstruksi = polypropilen

Jumlah = 10 buah

2. Tray Dryer (B-110)

Fungsi : mengurangi kadar air yang terdapat dalam kulit ubi jalar

Tipe : Tray Dryer

Bahan konstruksi : Carbon steel SA-240 Grade A

Dasar pemilihan :

- Cocok untuk mengeringkan bahan dalam bentuk lembaran
- Dipilih Carbon steel harganya relatif lebih murah
- Cocok untuk proses *batch* (Joshi, 1981)

Humidity 0,0225 H₂O/ kg udara kering (humidity di Surabaya)

T udara panas masuk = 120 °C

Dari fig. 9.3-2 Geankoplis page 529, didapat H_w = 0,058; dan T_w = 43°C

$$V_H = (2,83 \cdot 10^{-3} + 4,56 \cdot 10^{-3} \cdot H) \cdot T \quad (\text{Geankoplis, pp. 527 eq. 9.3-7})$$

$$\begin{aligned} V_H &= (2,83 \cdot 10^{-3} + 4,56 \cdot 10^{-3} \cdot 0,0225) (120 + 273) \\ &= 1,1525 \text{ m}^3/\text{kg udara kering} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ udara} = (1+H)/V_H = (1+0,0225) / 1,1525$$

$$= 0,887 \text{ kg/m}^3$$

Berdasarkan Wallas, pp.243, tabel 9.3, 1990, didapatkan bahawa untuk *tray dryer*,

Kecepatan udara yang masuk (v) sebesar = 500 ft/menit = 2,54 m/s

Diasumsi perpindahan panas yang terjadi hanya secara konveksi.

Laju massa udara (G) = $v \cdot \rho \text{ udara} \cdot 3600$

$$= 2,54 \cdot 0,887 \cdot 3600$$

$$= 8112,49 \text{ kg/jam.m}^2$$

$$h = 0,0204 \cdot G^{0,8} \quad (\text{Geankoplis, pp,543, eq. 9.6-9})$$

$$h = 0,0204 \cdot 18112,49^{0,8}$$

$$h = 27,35 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Dari Geankoplis App. A.2-9 dengan $T_w = 43^\circ \text{C}$ didapatkan : $\lambda_w = 2400,74 \text{ kJ/kg}$

$$R_c = (h/\lambda_w) \cdot (T - T_w) \cdot (3600) = (27,35/2400,74) \cdot (120 - 43) \cdot (3600)$$

$$R_c = 3,15 \text{ kg H}_2\text{O/ jam.m}^2$$

Dimensi *tray* = 60 cm *wide*, 90-180 cm *long*, 3-4 cm *deep*. (Joshi, pp. 457, 1981)

Diambil : panjang = 150 cm

: lebar = 60 cm

: tebal 3 cm

$$\text{Luas area} = 60 \text{ cm} \times 150 \text{ cm} = 9000 \text{ cm}^2 = 0,9 \text{ m}^2$$

$$\text{Total laju penguapan} = R_c \times A = 31,5 \text{ kg H}_2\text{O/ jam.m}^2 \times 0,9 \text{ m}^2$$

$$= 2,85 \text{ kg H}_2\text{O/ jam}$$

Dalam 1 jam air yang berpindah ke udara sebesar = 2,85 kg $\text{H}_2\text{O/ tray}$

Jumlah air yang akan diuapkan = 2173,6 kg H_2O

Waktu operasi yang diinginkan = 21 jam (Joshi, pp. 457, 1981)

$$\text{Jumlah tray yang dibutuhkan} = 2173,6 / (2,85 \times 21) = 38 \text{ tray}$$

Tray disusun ruas kiri dan kanan sehingga satu ruas berisi 17 *tray*

Panjang *dryer* = panjang *tray*

Lebar *dryer* = lebar *tray*

Space antar *tray* = 7,5 cm (Joshi, 1981)

Tinggi *dryer* = ((banyak *tray* x tebal *tray*) + ((banyak *tray* + 1) x space antar *tray*))

Tinggi *dryer* = ((17 x 3) + ((17 + 1) x 7,5) cm
= 517,5 cm

Spesifikasi *Dryer* :

Panjang = 150 cm

Lebar = 60 cm

Tinggi = 517,5 cm

Tebal = 3 cm

Jumlah *tray* satu ruas = 17 *tray*

3. *Blower* (L-112)

Fungsi : menghembuskan udara media pengering ke *tray dryer* melalui *furnace*

Tipe : centrifugal *blower* single stage

Dasar pemilihan

- Cocok untuk mengalirkan gas dengan kapasitas dan tekanan yang rendah.

Kondisi operasi : 1 atm

Kebutuhan udara pengering : 90047,21 kg/jam = 3308,64 lb/min

Diambil suhu udara masuk 86 °F kelembapan 70 %, sehingga

Humiditas udara = 0,019 lb H₂O/lb udara kering

Specifik udara = 0,0405 x (460 + t) x (0,622 + H) (Geankoplis, 1997)

$$= 0,0405 \times (460 + 86) \times (0,622 + 0,019)$$

$$= 14,1744 \text{ cuft/lb}$$

$$\text{Laju udara, } Q = 3308,64 \text{ lb/min} \times 14,1744 \text{ cuft/lb}$$

$$= 46897,911 \text{ ft}^3/\text{min} = 79683,82 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Berdasarkan Ulrich, tabel 4.9, pp. 120, beda tekanan maksimum sebesar 1,4 kpa.

Dipilih beda tekanan 1,3 kpa.

$$P_1 = 1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 102,625 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{Blower}} = 2,72 \cdot 10^{-5} \times Q \times (P_2 - P_1) \quad (\text{Perry, 7}^{\text{th}} \text{ ed., eq. 10-87, pp. 10-46})$$

$$= 2,72 \cdot 10^{-5} \times 79683,82 \text{ m}^3/\text{jam} (102,625 - 101,325)$$

$$= 2,818 \text{ kW}$$

Dari Perry 7 th ed. , pp. 10-46, efisiensi motor berkisar antara 40-80%

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

$$\text{Power Blower} = 2,818 / 0,8$$

$$= 3,52 \text{ kW} = 4,723 \text{ hp} = 5 \text{ hp}$$

Spesifikasi :

Tipe : *centrifugal single stage blower*

Power : 5 hp

Jumlah : 1 buah

4. Furnace (B-113)

Fungsi : menghasilkan udara panas yang dipakai untuk *tray dryer*

Tipe : *Thermal Direct Fired Heater*

Kondisi Operasi : $P = 1 \text{ atm}$

Suhu udara masuk : $30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$

Rate udara masuk *furnace* = $90047,21 \text{ kg/jam} = 3308,64 \text{ lb/min}$

Pada suhu 86°F , *humidity* = $0,02125 \text{ lb H}_2\text{O/lb udara kering}$

Volume spesifik = $(0,0252 + 0,0405 \times H) \times T^{\circ\text{R}}$

$$= (0,0252 + 0,0405 \times 0,02125) \times (460 + 86)^{\circ\text{R}}$$

$$= 14,2291 \text{ ft}^3/\text{lb udara kering}$$

Rate volumetrik udara = $3308,64 \text{ lb/min} \times 14,2291 \text{ ft}^3/\text{lb}$

$$= 47078,97 \text{ ft}^3/\text{min}$$

Panas yang disuplay ke *tray dryer* = $1516575,13 \text{ kkal/jam} = 6014336,65 \text{ btu/jam}$

Berdasarkan Perry edisi 5, hal 9-33, maka spesifikasi *furnace* yang dipakai :

Tinggi *furnace* = 46 in

Panjang *furnace* = 84 in

Bahan konstruksi : *Stainless steel*

Jumlah : 1 buah

5. Rotary Cutter (C-210)

Fungsi : untuk mengecilkan ukuran kulit ubi jalar ungu

Tipe : *Rotary Knife Cutter*

Dasar pemilihan : Efektif untuk mengecilkan ukuran partikel non abrasive material

Dari Perry 6th ed. Tabel 8.16 hal 8-29 didapatkan data untuk *rotary cutter* sebagai berikut :

Feed = $1,5 \text{ in} = 3,81 \text{ cm}$

$$\text{Output} = \frac{1}{64} \text{ in} = 0,04 \text{ cm}$$

$$\text{Rate} = 1000 \text{ lb/jam}$$

$$\text{Power} = 11 \text{ hp}$$

$$\text{Ukuran rata-rata kulit ubi jalar ungu} = 5 \text{ cm}$$

$$\text{Ukuran produk yang diinginkan} = 1 \text{ in} = 2,54 \text{ cm}$$

$$\text{Maka rate} = \frac{\frac{2,54}{0,04} \cdot 1000 \text{ lb/jam}}{3,81} = 4906,2374 \text{ lb/jam} = 2225,455 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Kapasitas kulit ubi jalar ungu} = 6807,75 \text{ kg/hari}$$

$$\text{Waktu operasi} = \frac{6807,75 \text{ kg / hari}}{2225,45 \text{ kg / jam}} = 3,06 \text{ jam/hari} \approx 4 \text{ jam/hari}$$

$$\text{Jumlah alat} = 2 \text{ buah}$$

$$\text{Waktu operasi tiap alat} = 2 \text{ jam}$$

Spesifikasi :

Tipe : *Rotary Knife Cutter*

Kapasitas : 6807,75 kg/hari

Power : 11 hp

Bahan : *Carbon steel SA-240 Grade C*

Jumlah : 2 buah

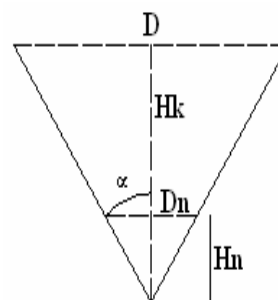
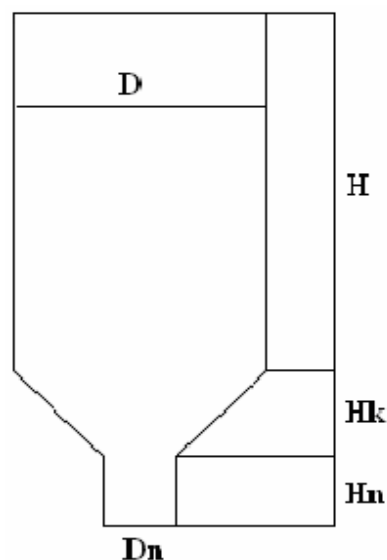
6. Tangki Ekstraksi (F-310)

Fungsi : untuk mengekstrak antosianin dari kulit ubi jalar ungu

Type : tangki berbentuk silinder dengan bagian atas berbentuk *flat* dan bagian bawah berbentuk *conical dished head* dari bahan konstruksi *stainless steel SA-167 Grade A* dan dilengkapi dengan pengaduk dan penyangga.

Dasar pemilihan :

- Atap berbentuk *flat* karena tangki tersebut tidak menggunakan tekanan operasi yang besar.
- Bagian bawah berbentuk *conical dished head* untuk mempermudah pengeluaran bahan.
- Bahan konstruksi yang digunakan adalah *stainless steel SA-167 Grade A* karena cocok untuk menampung bahan yang bersifat korosif.
- Pengaduk menggunakan *type six flat blade turbine with disk* karena pengaduk ini dapat menyapu seluruh padatan yang berada di dasar tangki.



Keterangan:

D = diameter *shell*

H = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Hs = tinggi *shell*

Dn = diameter *nozzle*

Massa bahan yang ditampung = 45496,22 kg

Waktu tinggal = 1 jam

Jumlah tangki = 10 buah

Perhitungan untuk 1 buah tangki :

Massa kulit ubi jalar = 6807,75 kg / 10 = 680,775 kg

Massa etanol 96 % = 30580,11 kg / 10 = 3058,011 kg

Massa HCl 37 % = 8108,36 kg / 10 = 810,836 kg

$\rho_{\text{kulit ubi jalar}} = 0,333 \text{ kg/L}$

$\rho_{\text{etanol 96\%}} = 0,792 \text{ kg/L}$

$\rho_{\text{HCl 37 \%}} = 1,19 \text{ kg/L}$

Volume kulit ubi jalar = $\frac{680,775 \text{ kg}}{0,333 \text{ kg / L}} = 2044,37 \text{ L}$

Volume etanol 96 % = $\frac{3058,01 \text{ kg}}{0,792 \text{ kg / L}} = 3861,125 \text{ L}$

Volume HCl 37 % = $\frac{810,836 \text{ kg}}{1,19 \text{ kg / L}} = 681,375 \text{ L}$

Volume bahan total = 6586,869 L = 6,587 m³

$\rho_{\text{campuran}} = \frac{\text{massa bahan}}{\text{volume bahan}} = 0,691 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 43,121 \text{ lbm/cuft}$

Volume tangki = Volume *shell* + volume konis

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H + \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Dn^2 \cdot H_n \right)$$

$$H_n = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$H_k = \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{D - Dn}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\frac{H}{D} = 1 \quad (\text{Ulrich, 1984, p-433})$$

$$D_{\text{nozzle}} (Dn) = 8 \text{ inc} = 0,2032 \text{ m} = 0,6667 \text{ ft} \quad (\text{Brownell, 1959, p. 96})$$

$$\text{sudut konis} = 60^\circ$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - Dn^3)$$

$$1,2 \cdot 6,587 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - 0,2032^3)$$

$$D = 1,98 \text{ m} \approx 2 \text{ m} = 78,126 \text{ in}$$

$$H = 1,98 \text{ m}$$

$$H_k = 1,54 \text{ m}$$

$$H_T = H + H_k = 3,54 \text{ m} = 11,574 \text{ ft} = 138,894 \text{ in}$$

$$\text{Volume bahan dalam konis} = \text{volume konis} = \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - Dn^3) = 1,77 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bahan dalam shell} = \text{volume bahan} - \text{volume bahan dalam konis}$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_1 = 4,817 \text{ m}^3$$

$$H_1 = 1,56 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bahan dalam tangki} = H_{l \text{ tot}} = H_1 + H_k = 3,1 \text{ m} = 10,176 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hid}} = (\rho \times H_{l \text{ tot}}) / 144 \quad (\text{Brownell, pers 3.17})$$

$$= (43,121 \times 10,176) / 144 = 3,047 \text{ psi}$$

$$P_{\text{des}} = 1,25 \cdot P_{\text{hid}} = 3,81 \text{ psi}$$

Bahan konstruksi dipilih *stainless steel SA-167 Grade A*

$$f = 18750 \text{ psi} \quad (\text{Brownell, hal 342})$$

Tebal dinding tangki

$$t = \frac{P.D}{2.f.E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

$$E = 0,8 \text{ (double welded butt join)}$$

$$t = \frac{3,81.78,126}{2.18750.0,8} + 0,125 = 0,135 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup atas, *flat*

$$t = \frac{P.D}{2.f.E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

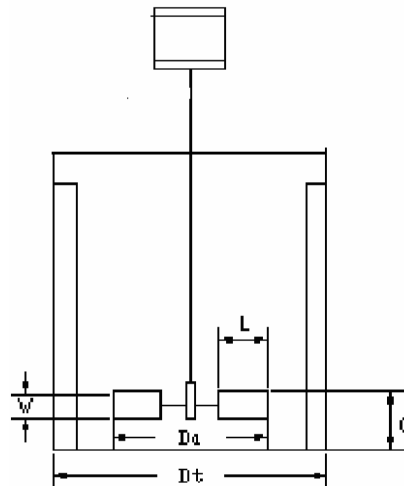
$$t = \frac{3,81.78,126}{2.18750.0,8} + 0,125 = 0,135 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup bawah, konis

$$t = \frac{P.D}{2.\cos \alpha (f.E - 0,6.P)} + 0,125 \quad (\text{Brownell, pers 6.154})$$

$$t = \frac{3,81.78,126}{2.\cos 30.(18750.0,8 - 0,6.3,81)} + 0,125 = 0,136 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Pengaduk : *six flat blade turbine with disk*



Dari Geankoplis 3rd ed, hal 144 :

D_a = Diameter agitator = $0,3 \cdot D_t = 0,6$ m

C = Jarak dasar tangki dengan pengaduk = $\frac{D_t}{3} = 0,66$ m

L = Panjang blade = $\frac{D_a}{4} = 0,15$ m

W = Lebar blade = $\frac{D_a}{5} = 0,12$ m

J = Lebar baffle = $\frac{D_t}{12} = 0,16$ m

N = 120 rpm = 2 rps

(Geankoplis 3rded, hal 141)

$\mu_{\text{campuran}} = 0,324 \cdot \rho_{\text{campuran}}^{0,5}$

(Perry 5thed p.3-246)

$\mu_{\text{campuran}} = 0,269$ cp = $0,269 \cdot 10^{-3}$ kg/m.s

$$N_{\text{Re}} = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,6^2 \cdot 2 \cdot 691}{0,269 \cdot 10^3}$$

$N_{\text{Re}} = 1,82 \cdot 10^6$ (turbulen)

$N_p = 5$

(Geankoplis 3rded fig 3.4-4)

$S_g = 0,691$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{sg.H_{tot}}{D} = 1,08 \approx 1 \text{ impeller}$$

$$P = \rho \cdot N_p \cdot N^3 \cdot Da^5 = 691 \cdot 5 \cdot 2^3 \cdot 0,6^5$$

$$P = 2065,932 \text{ W} = 2,77 \text{ hp}$$

$$\eta = 80 \%$$

$$\text{Power motor} = \frac{2,77}{0,8} = 3,463 \text{ hp} = 3,5 \text{ hp}$$

Spesifikasi

Jumlah tangki : 10 buah

- Bejana

Volume yang ditampung : 6586,87 L

Volume tangki : 7904,243 L

Diameter tangki : 78,126 in

Tinggi tangki : 138,894 in

Bahan : *stainless steel SA-167 Grade A*

Tebal dinding tangki : 3/16 in

Tebal tutup atas : 3/16 in

Tebal tutup bawah : 3/16 in

- Pengaduk

Jenis pengaduk : *six flat blade turbine with disk*

Diameter pengaduk : 0,6 m

Jarak dari dasar tangki : 0,66 m

Kecepatan pengaduk : 1 rps

Jumlah impeller : 1

Lebar *blade* : 0,12 m

Panjang *blade* : 0,15 m

Power pengaduk : 3,5 hp

- *Baffle*

Jumlah *baffle* : 4 buah

Lebar *baffle* : 0,16 m

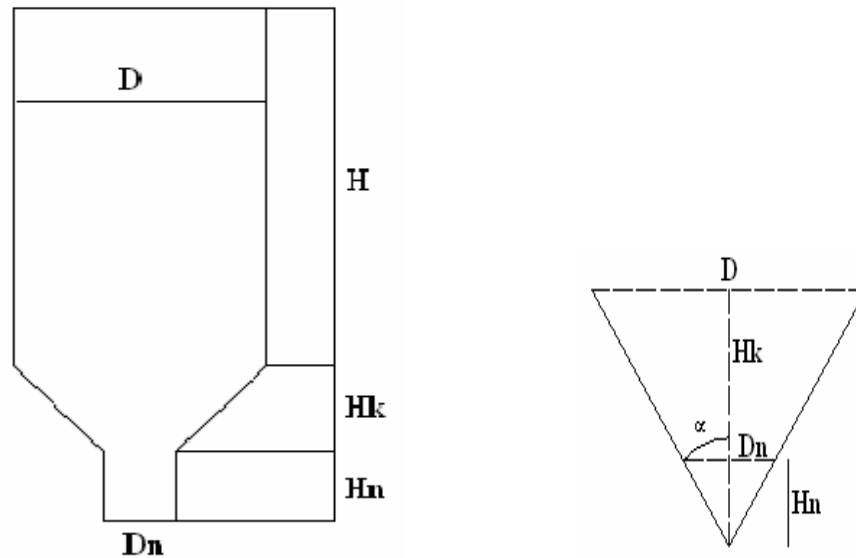
7. Tangki Penampung HCl 37 % (F-311)

Fungsi : untuk menampung larutan HCl 37 %

Type : tangki berbentuk silinder dengan bagian atas berbentuk *flat* dan bagian bawah berbentuk *conical dished head* dari bahan konstruksi *stainless steel SA-167 Grade A* dan dilengkapi penyangga

Dasar pemilihan :

- Atap berbentuk *flat* karena tangki tersebut hanya berfungsi sebagai penyimpan saja dan tidak menggunakan tekanan tinggi.
- Bagian bawah berbentuk *conical dished head* untuk mempermudah pengeluaran bahan.
- Bahan konstruksi yang digunakan adalah *stainless steel SA-167 Grade A* karena cocok untuk menampung bahan yang bersifat korosif.



Keterangan:

D = diameter *shell*

H = tinggi *shell*

H_k = tinggi konis

H_n = tinggi *nozzle*

H_s = tinggi *shell*

D_n = diameter *nozzle*

Massa bahan yang ditampung = 8108,36 kg

Waktu tinggal = 1 hari

$\rho_{\text{HCl } 37\%} = 1,19 \text{ kg/L} = 74,2917 \text{ lbm/cuft}$

Volume bahan = $\frac{8108 \text{ kg}}{1,19 \text{ kg/L}} = 6813,75 \text{ L} = 6,8138 \text{ m}^3$

Volume tangki = Volume *shell* + volume konis

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H + \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_n^2 \cdot H_n \right)$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$H_k = \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{D - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\frac{H}{D} = 1 \quad (\text{Ulrich, 1984, p-433})$$

$$D_{\text{nozzle}} (D_n) = 8 \text{ in} = 0,2032 \text{ m} = 0,6667 \text{ ft} \quad (\text{Brownell, 1959, p. 96})$$

$$\text{sudut konis} = 60^\circ$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3)$$

$$1,2 \cdot 6,8138 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - 0,2032^3)$$

$$D = 2,01 \text{ m} = 79,013 \text{ in}$$

$$H = 2,01 \text{ m}$$

$$H_k = 1,56 \text{ m}$$

$$H_T = H + H_k = 3,57 \text{ m} = 11,71 \text{ ft} = 140,55 \text{ in}$$

$$\text{Volume bahan dalam konis} = \text{volume konis} = \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3) = 1,831 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bahan dalam shell} = \text{volume bahan} - \text{volume bahan dalam konis}$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_l = 4,983 \text{ m}^3$$

$$H_l = 1,58 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bahan dalam tangki} = H_{l \text{ tot}} = H_l + H_k = 3,14 \text{ m} = 10,298 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hid}} = (\rho \times H_{l \text{ tot}}) / 144 \quad (\text{Brownell, pers 3.17})$$

$$= (74,2917 \times 10,298) / 144 = 5,313 \text{ psi}$$

$$P_{\text{des}} = 1,25 \cdot P_{\text{hid}} = 6,641 \text{ psi}$$

Bahan konstruksi dipilih *stainless steel* SA-167 Grade A

$f = 18750$ psi (Brownell, hal 342)

Tebal dinding tangki

$$t = \frac{P_{des} \cdot D}{2 \cdot f \cdot E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

$E = 0,8$ (*double welded butt join*)

$$t = ((6,641 \times 79,013) / (2 \times 18750 \times 0,8)) + 0,125 = 0,143 \text{ in}$$

Tebal tutup atas, *flat*

$$t = \frac{P_{des} \cdot D}{2 \cdot f \cdot E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

$$t = ((6,641 \times 79,013) / (2 \times 18750 \times 0,8)) + 0,125 = 0,143 \text{ in}$$

Tebal tutup bawah, konis

$$t = \frac{P_{des} \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha (f \cdot E - 0,6 \cdot P_{des})} + 0,125 \quad (\text{Brownell, pers 6.154})$$

$$t = \frac{6,641 \cdot 79,013}{2 \cdot \cos 30 \cdot (18750 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 6,641)} + 0,125 = 0,145 \text{ in}$$

Spesifikasi :

Volume bahan : 6813.75 L

Volume tangki : 8176,56 L

Diameter tangki : 79,013 in

Bahan : *stainless steel* SA-167 Grade A

Tinggi tangki : 140,55 in

Tebal dinding tangki : 0,143 in

Tebal tutup atas : 0,143 in

Tebal tutup bawah : 0,145 in

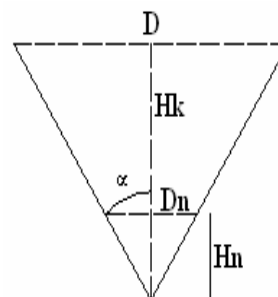
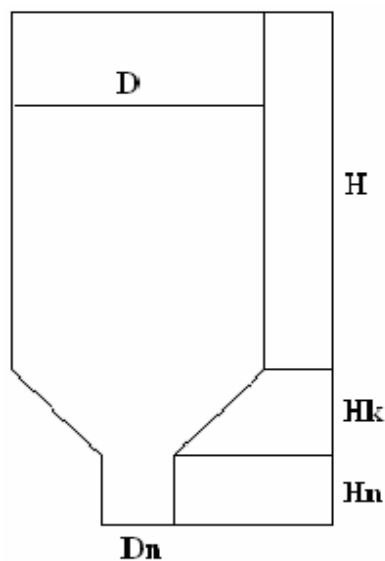
8. Tangki Penampung Etanol 96 % (F-312)

Fungsi : untuk menampung larutan Etanol 96 %

Type : tangki berbentuk silinder dengan bagian atas berbentuk *flat* dan bagian bawah berbentuk *conical dished head* dari bahan konstruksi *carbon steel SA-240 Grade A* dan dilengkapi penyangga

Dasar pemilihan :

- Atap berbentuk *flat* karena tangki tersebut hanya berfungsi sebagai penyimpan saja dan tidak menggunakan tekanan tinggi.
- Bagian bawah berbentuk *conical dished head* untuk mempermudah pengeluaran bahan.
- Bahan konstruksi yang digunakan adalah *carbon steel SA-240 Grade A* karena jenis ini biasa digunakan dan baik untuk suhu operasi antara $-20\text{ }^{\circ}\text{F}$ sampai $650\text{ }^{\circ}\text{F}$.



Keterangan:

D = diameter *shell*

H = tinggi *shell*

H_k = tinggi konis

H_n = tinggi *nozzle*

H_s = tinggi *shell*

D_n = diameter *nozzle*

Massa bahan yang ditampung = 30580,11 kg

Waktu tinggal = 1 hari

$\rho_{\text{Etanol 96\%}} = 0,792 \text{ kg/L} = 49,4447 \text{ lbm/cuft}$

Volume bahan = $\frac{30580,11 \text{ kg}}{0,792 \text{ kg/L}} = 38611,25 \text{ L} = 38,6113 \text{ m}^3$

Volume tangki = Volume *shell* + volume konis

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H + \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_n^2 \cdot H_n \right)$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$H_k = \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{D - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\frac{H}{D} = 1 \quad (\text{Ulrich, 1984, p-433})$$

$$D_{\text{nozzle}} (D_n) = 8 \text{ inc} = 0,2032 \text{ m} = 0,6667 \text{ ft} \quad (\text{Brownell, 1959, p. 96})$$

$$\text{sudut konis} = 60^\circ$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3)$$

$$1,2 \cdot 38,6113 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - 0,2032^3)$$

$$D = 3,58 \text{ m} = 140,857 \text{ in}$$

$$H = 3,58 \text{ m}$$

$$H_k = 2,92 \text{ m}$$

$$H_T = H + H_k = 6,50 \text{ m} = 21,332 \text{ ft} = 255,986 \text{ in}$$

$$\text{Volume bahan dalam konis} = \text{volume konis} = \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3) = 10,383 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bahan dalam shell} = \text{volume bahan} - \text{volume bahan dalam konis}$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot D \cdot H_l^2 = 28,23 \text{ m}^3$$

$$H_l = 2,81 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bahan dalam tangki} = H_{l \text{ tot}} = H_l + H_k = 5,73 \text{ m} = 18,811 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hid}} = (\rho \times H_{l \text{ tot}}) / 144 \quad (\text{Brownell, pers 3.17})$$

$$= (49,4447 \times 18,811) / 144 = 6,459 \text{ psi}$$

$$P_{\text{des}} = 1,25 \cdot P_{\text{hid}} = 8,074 \text{ psi}$$

Bahan konstruksi dipilih *carbon steel SA-240 Grade A*

$$f = 13400 \text{ psi} \quad (\text{Brownell, hal 342})$$

Tebal dinding tangki

$$t = \frac{P_{\text{des}} \cdot D}{2 \cdot f \cdot E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

$$E = 0,8 \text{ (double welded butt join)}$$

$$t = \frac{8,074 \cdot 140,857}{2 \cdot 13400 \cdot 0,8} + 0,125 = 0,178 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup atas, *flat*

$$t = \frac{P_{des} \cdot D}{2 \cdot f \cdot E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

$$t = \frac{8,074 \cdot 140,857}{2 \cdot 13400 \cdot 0,8} + 0,125 = 0,178 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup bawah, konis

$$t = \frac{P_{des} \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha (f \cdot E - 0,6 \cdot P_{des})} + 0,125 \quad (\text{Brownell, pers 6.154})$$

$$t = \frac{8,074 \cdot 140,857}{2 \cdot \cos 30 \cdot (13400 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 8,074)} + 0,125 = 0,186 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Spesifikasi :

Volume yang ditampung	: 38611,25 L
Volume tangki	: 46333,56 L
Diameter tangki	: 140,857 in
Tinggi tangki	: 255,986 in
Bahan	: <i>carbon steel SA-240 Grade A</i>
Tebal dinding tangki	: 3/16 in
Tebal tutup atas	: 3/16 in
Tebal tutup bawah	: 3/16 in

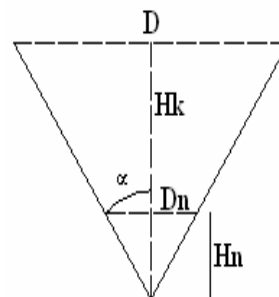
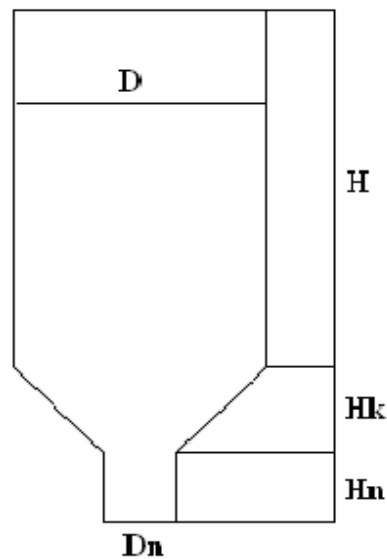
9. Tangki Penetrulan (F-410)

Fungsi	: untuk menetralkan HCl
Type	: tangki berbentuk silinder dengan bagian atas berbentuk <i>flat</i> dan bagian bawah berbentuk <i>conical dished head</i> dari bahan konstruksi

stainless steel SA-167 Grade A dan dilengkapi dengan pengaduk, penyangga dan jaket pendingin

Dasar pemilihan :

- Atap berbentuk *flat* karena tangki tersebut tidak menggunakan tekanan operasi yang besar.
- Bagian bawah berbentuk *conical dished head* untuk mempermudah pengeluaran bahan.
- Bahan konstruksi yang digunakan adalah *stainless steel SA-167 Grade A* karena cocok untuk menampung bahan yang bersifat korosif.
- Pengaduk menggunakan *type six flat blade turbine with disk* karena pengaduk ini dapat menyapu seluruh padatan yang berada di dasar tangki.



Keterangan:

D = diameter *shell*

H = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

H_s = tinggi *shell*

D_n = diameter *nozzle*

Massa bahan yang ditampung = 59169,82 kg

Waktu tinggal = 1 hari

Massa antosianin = 23,03 kg

Massa etanol 96 % = 30580,11 kg

Massa HCl 37 % = 8108,36 kg

Massa air pencuci = 1179,83 kg

Massa NaOH 5 N = 19278,49 kg

$\rho_{\text{antosianin}} \approx \rho_{\text{air}} = 1 \text{ kg/L}$

$\rho_{\text{etanol 96\%}} = 0,792 \text{ kg/L}$

$\rho_{\text{HCl 37\%}} = 1,19 \text{ kg/L}$

$\rho_{\text{air}} = 1 \text{ kg/L}$

$\rho_{\text{NaOH 5 N}} = 1,1738 \text{ kg/L}$

Volume kulit ubi jalar = $\frac{23,03 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} = 23,03 \text{ L}$

Volume etanol 96 % = $\frac{30580,11 \text{ kg}}{0,792 \text{ kg/L}} = 38611,25 \text{ L}$

Volume HCl 37 % = $\frac{8108,36 \text{ kg}}{1,19 \text{ kg/L}} = 6813,75 \text{ L}$

Volume air = $\frac{1179,83 \text{ kg}}{1 \text{ kg/L}} = 1179,83 \text{ L}$

Volume NaOH 5 N = $\frac{19278,49}{1,1738} = 16424 \text{ L}$

Volume bahan = 46627,858 L = 46,628 m³

$$\rho_{\text{campuran}} = \frac{\text{massabahan}}{\text{volumebahan}} = 1,269 \frac{\text{kg}}{\text{L}} = 79,222 \text{ lbm/cuft}$$

Volume tangki = Volume *shell* + volume konis

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H + \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Dn^2 \cdot H_n \right)$$

$$H_n = \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$H_k = \frac{D}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - H_n = \frac{D}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{D - Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\frac{H}{D} = 1 \quad (\text{Ulrich, 1984, p-433})$$

$$D_{\text{nozzle}} (Dn) = 8 \text{ inc} = 0,2032 \text{ m} = 0,6667 \text{ ft} \quad (\text{Brownell, 1959, p. 96})$$

$$\text{sudut konis} = 60^\circ$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } \alpha} \cdot (D^3 - Dn^3)$$

$$1,2 \cdot 46,628 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } \alpha} \cdot (D^3 - 0,2032^3)$$

$$D = 3,81 \text{ m} = 150 \text{ in}$$

$$H = 3,81 \text{ m}$$

$$H_k = 3,13 \text{ m}$$

$$H_T = H + H_k = 6,94 \text{ m} = 22,754 \text{ ft} = 273,049 \text{ in}$$

$$\text{Volume bahan dalam konis} = \text{volume konis} = \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } \alpha} \cdot (D^3 - Dn^3) = 12,539 \text{ m}^3$$

Volume bahan dalam *shell* = volume bahan – volume bahan dalam konis

$$\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_1 = 34,089 \text{ m}^3$$

$$H_l = 2,992 \text{ m}$$

Tinggi bahan dalam tangki = $H_{l \text{ tot}} = H_l + H_k = 6,12 \text{ m} = 20,069 \text{ ft}$

$$P_{\text{hid}} = (\rho \times H_{l \text{ tot}}) / 144 \quad (\text{Brownell, pers 3.17})$$

$$= (79,222 \times 20,069) / 144 = 11,041 \text{ psi}$$

$$P_{\text{des}} = 1,25 \cdot P_{\text{hid}} = 13,801 \text{ psi}$$

Bahan konstruksi dipilih *stainless steel SA-167 Grade A*

$$f = 18750 \text{ psi} \quad (\text{Brownell, hal 342})$$

Tebal dinding tangki

$$t = \frac{P.D}{2.f.E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

$$E = 0,8 \text{ (double welded butt join)}$$

$$t = \frac{13,801.150}{2.18750.0,8} + 0,125 = 0,194 \text{ in} \approx 1/4 \text{ in}$$

Tebal tutup atas, *flat*

$$t = \frac{P.D}{2.f.E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

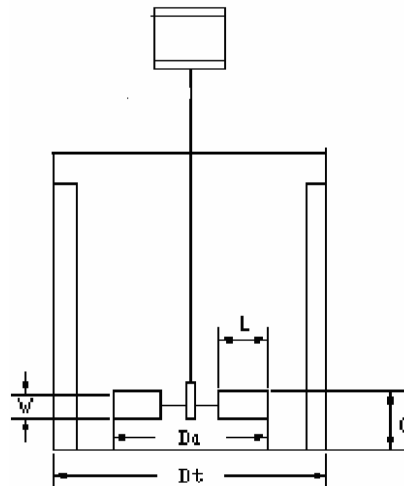
$$t = \frac{13,801.150}{2.18750.0,8} + 0,125 = 0,194 \text{ in} \approx 1/4 \text{ in}$$

Tebal tutup bawah, konis

$$t = \frac{P.D}{2.\cos \alpha (f.E - 0,6.P)} + 0,125 \quad (\text{Brownell, pers 6.154})$$

$$t = \frac{13,801.150}{2.\cos 30.(18750.0,8 - 0,6.13,801)} + 0,125 = 0,205 \text{ in} \approx 1/4 \text{ in}$$

Pengaduk : *six flat blade turbine with disk*



Dari Geankoplis 3rd ed, hal 144 :

D_a = Diameter agitator = $0,3 \cdot D_t = 1,143$ m

C = Jarak dasar tangki dengan pengaduk = $\frac{D_t}{3} = 1,27$ m

L = Panjang *blade* = $\frac{D_a}{4} = 0,286$ m

W = Lebar *blade* = $\frac{D_a}{5} = 0,229$ m

J = Lebar *baffle* = $\frac{D_t}{12} = 0,318$ m

N = 60 rpm = 1 rps

(Geankoplis 3rded, hal 141)

$\mu_{\text{campuran}} = 0,324 \cdot \rho_{\text{campuran}}^{0,5}$

(Perry 5thed p.3-246)

$\mu_{\text{campuran}} = 0,365$ cp = $0,365 \cdot 10^{-3}$ kg/m.s

$$N_{\text{Re}} = \frac{D_a^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} = \frac{1,143^2 \cdot 1 \cdot 1269}{0,365 \cdot 10^{-3}}$$

$N_{\text{Re}} = 2,54 \cdot 10^6$ (turbulen)

$N_p = 5$

(Geankoplis 3rded fig 3.4-4)

$S_g = 1,269$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{sg.H}{D} = 2,369 \approx 2 \text{ impeller}$$

$$P = \rho \cdot N_p \cdot N^3 \cdot Da^5 = 1269 \cdot 5 \cdot 1^3 \cdot 1,143^5$$

$$P = 12377,86 \text{ W} = 16,599 \text{ hp}$$

$$P = 2 \cdot 16,599 = 33,198 \text{ hp}$$

$$\eta = 80 \%$$

$$\text{Power motor} = \frac{33,198 \text{ hp}}{0,8} = 41,497 \text{ hp} = 42 \text{ hp}$$

Jaket pendingin

$$\text{Massa air pendingin} = 227076,34 \text{ kg}$$

$$\text{Volume air pendingin} = \frac{227076,34 \text{ kg}}{1 \text{ kg / L}} = 227076,34 \text{ L}$$

$$\text{Waktu operasi} = 1 \text{ jam}$$

$$\text{Rate volumetrik air pendingin} = 227,076 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,063 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Kecepatan air pendingin ditetapkan} 1 \text{ ft/s} = 0,305 \text{ m/s}$$

$$L \text{ air pendingin} = \pi \cdot (D_{\text{jaket}}^2 - (D_{\text{shell}} + ts)^2)$$

$$\frac{0,063}{0,305} \text{ m}^2 = \pi \cdot (D_{\text{jaket}}^2 - 3,82^2)$$

$$D_{\text{jaket}} = 3,84 \text{ m}$$

$$\text{Space jaket} = D_{\text{jaket}} - (D_{\text{shell}} + ts) = 0,034 \text{ m}$$

$$U_D = 200 \text{ Btu/jam.ft}^2 \cdot F \quad (\text{Tabel 8, Kern, 1965})$$

$$T \text{ air pendingin masuk} = T_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 86 \text{ F}$$

$$T \text{ air pendingin keluar} = T_2 = 45 \text{ }^\circ\text{C} = 113 \text{ F}$$

$$Q = 3515050,6 \text{ kkal/jam} = 1394026 \text{ Btu/jam}$$

$$A = \frac{Q}{U_D \cdot (T_2 - T_1)} = \frac{1394026}{200 \cdot (113 - 86)} = 258,153 \text{ ft}^2 = 23,984 \text{ m}^2$$

$$A = \pi \cdot (D_{shell} + t_s) \cdot H_{jaket}$$

$$H_{jaket} = \frac{23,984}{\pi 3,82} = 2 \text{ m}$$

Spesifikasi

- Bejana

Volume yang ditampung	: 46627,858 L
Volume tangki	: 55953,43 L
Diameter tangki	: 150 in
Tinggi tangki	: 273,049 in
Bahan	: <i>stainless steel SA-167 Grade A</i>
Tebal dinding tangki	: 1/4 in
Tebal tutup atas	: 1/4 in
Tebal tutup bawah	: 1/4 in

- Pengaduk

Jenis pengaduk	: <i>six flat blade turbine with disk</i>
Diameter pengaduk	: 1,143 m
Jarak dari dasar tangki	: 1,27 m
Kecepatan pengaduk	: 1 rps
Jumlah <i>impeller</i>	: 1
Lebar <i>blade</i>	: 0,229 m
Panjang <i>blade</i>	: 0,286 m
Power pengaduk	: 42 hp

- *Baffle*

Jumlah <i>baffle</i>	: 4 buah
----------------------	----------

Lebar *baffle* : 0,317 m

- Jaket pendingin

Tinggi jaket : 2 m

Space jaket : 0,034 m

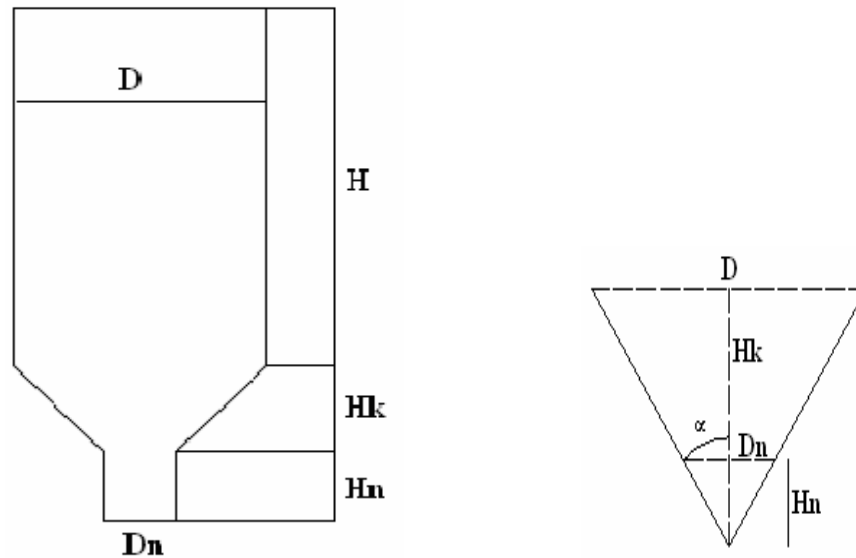
10. Tangki Penampung NaOH 5 N (F-412)

Fungsi : untuk menampung larutan NaOH 5 N

Type : tangki berbentuk silinder dengan bagian atas berbentuk *flat* dan bagian bawah berbentuk *conical dished head* dari bahan konstruksi *carbon steel SA-240 Grade A* dan dilengkapi dengan pengaduk dan penyangga

Dasar pemilihan :

- Atap berbentuk *flat* karena tangki tersebut hanya berfungsi sebagai penyimpan saja dan tidak menggunakan tekanan tinggi.
- Bagian bawah berbentuk *conical dished head* untuk mempermudah pengeluaran bahan.
- Bahan konstruksi yang digunakan adalah *carbon steel SA-283 Grade C* karena jenis ini biasa digunakan dan baik untuk suhu operasi antara -20 °F sampai 650 °F.
- Pengaduk menggunakan *type six flat blade turbine with disk* karena pengaduk ini dapat menyapu seluruh padatan yang berada di dasar tangki.



Keterangan:

D = diameter *shell*

H = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Hs = tinggi *shell*

Dn = diameter *nozzle*

Massa bahan yang ditampung = 19278,49 kg

Waktu tinggal = 1 hari

$\rho_{\text{NaOH } 5 \text{ N}} = 1,1738 \text{ kg/L} = 73,281 \text{ lbm/cuft}$

$$\text{Volume bahan} = \frac{19278,49 \text{ kg}}{1,1738 \text{ kg/L}} = 16424 \text{ L} = 16,424 \text{ m}^3$$

Volume tangki = Volume *shell* + volume konis

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H + \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_n^2 \cdot H_n \right)$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$H_k = \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{D - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\frac{H}{D} = 1 \quad (\text{Ulrich, 1984, p-433})$$

$$D_{\text{nozzle}} (D_n) = 8 \text{ inc} = 0,2032 \text{ m} = 0,6667 \text{ ft} \quad (\text{Brownell, 1959, p. 96})$$

$$\text{sudut konis} = 60^\circ$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3)$$

$$1,2 \cdot 16,424 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - 0,2032^3)$$

$$D = 2,69 \text{ m} = 105,936 \text{ in}$$

$$H = 2,69 \text{ m}$$

$$H_k = 2,16 \text{ m}$$

$$H_T = H + H_k = 4,85 \text{ m} = 15,9 \text{ ft} = 190,802 \text{ in}$$

$$\text{Volume bahan dalam konis} = \text{volume konis} = \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3) = 4,416 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bahan dalam shell} = \text{volume bahan} - \text{volume bahan dalam konis}$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_1 = 12,008 \text{ m}^3$$

$$H_1 = 2,11 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bahan dalam tangki} = H_{1 \text{ tot}} = H_1 + H_k = 4,27 \text{ m} = 14,003 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hid}} = (\rho \times H_{1 \text{ tot}}) / 144 \quad (\text{Brownell, pers 3.17})$$

$$= (73,281 \times 14,003) / 144 = 7,127 \text{ psi}$$

$$P_{\text{des}} = 1,25 \cdot P_{\text{hid}} = 8,908 \text{ psi}$$

Bahan konstruksi dipilih *carbon steel SA-240 Grade A*

$$f = 13400 \text{ psi}$$

(Brownell, hal 342)

Tebal dinding tangki

$$t = \frac{P_{des} \cdot D}{2 \cdot f \cdot E} + c$$

(Brownell, pers 3.16)

$E = 0,8$ (*double welded butt join*)

$$t = \frac{8,908 \cdot 105,936}{2 \cdot 13400 \cdot 0,8} + 0,125 = 0,169 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup atas, *flat*

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot f \cdot E} + c$$

(Brownell, pers 3.16)

$$t = \frac{8,908 \cdot 105,936}{2 \cdot 13400 \cdot 0,8} + 0,125 = 0,169 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

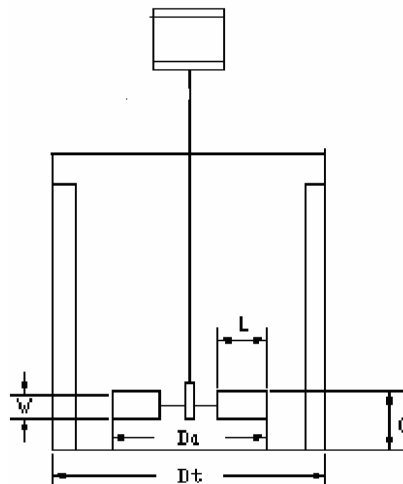
Tebal tutup bawah, konis

$$t = \frac{P \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha (f \cdot E - 0,6 \cdot P)} + 0,125$$

(Brownell, pers 6.154)

$$t = \frac{8,908 \cdot 105,936}{2 \cdot \cos 30 \cdot (13400 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 8,908)} + 0,125 = 0,176 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Pengaduk : *six flat blade turbine with disk*



Dari Geankoplis 3rd ed, hal 144 :

$$Da = \text{Diameter agitator} = 0,3 \cdot Dt = 0,807 \text{ m}$$

$$C = \text{Jarak dasar tangki dengan pengaduk} = \frac{Dt}{3} = 0,897 \text{ m}$$

$$L = \text{Panjang blade} = \frac{Da}{4} = 0,202 \text{ m}$$

$$W = \text{Lebar blade} = \frac{Da}{5} = 0,161 \text{ m}$$

$$J = \text{Lebar baffle} = \frac{Dt}{12} = 0,224 \text{ m}$$

$$N = 60 \text{ rpm} = 1 \text{ rps} \quad (\text{Geankoplis 3rd ed, hal 141})$$

$$\mu_{\text{NaOH 5N}} = 0,324 \cdot \rho_{\text{NaOH 5N}}^{0,5} \quad (\text{Perry 5th ed p.3-246})$$

$$\mu_{\text{NaOH 5N}} = 0,351 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.s}$$

$$N_{\text{Re}} = \frac{Da^2 \cdot N \cdot \rho}{\mu} = \frac{0,807^2 \cdot 1 \cdot 1173,8}{0,351 \cdot 10^{-3}}$$

$$N_{\text{Re}} = 2,18 \cdot 10^6 \text{ (turbulen)}$$

$$N_p = 5 \quad (\text{Geankoplis 3rd ed fig 3.4-4})$$

$$S_g = 1,1738$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{sg \cdot H}{D} = 2,19 \approx 2 \text{ impeller}$$

$$P = \rho \cdot N_p \cdot N^3 \cdot Da^5 = 1173,8 \cdot 5 \cdot 1,667^3 \cdot 0,807^5$$

$$P = 2011,651 \text{ W} = 2,698 \text{ hp}$$

$$P = 2 \cdot 2,698 = 5,396 \text{ hp}$$

$$\eta = 80 \%$$

$$\text{Power motor} = \frac{5,396}{0,8} = 6,74 \text{ hp} = 7 \text{ hp}$$

Spesifikasi :

- Bejana

Volume yang ditampung	: 16424 L
Volume tangki	: 19708,8 L
Diameter tangki	: 105,936 in
Tinggi tangki	: 190,802 in
Bahan	: <i>carbon steel SA-240 Grade A</i>
Tebal dinding tangki	: 3/16 in
Tebal tutup atas	: 3/16 in
Tebal tutup bawah	: 3/16 in

- Pengaduk

Jenis pengaduk	: <i>six flat blade turbine with disk</i>
Diameter pengaduk	: 0,807 m
Jarak dari dasar tangki	: 0,897 m
Kecepatan pengaduk	: 1 rps
Jumlah <i>impeller</i>	: 2
Lebar <i>blade</i>	: 0,161 m
Panjang <i>blade</i>	: 0,224 m
Power pengaduk	: 7 hp

- *Baffle*

Jumlah <i>baffle</i>	: 4 buah
Lebar <i>baffle</i>	: 0,224 m

11. Tangki Evaporator (V-510)

Fungsi : untuk menguapkan air pada larutan *feed*, sehingga dipeloreh larutan pekat

Tipe : *Vertical tube evaporator single effect*

Dasar pemilihan : memiliki nilai U yang besar sehingga proses penguapan dapat

lebih cepat

Kondisi operasi : $T = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

$P = 31,63\text{ mmHg}$

Sistem operasi : batch

Jumlah : 1 buah

T_F : $30\text{ }^{\circ}\text{C}$

T_s : $150\text{ }^{\circ}\text{C}$

T_o : $30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Dari Appendix Neraca Massa, diperoleh :

F : 59169,82 kg/hari

V : 54204,84 kg/hari

Dari Appendix Neraca Panas, diperoleh :

S : 32409,54 kg/hari

Q : 21476739,42 kkal/hari

$V/S = 1,672$

Dari nilai V/S ini, maka tipe *effect* yang cocok adalah *single effect*

Dari Ulrich, figure 4-4, p.102, diperoleh $U = 200\text{ Btu/hr.ft}^2.F$

$\Delta T = T_s - T_o = 302^{\circ}\text{F} - 86^{\circ}\text{K} = 216^{\circ}\text{F}$

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T} = \frac{25252314\text{ Btu} / h}{200\text{ Btu} / \text{ft}^2 h \cdot ^{\circ}\text{F} \cdot 216^{\circ}\text{F}} = 584,54\text{ ft}^2$$

Pengecekan Rd dan Evaluasi *Pressure drop*

Panas yang ditransfer = $Q = 25252314 \text{ Btu/h}$

Dipilih pipa dengan ukuran $\frac{3}{4}$ in OD, 1 in triangular pitch, *baffle space* 12 in, 1

passes dengan ID *shell* $13 \frac{1}{4}$ in, jumlah *tube* = 109, 18 BWG (Kern, tabel 9, p.842)

Panjang pipa =

$$L = \frac{A}{N \cdot \pi \cdot ID/12} = \frac{584,54 \text{ ft}^2}{109 \cdot \pi \cdot (0,75/12)} = 27,33 \text{ ft} = 327,96 \text{ in}$$

Pada fluida panas : *shell side*

$$a_s = \frac{ID \cdot C' \cdot B}{144 \cdot Pt} = \frac{13,25 \cdot 0,25 \cdot 12}{144 \cdot 1} = 0,2760 \text{ ft}^2 \quad (\text{Kern, pers.7.1, p.138})$$

$$G_s = \frac{W}{a_s} = \frac{2648,06 \text{ lb/h}}{0,276 \text{ ft}^2} = 9594,43 \text{ lb/h} \cdot \text{ft}^2 \quad (\text{Kern, pers.7.2, p.138})$$

Pada $T_s = 302^\circ\text{F}$

$\mu_{\text{steam}} = 0,015 \text{ lb/h} \cdot \text{ft}$ (Kern, fig 15. p.825)

$De = 4a_s / \text{wetted perimeter}$

$$= 4 \cdot 0,2760 / (109 \cdot \pi \cdot 0,75/12)$$

$$= 0,052 \text{ ft}$$

$Re_s = De \cdot G_s / \mu_{\text{steam}}$

$$= 0,052 \cdot 9594,43 / 0,015$$

$$= 33260,68$$

Untuk *steam* terkondensasi $h_o = 1500 \text{ Btu/h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$ (Geankoplis, 1997)

Pada fluida dingin : *tube side*

Flow area , $a_t' = 0,334 \text{ in}^2$ (Kern, tabel 10, p.843)

$$at = \frac{Nt.at'}{144.n} = \frac{109.0,334}{144.1} = 0,2528 \text{ ft}^2 \text{ (Kern, pers 7.48, p.158)}$$

$$Gt = \frac{w}{at} = \frac{43481,931 \text{ lb/h}}{0,2528 \text{ ft}^2} = 172001,31 \text{ lb/h.ft}^2 \text{ (Kern, pers. 7.2, p.138)}$$

$$V = Gt/(3600.\rho) = 172001,31 \text{ lb/h.ft}^2 / (3600.57,16/\text{ft}^3) = 0,084 \text{ fps}$$

Pada $T_1 = 30^\circ\text{C}$,

$$\mu = 0,8496 \text{ lb/ft.h}$$

$$D = 0,652/12 = 0,0543 \text{ ft (Kern, tabel 10, p.843)}$$

$$Re_t = Gt.D/\mu = 172001,31.0,0543/0,8496 = 10993,02$$

Untuk : ID = 0,625 in, $f = 1$

$$V = 0,084 \text{ fps, } T=86^\circ\text{F} \rightarrow h_i = 350 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F} \text{ (Kern, fig 25, p.835)}$$

$$h_{io} = h_i.ID/OD$$

$$= 350.0,652/0,75$$

$$= 304,2667 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}$$

$$Uc = \frac{h_{io}.h_i}{h_{io} + h_i} = \frac{304,2667.1500}{304,2667 + 1500} = 252,9559 \text{ btu / hft}^2.\text{°F} \text{ (Kern, pers.6.38, p.121)}$$

$$Ud = \frac{Q}{A\Delta T} = \frac{25252314 \text{ Btu/h}}{584,54 \text{ ft}^2.216^\circ\text{F}} = 200 \text{ Btu/h.ft}^2.\text{°F}$$

$$Rd \text{ minimum} = 0,001 \text{ h.ft.}^\circ\text{F/Btu (Kern, tabel 12,p.845)}$$

$$Rd = \frac{Uc - Ud}{UcUd} = \frac{252,9559 - 200}{259,9559.200} = 0,001 \text{ h.ft}^2.\text{°F/Btu}=0,001$$

Memenuhi syarat perpindahan panas.

Evaluasi *Pressure drop* :

Fluida panas : *shell side, steam*

Untuk $Re_s = 33260,68$, $f = 0,0015 \text{ ft}^2/\text{in}^2$ (Kern, fig 29,p.839)

Number of crosses, $N+1 = 12L/B$

$$= 12.(327,96 \text{ in}/12\text{in})$$

$$= 327,96 \text{ (Kern, pers 7.43, p.147)}$$

$$D_s = 13,25/12 = 1,1042 \text{ ft}$$

spesifik volum *steam* $v = 13,746$ (Kern, tabel7,p.816)

$$s = (1/13,746)/62,5 = 0,0012$$

$$\Delta P_s = \frac{f . G_s^2 . D_s . (N + 1)}{5,22 . 10^{10} . D_e . s . \theta_s} = \frac{0,0015 . 9594,43^2 . 1,1042 . 327,96}{5,22 . 10^{10} . 0,052 . 0,0012 . 1} = 1,9 < 2 \text{ psi}$$

(Kern, pers 7.44, p.147)

Allowable $\Delta P_s = 2 \text{ psi}$

Fluida dingin : *tube side*

Untuk $Re_t = 1374,13$, $f = 0,0004 \text{ ft}^2/\text{in}^2$ (Kern, fig 26, p.836)

$$\Delta P_t = \frac{f . G_t^2 . L . n}{5,22 . 10^{10} . D_s . \theta_t} = \frac{0,0004 . 172001,31^2 . (327,96/12) . 1}{5,22 . 10^{10} . 0,0543 . 1 . 1} = 0,11 \text{ psi}$$

(Kern, pers.7.45,p.148)

$$s = 0,0012$$

$$\Delta P_r = \frac{4 . n V^2}{s . 2 g'} = \frac{4 . 1 . 0,084^2}{0,0012 . 2 . 32,17} = 0,36 \text{ psi (Kern, pers 7.46,p.148)}$$

$$\Delta P_T = \Delta P_t + \Delta P_r \text{ (Kern, pers 7.47, p.148)}$$

$$= 0,36 + 0,11$$

$$= 0,47 \text{ psi} < 10 \text{ psi}$$

$$\text{Allowable } \Delta P_T = 10 \text{ psi}$$

Perhitungan Diameter & Tinggi Evaporator

$$\text{Massa} = 43481,93 \text{ lb/hr}$$

$$\rho = 57,16 \text{ lbm/ft}^3$$

$$\text{Waktu tinggal} : 1 \text{ jam}$$

$$\text{Volume larutan} : \frac{\text{massa}}{\text{densitas}_{\text{larutan}}} = \frac{43481,93 \text{ lb/hr}}{57,16 \text{ lb/ft}^3} = 760,71 \text{ ft}^3$$

$$\text{Diambil : tinggi shells (Hs)} = 1,5. \text{ Diameter shell (ID)}$$

$$\text{Volume shell} = (\pi/4) \cdot \text{ID}^2 \cdot \text{Hs} = (\pi/4) \cdot \text{ID}^2 \cdot 1,5 \cdot \text{ID} = (\pi/4) \cdot 1,5 \cdot \text{ID}^3$$

$$\text{Volume torispherical dished head (cuft)} = 0,000049 \cdot \text{ID}^3 \text{ (in)}$$

$$\text{Volume konis} = \pi \cdot D^3 / 24 \cdot \tan 45$$

$$\text{(Brownell \& Young, pers 5.11, p.88)}$$

$$\text{Volume tangki} = \text{vol. shell} + \text{vol. dished head} + \text{vol konis}$$

$$\text{Diambil volume tangki} = 1,1 \cdot \text{volume larutan total}$$

$$1,1 \cdot 760,71 \text{ ft}^3 = 1,3314 \cdot \text{ID}^3$$

$$\text{ID} = 8,5637 \text{ ft} = 2,61 \text{ m} = 3 \text{ m}$$

$$\text{H} = 1,5 \text{ D} = 1,5 \cdot 8,5637 \text{ ft} = 12,8455 = 3,92 \text{ m} = 4 \text{ m}$$

$$\rho_{\text{campuran}} = 915,75 \text{ kg/m}^3 = 57,17 \text{ lbm/cuft}$$

$$P_{\text{hid}} = \frac{\rho \cdot H}{144} = \frac{57,17 \text{ lbm/cuft} \cdot 12,8455 \text{ ft}}{144} = 5,21 \text{ psi}$$

$$P_{\text{des}} = 1,25 \cdot P_{\text{hid}} = 6,25 \text{ psi}$$

Bahan konstruksi dipilih *carbon steel SA-240 grade A*

$$f = 13400 \text{ psi} \quad \text{(Brownell, hal 342)}$$

$E = 0,8$ (double welded butt join)

Tebal dinding tangki

$$t = \frac{P.D}{2.f.E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

$$t = \frac{6,25.102,77}{2.13400.0,8} + 0,125 = 0,155 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup atas, *dished head*

$R_c = ID = 102,77 \text{ in}$

$$t = \frac{0,885.P.R_c}{f.E - 0,1.P} + C \quad (\text{Brownell, pers 13.12})$$

$$t = \frac{0,885.6,25.102,77}{13400.0,8 - 0,1.6,25} + 0,125 = 0,178 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Dari *table 5.6 Brownell* :

$sf = 2,5 \text{ in} = 0,0635 \text{ m}$

$icr = 1,3125 \text{ in} = 0,038 \text{ m}$

$$ri = a = \frac{ID}{2} = 1,5m = 51,385in$$

$BC = ri - icr = 50,0725 \text{ in} = 1,27 \text{ m}$ (Brownell, p.87)

$AB = a - icr = 50,0725 \text{ in} = 1,27 \text{ m}$

$$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 1,5 - \sqrt{1,967^2 - 1,967^2} = 1,5m$$

$OA = t + b + sf = 1,876 \text{ m}$

$OD = ID + 2 \cdot t = 3,625 \text{ m}$

Barometric condensor

Fungsi : mengembunkan uap air dari evaporator

Tipe : *counter current condenser*

Dasar pemilihan : operasi mudah

Perhitungan

Laju massa uap masuk : 18068,28 kg/jam = 39833,33 lb/jam

Suhu uap masuk : 100°C = 212°F

Suhu air pendingin : 30°C = 86°F

Non condensable gas tidak melebihi 1% dari total uap air yang akan dikondensasi (Ludwig, hal 211).

Waktu operasi 3 jam, sehingga Laju massa uap masuk 39833,33 lb/jam

Jadi laju uap yang akan dikondensasi = 0,99 x 39833,33 lb/jam = 39440 lb/jam

Non condensable gas = 39833,33 lb/jam – 39440 lb/jam = 398,33 lb/jam

Temperature uap jenuh pada 42,17 kPa (dari neraca panas) = 30°C = 86°C

Terminal difference = 5°F

Temperature air keluar barometrik kondenser = 212°F - 5°F = 207°F

Kenaikan suhu air = 207°F - 86°F = 121°F

Temperature udara (*non condensable gas*) meninggalkan barometrik kondenser = 86°F + 5°F = 91°F

gpm air pendingin yang dibutuhkan :

$$gpm = \frac{Ws.L}{Tw.500} \text{ (Ludwig, hal 211)}$$

Di mana Ws = jumlah uap yang dikondensasi (lb)

$$L = \text{panas latent penguapan pada } T_{\text{sat}} = 121^\circ\text{F} = 971,56 \text{ Btu/lb}$$

(Geankoplis1993)

$$gpm = \frac{39440.971,56}{121.500} = 633,36 \text{ gpm}$$

Tinggi barometric condenser

P_a = tekanan pada permukaan liquid dalam kaki barometer

P_b = tekanan pada permukaan liquid

P_h = tekanan hidrostatik

$$P_A = P_B$$

$$P_h + P_a = P_b$$

$$P_{\text{etanol}} \cdot H_{\text{etanol}} \cdot g + 42,17 \text{ kPa} = 101,325 \text{ kPa}$$

$$h_{\text{air}} = \frac{(101,325 - 42,17)}{(0,792 \cdot 9,8)} = 7,6 \text{ m}$$

Pada keadaan ideal : $P_a = 0$

Hot Well

Fungsi : untuk menampung kondensasi dari barometrik kondensor

Perhitungan

Laju massa = 39440 lb/jam = 17889,59 kg/jam

Waktu tinggal = 10 menit

Kapasitas = 17889,59.10/60 = 2981,60 kg

$\rho_{\text{etanol } 96\%} = 792 \text{ kg/m}^3$

Volume etanol = $\frac{2981,60 \text{ kg}}{792 \text{ kg/m}^3} = 3,77 \text{ m}^3$

Volume etanol = 80% dari volume hot well

Volume hot well = $\frac{3,77 \text{ m}^3}{0,8} = 4,7125 \text{ m}^3$

Bentuk = Persegi

Ukuran = p : 2 m, l : 1 m, t = 2,36 m

Steam Jet Ejector

Fungsi : untuk memvakumkan evaporator

Tipe : *Single stage steam ejector*

Dasar pemilihan : kondisi vakum cukup besar

Perhitungan :

Tekanan masuk *ejector* = P operasi 42,17 kPa

Uap yang masuk (*non condensable gas*) = 1194 lb/jam

Dari fig 7.31, Walas hal 165 didapat :

Kebutuhan *steam* = 1,5 lb/lb gas

Jadi kebutuhan *steam* = 1,5 . 398,33lb/jam = 597,50 lb/jam

Konsumsi air = 0,06 x 597,5 lb/jam = 358,50 gpm

Spesifikasi

Kapasitas : 19723,27 kg/jam

Tebal dinding : 0,31 in

Tebal *dished head* : 0,3125 in

Tinggi : 4 m

Diameter : 3 m

Luas perpindahan panas : 584,54 ft²

Jumlah *tube* : 109 *tube*

Bahan konstruksi : *Carbon steel SA-240 grade A*

Jumlah : 1 buah evaporator dengan dilengkapi barometric condensor, hot well dan *steam jet ejector*.

12. Plate and Frame Filter Press (H-610)

Fungsi : memisahkan kristal NaCl dari larutan

Dasar pemilihan :

- Cocok untuk memisahkan padatan dari larutan.
- Penggunaannya sederhana

Waktu untuk siklus operasi ditetapkan 1 jam.

Untuk waktu pembersihan = waktu pembongkaran + pengambilan *cake* + pencucian

$$Plate\ and\ Frame + pemasangan = 1\ jam.$$

Densitas *cake* : $2165\ kg/m^3$

Massa *cake* yang akan disaring selama 1 jam = 4793,62 kg (Appendix A)

Volume *cake* yang akan disaring = massa / $\rho = 2,214\ m^3 = 78,19\ ft^3$

Dari Perry 7th ed tabel 19-17:

- Ukuran *Plate and Frame* = 30 x 30 in
- Luas efektif = $10,5\ ft^2$
- Kapasitas *cake* = $0,44\ ft^3 / \text{tebal}$

Dari Perry 7th ed hal. 19-66 = tebal *frame* = 0,125-8 in, ditetapkan tebal = 8 in.

Volume *cake* tiap *frame* = $0,44 \cdot 8 = 3,52\ ft^3$

Jumlah *frame* = $V\ cake / V\ cake\ \text{tiap}\ frame = 21,97 = 22\ frame.$

Jumlah *Plate and Frame* = $(22 \cdot 2) - 1 = 43$

Berdasarkan Ulrich 1984 tabel 4-23, panjang *Plate and Frame* filter press berkisar antara 0,5 – 20 m

Panjang alat = (jumlah *Plate and Frame* x tebal *frame*) + spasi penambahan *frame*
 $= (43 \cdot 1) + 12\ in = 55\ in = 1,397\ m\ (\text{memenuhi})$

Spesifikasi : Tebal tiap *frame/ plate* = 8 in

Jumlah *Plate and Frame* = 43

Panjang alat = 1,397 m

Bahan konstruksi = *carbon steel*

Jumlah 1 buah

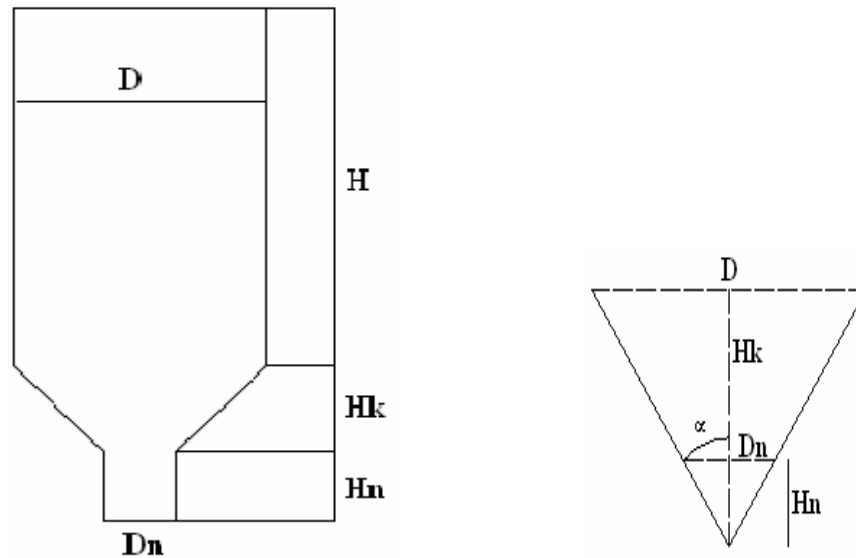
13. Tangki Penampung I (F-513)

Fungsi : untuk menampung *slurry* dari evaporator

Type : tangki berbentuk silinder dengan bagian atas berbentuk *flat* dan bagian bawah berbentuk *conical dished head* dari bahan konstruksi *carbon steel SA-240 Grade A* dan dilengkapi penyangga

Dasar pemilihan :

- Atap berbentuk *flat* karena tangki tersebut hanya berfungsi sebagai penyimpan saja dan tidak menggunakan tekanan tinggi.
- Bagian bawah berbentuk *conical dished head* untuk mempermudah pengeluaran bahan.
- Bahan konstruksi yang digunakan adalah *carbon steel SA-240 Grade A* karena jenis ini biasa digunakan dan baik untuk suhu operasi antara -20 °F sampai 650 °F.



Keterangan:

D = diameter *shell*

H = tinggi *shell*

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi *nozzle*

Hs = tinggi *shell*

Dn = diameter *nozzle*

Massa bahan yang ditampung = 4964,98 kg

Waktu tinggal = 1 hari

$\rho_{slurry} = 2,084 \text{ kg/L} = 130,089 \text{ lbm/cuft}$

Volume bahan = $\frac{4964,98}{130,089} = 2382,702 \text{ L} = 2,383 \text{ m}^3$

Volume tangki = Volume *shell* + volume konis

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H + \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D_n^2 \cdot H_n \right)$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$H_k = \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - H_n = \frac{D}{2 \cdot \tan \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{D - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$\frac{H}{D} = 1 \quad (\text{Ulrich, 1984, p-433})$$

$$D_{\text{nozzle}} (D_n) = 8 \text{ in} = 0,2032 \text{ m} = 0,6667 \text{ ft} \quad (\text{Brownell, 1959, p. 96})$$

$$\text{sudut konis} = 60^\circ$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3)$$

$$1,2 \cdot 2,383 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - 0,2032^3)$$

$$D = 1,41 \text{ m} = 55,674 \text{ in}$$

$$H = 1,41 \text{ m}$$

$$H_k = 1,05 \text{ m}$$

$$H_T = H + H_k = 2,46 \text{ m} = 8,082 \text{ ft} = 96,987 \text{ in}$$

$$\text{Volume bahan dalam konis} = \text{volume konis} = \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3) = 0,639 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bahan dalam shell} = \text{volume bahan} - \text{volume bahan dalam konis}$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H_l = 1,743 \text{ m}^3$$

$$H_l = 1,11 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bahan dalam tangki} = H_{l \text{ tot}} = H_l + H_k = 2,16 \text{ m} = 7,086 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hid}} = (\rho \times H_{l \text{ tot}}) / 144 \quad (\text{Brownell, pers 3.17})$$

$$= (130,089 \times 7,086) / 144 = 6,402 \text{ psi}$$

$$P_{\text{des}} = 1,25 \cdot P_{\text{hid}} = 8 \text{ psi}$$

Bahan konstruksi dipilih *carbon steel SA-240 Grade A*

$f = 13400 \text{ psi}$ (Brownell, hal 342)

Tebal dinding tangki

$$t = \frac{P_{des} \cdot D}{2 \cdot f \cdot E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

$E = 0,8$ (*double welded butt join*)

$$t = \frac{8.55,674}{2 \cdot 13400 \cdot 0,8} + 0,125 = 0,146 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup atas, *flat*

$$t = \frac{P_{des} \cdot D}{2 \cdot f \cdot E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

$$t = \frac{8.55,674}{2 \cdot 13400 \cdot 0,8} + 0,125 = 0,146 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Tebal tutup bawah, konis

$$t = \frac{P_{des} \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha (f \cdot E - 0,6 \cdot P_{des})} + 0,125 \quad (\text{Brownell, pers 6.154})$$

$$t = \frac{8.55,674}{2 \cdot \cos 30 \cdot (13400 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 8)} + 0,125 = 0,149 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Spesifikasi :

Volume yang ditampung : 38611,25 L

Volume tangki : 46333,56 L

Diameter tangki : 140,857 in

Tinggi tangki : 255,986 in

Bahan : *carbon steel SA-240 Grade A*

Tebal dinding tangki : 3/16 in

Tebal tutup atas : 3/16 in

Tebal tutup bawah : 3/16 in

14. Tangki Evaporator Kristalizer (V-520)

Fungsi : memekatkan larutan dan membentuk kristal NaCl

Tipe : tangki berpengaduk dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup berbentuk *flat*, yang dilengkapi dengan jaket sebagai media pemanas dan pendingin dan *baffle*.

Dasar pemilihan :

- Cocok untuk evaporasi batch dan pembentukan kristal.
- Atap berbentuk *flat* berfungsi sebagai penutup dengan tekanan yang tidak terlalu tinggi.
- Bagian bawah berbentuk *conical dished head* untuk mempermudah pengeluaran bahan.
- Bahan konstruksi yang digunakan adalah *carbon steel SA-283 Grade C* karena jenis ini biasa digunakan dan baik untuk suhu operasi antara -20 °F sampai 650 °F.

Perhitungan pada appendix G.

Spesifikasi Alat :

Nama alat : Evaporator dan Kristalizer

Kapasitas : 377,78 lb

ID *shell* : 1,7708 ft

H *shell* : 1,2467 ft

ts : 3/16 in

Pengaduk : *propeller* agitator

Power : 1,5 Hp

Jaket : Pemanas dan pendingin

D_{jaket} : 2,2818 ft

H_{jaket} : 1,7716 ft

Jumlah : 1 buah

Bahan : *Carbon steel SA-240 grade C*

15. *Plate and Frame Filter Press (H-610)*

Fungsi : untuk memisahkan padatan NaCl dari filtrat yang keluar dari
evapotaor kristalizer

Dasar pemilihan :

- Cocok untuk memisahkan padatan dari larutan.
- Penggunaannya sederhana.

Waktu untuk siklus operasi ditetapkan 30 menit = $\frac{1}{2}$ jam.

Untuk waktu pembersihan = waktu pembongkaran + pengambilan *cake* + pencucian

Plate and Frame + pemsangan = 1 jam.

Densitas *cake* : 2165 kg/m³

Massa *cake* yang akan disaring = 44,20 kg

Volume *cake* yang akan disaring = massa / ρ = 0,0204 m³ = 0,72 ft³

Dari Perry 7th ed tabel 19-17:

- Ukuran *Plate and Frame* = 30 x 30 in
- Luas efektif = 10,5 ft²

- Kapasitas *cake* = 0,44 ft³/ tebal

Dari Perry 7th ed hal. 19-66 = tebal *frame* = 0,125-8 in, ditetapkan tebal = 1 in.

Volume *cake* tiap *frame* = 0,44 . 1 = 0,44 ft³

Jumlah *frame* = V *cake* / V *cake* tiap *frame* = 2 *frame*.

Jumlah *Plate and Frame* = (2.2) – 1 = 3

Panjang alat = (jumlah *Plate and Frame* x tebal *frame*)+spasi penambahan *frame*

$$= (3.1) + 12 \text{ in} = 15 \text{ in} = 0,381 \text{ m}$$

Spesifikasi : Tebal tiap *frame/ plate* = 1 in

Jumlah *Plate and Frame* = 3

Panjang alat = 0,381 m

Bahan konstruksi = metal

Jumlah 1 buah

16. Tangki Penampung II (F-712)

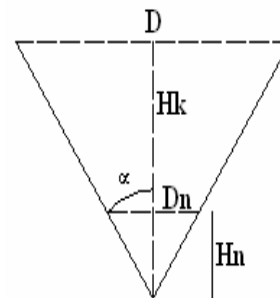
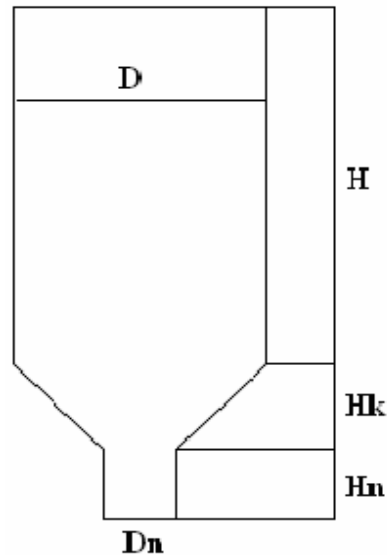
Fungsi : untuk menampung filtrat dari *Plate and Frame Filter Press*

Type : tangki berbentuk silinder dengan bagian atas berbentuk *flat* dan bagian bawah berbentuk *conical dished head* dari bahan konstruksi *carbon steel SA-240 Grade A* dan dilengkapi penyangga.

Dasar pemilihan :

- Atap berbentuk *flat* karena tangki tersebut hanya berfungsi sebagai penyimpan saja dan tidak menggunakan tekanan tinggi.
- Bagian bawah berbentuk *conical dished head* untuk mempermudah pengeluaran bahan.

- Bahan konstruksi yang digunakan adalah *carbon steel SA-240 Grade A* karena jenis ini biasa digunakan dan baik untuk suhu operasi antara $-20\text{ }^{\circ}\text{F}$ sampai $650\text{ }^{\circ}\text{F}$.



Keterangan:

D = diameter *shell*

H = tinggi *shell*

H_k = tinggi konis

H_n = tinggi *nozzle*

H_s = tinggi *shell*

D_n = diameter *nozzle*

Massa bahan yang ditampung = 38,54 kg

Waktu tinggal = 1 hari

Massa antosianin = 23,03 kg

Massa NaCl = 4,19 kg

Massa air = 11,32 kg

$$\rho \text{ antosianin} = 1 \text{ kg/L}$$

$$\rho \text{ NaCl} = 2,16 \text{ kg/L}$$

$$(\text{http://en.wikipedia.org/wiki/NaCl})$$

$$\rho \text{ air} = 1 \text{ kg/L}$$

$$\text{Volume antosianin} = \frac{23,03}{1} = 23,03 \text{ L}$$

$$\text{Volume NaCl} = \frac{4,19}{2,16} = 1,94 \text{ L}$$

$$\text{Volume air} = \frac{11,32}{1} = 11,32 \text{ L}$$

$$\text{Volume bahan} = 36,29 \text{ L} = 0,0363 \text{ m}^3$$

$$\rho \text{ bahan} = \frac{38,54}{0,0363} = 1062 \text{ kg/m}^3 = 66,301 \text{ lbm/cuft}$$

$$\text{Volume tangki} = \text{Volume shell} + \text{volume konis}$$

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot H + \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot (H_k + H_n) - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot Dn^2 \cdot H_n \right)$$

$$H_n = \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$H_k = \frac{D}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - H_n = \frac{D}{2 \cdot \text{tg } \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha} = \frac{D - Dn}{2 \cdot \text{tg } \alpha}$$

$$\frac{H}{D} = 1 \quad (\text{Ulrich, 1984, p-433})$$

$$D_{\text{nozzle}} (Dn) = 8 \text{ inc} = 0,2032 \text{ m} = 0,6667 \text{ ft} \quad (\text{Brownell, 1959, p. 96})$$

$$\text{sudut konis} = 60^\circ$$

$$\alpha = 30^\circ$$

$$1,2 \cdot \text{volume bahan} = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \text{tg } \alpha} \cdot (D^3 - Dn^3)$$

$$1,2 \cdot 0,0363 \text{ m}^3 = \frac{\pi}{4} \cdot D^3 + \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - 0,2032^3)$$

$$D = 0,35 \text{ m} = 13,995 \text{ in}$$

$$H = 0,35 \text{ m}$$

$$H_k = 0,13 \text{ m}$$

$$H_T = H + H_k = 0,48 \text{ m} = 1,599 \text{ ft} = 19,191 \text{ in}$$

$$\text{Volume bahan dalam konis} = \text{volume konis} = \frac{\pi}{24 \cdot \tan \alpha} \cdot (D^3 - D_n^3) = 0,008 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume bahan dalam shell} = \text{volume bahan} - \text{volume bahan dalam konis}$$

$$\frac{\pi}{4} \cdot D \cdot H_l = 0,028 \text{ m}^3$$

$$H_l = 0,28 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi bahan dalam tangki} = H_{l \text{ tot}} = H_l + H_k = 0,414 \text{ m} = 1,36 \text{ ft}$$

$$P_{\text{hid}} = (\rho \times H_{l \text{ tot}}) / 144 \quad (\text{Brownell, pers 3.17})$$

$$= (66,301 \times 1,36) / 144 = 0,626 \text{ psi}$$

$$P_{\text{des}} = 1,25 \cdot P_{\text{hid}} = 0,782 \text{ psi}$$

Bahan konstruksi dipilih *carbon steel SA-240 Grade A*

$$f = 13400 \text{ psi} \quad (\text{Brownell, hal 342})$$

Tebal dinding tangki

$$t = \frac{P_{\text{des}} \cdot D}{2 \cdot f \cdot E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

$$E = 0,8 \text{ (double welded butt join)}$$

$$t = \frac{0,782 \cdot 13,995}{2 \cdot 13400 \cdot 0,8} + 0,125 = 0,125 \text{ in} \approx 1/8 \text{ in}$$

Tebal tutup atas, *flat*

$$t = \frac{P_{des} \cdot D}{2 \cdot f \cdot E} + c \quad (\text{Brownell, pers 3.16})$$

$$t = \frac{0,782 \cdot 13,995}{2 \cdot 13400 \cdot 0,8} + 0,125 = 0,125 \text{ in} \approx 1/8 \text{ in}$$

Tebal tutup bawah, konis

$$t = \frac{P_{des} \cdot D}{2 \cdot \cos \alpha (f \cdot E - 0,6 \cdot P_{des})} + 0,125 \quad (\text{Brownell, pers 6.154})$$

$$t = \frac{0,782 \cdot 13,995}{2 \cdot \cos 30 \cdot (13400 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 0,782)} + 0,125 = 0,125 \text{ in} \approx 1/8 \text{ in}$$

Spesifikasi :

Volume yang ditampung	: 36,3 L
Volume tangki	: 43,55 L
Diameter tangki	: 13,995 in
Tinggi tangki	: 19,191 in
Bahan	: <i>carbon steel SA-240 Grade A</i>
Tebal dinding tangki	: 1/8 in
Tebal tutup atas	: 1/8 in
Tebal tutup bawah	: 1/8 in

17. Spray Dryer (B-710)

Fungsi : mengeringkan *slurry* campuran antosianin dengan kadar air 30% menjadi bubuk dengan kadar air 1%.

Tipe : *Counter current spray dryer* yang berbentuk bejana dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup atas berbentuk *dished head* yang dilebngkapi penyangga.

Dasar pemilihan :

- Dapat dipakai untuk mengeringkan *slurry* dengan kadar air 30% menjadi bubuk dengan kadar air 1%.
- Bahan konstruksi dipilih jenis *stainless steel* SA-240 Grade C. Dipilih *stainless steel* jenis ini karena cocok untuk produk bahan makanan dan tahan terhadap panas. Dipilih *grade C* karena harganya lebih murah daripada *grade A* dan *B*, cocok untuk tekanan operasi yang rendah dan dapat mudah disambung (dilas) (Brownell&Young, pp.78 dan 253).

T operasi : 120 °C

Asumsi : Aliran udara turbulen sehingga suhu produk keluar mendekati udara panas keluar.

Kondisi : Suhu udara masuk = 270 °C

Suhu udara keluar = 120 °C

Suhu *feed* masuk = 30 °C

Suhu *feed* keluar = 120 °C

Feed masuk terdiri dari :

Air = 11,32 kg/hari

NaCl_(l) = 4,19 kg/hari

Antosianin 23,03 kg/hari

$$\text{Kadar air mula-mula} = 11,32 / (11,32 + 4,19 + 23,03) = 30 \%$$

Dari perhitungan neraca massa:

$$\text{H}_2\text{O yang menguap} = 11,05 \text{ kg/hari} = 0,46 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Tepung keluar sebagai produk} = 27,49 \text{ kg/hari} = 1,145 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Kadar air dalam produk} = 1 \%$$

$$\text{Laju pengeringan} = \text{air yang menguap} = 11,05 \text{ kg/hari} = 0,46 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Suhu udara masuk} = 270 \text{ }^\circ\text{C}$$

Dari Perry 5th ed, p.20-63, fig. 20-73 berdasarkan laju pengeringan dan suhu udara masuk dipilih :

$$\text{Volume chamber} = 100 \text{ ft}^3$$

$$\text{Diameter} = 6,5 \text{ ft} = 1,9812 \text{ m}$$

$$\text{Lubang pengeluaran} = 12 \text{ in} = 0,9997 \text{ ft} = 1 \text{ ft (Hesse, p.85)}$$

$$\text{Tinggi shell} = 0,4 \times D = 2,6 \text{ ft} = 0,7925 \text{ m (Hesse, p.85)}$$

$$\text{Volume silinder} = \pi/4 \times D^2 \times H_s = \pi/4 \times 6,5^2 \times 2,6 = 86,23 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume dishead} = \pi D^3/24 \quad (\text{Brownell and Young})$$

$$= \pi \cdot 6,5/24$$

$$= 0,85 \text{ cuft}$$

$$\text{Volume konis} = \text{volume chamber} - \text{volume silinder} - \text{volume dishead}$$

$$= 100 - 86,23 - 0,85$$

$$= 12,92 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume konis} = 1/3 \times \pi/4 \times h_c \times (D^2 + DM + M^2) \quad (\text{Hessel, pers. 4-18})$$

$$13,77 = 1/3 \times \pi/4 \times h_c \times (6,5^2 + 6,5 \times 1 + 1^2)$$

$$h_c = 1,0576 \text{ ft} = 0,3224 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total} = H_s + h_c = 0,7925 + 0,3224 = 1,1149 \text{ m}$$

$$\text{Waktu pengeringan total : 30 sekon} \quad (\text{Perry, 1984, hal. 30.54})$$

Pengecekan terhadap volume *chamber* :

$$\text{Densitas udara panas rata-rata} = 0,9474 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Geankoplis app. A.3-3})$$

$$Q \text{ udara panas yang dibutuhkan (dari neraca panas)} = 5358,03 \text{ kkal/hari}$$

$$C_p \text{ udara rata-rata} = 1,007 \text{ kJ/kg.K} = 0,241 \text{ kkal/kg.K} \quad (\text{Geankoplis app. A.3-3})$$

$$\text{Massa udara} = Q / (c_p \cdot \Delta T)$$

$$= 5358,03 \text{ kkal/hari} / (0,241 \text{ kkal/kg.K} \cdot (120-30) \text{K})$$

$$= 247,02 \text{ kg/hari}$$

$$= 2,86 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sekon}$$

$$\text{Rate volumetrik udara} = 2,86 \cdot 10^{-3} \text{ (kg/sekon)} / (0,9474 \text{ kg/m}^3)$$

$$= 3,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sekon}$$

$$\text{Selama 30 sekon didapat} = 30 \text{ s} \times 2,71 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 0,091 \text{ m}^3$$

$$= 3,20 \text{ ft}^3$$

$$\text{Densitas uap air pada } 120^\circ \text{C} = 0,5649 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume udara yang teruapkan} = 11,26 \text{ kg/hari} / 0,5649 \text{ m}^3$$

$$= 19,932 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 2,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sekon}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume udara untuk 30 s} &= 2,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \times 30 \text{ s} \\
 &= 6,92 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \\
 &= 0,244 \text{ cuft}
 \end{aligned}$$

$$\text{Total volume} = 3,20 \text{ ft}^3 + 0,244 \text{ ft}^3 = 3,44 \text{ ft}^3$$

Volume *chamber* $100 \text{ ft}^3 > 3,44 \text{ ft}^3$ sehingga volume *chamber* memenuhi.

Penentuan diameter pipa untuk umpan masuk:

$$D_{i_{\text{opt}}} = 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Peter and Timmerhause hal. 496})$$

Dimana q_f = kecepatan volumetrik umpan ft^3/s

ρ = densitas *feed* lb/ft^3

$$\rho_{\text{feed}} = 1061,11 \text{ kg}/\text{m}^3 = 66,27404 \text{ lb}/\text{ft}^3$$

$$\text{Massa feed masuk} = 38,54 \text{ kg}/\text{hari} = 4,46 \cdot 10^{-4} \text{ kg}/\text{s} = 9,83 \cdot 10^{-4} \text{ lb}/\text{s}$$

$$q_f = 9,83 \cdot 10^{-4} \text{ lb}/\text{s} / 66,27404 \text{ lb}/\text{ft}^3 = 1,483 \cdot 10^{-5} \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$\begin{aligned}
 D_{i_{\text{opt}}} &= 3,9 \times (1,483 \cdot 10^{-5})^{0,45} \times 66,27404^{0,13} \\
 &= 0,0452 \text{ inchi.}
 \end{aligned}$$

Karena ukuran hasil perhitungan D_i terlalu kecil ditetapkan diameter dalam pipa 0,269 in, Sch 40 (nominal *pipe sizes* = 1/8 in).

Penentuan diameter pipa untuk udara panas masuk:

$$D_{i_{\text{opt}}} = 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Peter and Timmerhause hal. 496})$$

$$\rho_{\text{udara panas masuk pada } 270^\circ \text{C}} = 0,0411 \text{ lb}/\text{cuft} \quad (\text{Geankoplis app. A.3-3})$$

$$q_f_{\text{udara panas masuk}} = 3,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sekon} = 0,11 \text{ cuft}$$

$$\begin{aligned}
 D_{i_{\text{opt}}} &= 3,9 \times (0,11)^{0,45} \times 0,0411^{0,13} \\
 &= 0,95 \text{ inch.}
 \end{aligned}$$

Ditetapkan diameter dalam pipa 1,049 inchi sch 40 (nominal *pipe sizes* = 1 in)

Penentuan diameter pipa untuk udara panas keluar:

$$Di_{opt} = 3,9 \times qf^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Peter and Timmerhause hal. 496})$$

$$\rho \text{ udara panas keluar pada } 120^\circ \text{C} = 0,0559 \text{ lb/cuft} \quad (\text{Geankoplis app. A.3-3})$$

$$qf \text{ udara panas keluar} = 0,11 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$Di_{opt} = 3,9 \times (0,11)^{0,45} \times 0,0559^{0,13}$$

$$= 0,993 \text{ inch.}$$

Ditetapkan diameter dalam pipa 1,049 inchi sch 40 (*nominal pipe sizes* = 1 in)

$$P \text{ operasi} = 1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psia}$$

$$P \text{ design} = 1,1 \times P \text{ operasi} \quad (\text{Brownell and Young})$$

$$= 1,1 \times (14,7)$$

$$= 16,17 \text{ psia}$$

Menghitung tebal *shell* :

Untuk *shell*, tutup bagian bawah dan tutup bagian atas dipilih bahan konstruksi *stainless steel SA-240 grade C*.

(Brownell and Young, App. D)

$$f = 18750 \text{ psia}$$

$$E = 0,85 \text{ (single welded butt joint)}$$

$$C = 1/8 \text{ in} = 0,125 \text{ in}$$

$$ri = 3,25 \text{ ft} = 39 \text{ in} = 0,9906 \text{ m}$$

Tebal *shell* :

$$ts = (P \times ri) / (f \times E - 0,6 \times P) + C$$

$$= (16,17 \times 3,25) / (18750 \times 0,85 - 0,6 \times 16,7101) + 0,125$$

$$= 0,1283 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in}$$

Menghitung tebal konis :

$$\text{Tebal konis} = (P \times L \times W) / (2 \times f \times E - 0,2 \times P) + C$$

(Brownell and Young, pers. 7.77)

$$L = d_i / (2 \cos \alpha)$$

$$d_i = D - 2 \text{icr} (1 - \cos \alpha)$$

$$D = 6,5 \text{ ft} = 78 \text{ in}$$

Dari Tabel 5.6 Brownell and Young untuk $t = 3/16 \text{ in}$ didapat : $\text{icr} = 9/16 \text{ in}$

$$d_i = 78 - (2 \times 9/16 \times (1 - \cos 30)) = 77,8493 \text{ in}$$

$$L = 77,8493 / (2 \times \cos 30) = 44,9463 \text{ in}$$

$$W = \frac{1}{4} \times \{3 + (L/\text{icr})^{0,5}\} = \frac{1}{4} \times \{3 + (44,9463/(9/16))^{0,5}\} = 2,9847 \text{ in}$$

$$t = (16,1701 \times 44,9463 \times 2,9847) / (2 \times 18750 \times 0,85 - 0,2 \times 16,1701) + 0,125$$

$$= 0,1931 \text{ in} \approx 1/5 \text{ in}$$

Menghitung tutup atas (*dished head*) :

$$\text{Tebal dished} = (0,885 \times P \times R_c) / (f \times E - 0,1 \times P) + C$$

(Brownell and Young, pers.13-12)

$$\text{Dimana } R_c = ID = 6,5 \text{ ft} = 78 \text{ in}$$

$$t = (0,885 \times 16,1701 \times 78) / (18750 \times 0,85 - 0,1 \times 16,1701) + 0,125$$

$$= 0,195 \text{ in} \approx 1/5 \text{ in} = 5,08 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Dari Tabel 5.6 Brownell and Young didapat, untuk tebal dished = 1/5 in, sf =

$$1,5-3,5 \text{ in, } icr = 5/8 \text{ in} = 0,625 \text{ in} = 0,0159 \text{ m}$$

$$sf \text{ diambil} = 1,5 \text{ in} = 0,0381 \text{ m}$$

$$BC = ri - icr$$

(Brownell and Young, p.87)

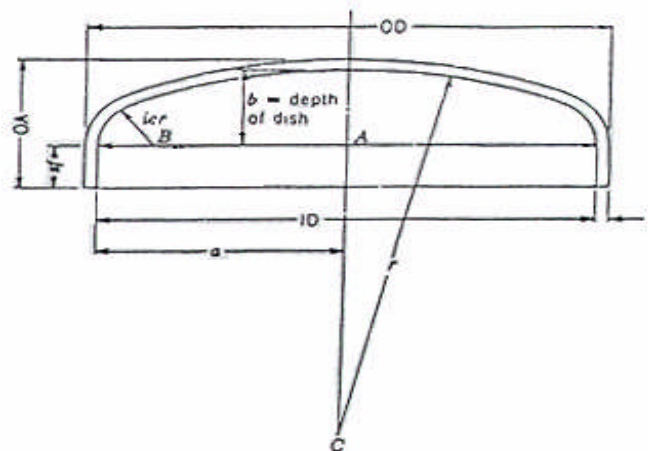
$$BC = 39 - (5/8) = 38,375 \text{ in} = 0,9747 \text{ m} = 3,1979 \text{ in}$$

$$a = ID / 2 = 78 / 2 = 39 \text{ in} = 0,9901 \text{ m} = 3,25 \text{ ft}$$

$$AB = a - icr = 0,9901 - 0,0159 = 0,9742 \text{ in}$$

$$b = ri - (BC^2 - AB^2)^{0,5} = 0,9906 - (0,9747^2 - 0,9742^2)^{0,5} = 0,9594 \text{ m}$$

$$OA = t + b + sf = 5,08 \times 10^{-3} + 0,9594 + 0,0381 = 1,0026 \text{ m}$$



$$OD = ID + 2 \times t = 1,9812 + 2 \times 5,08 \times 10^{-3} = 1,9914 \text{ m}$$

Menentukan kecepatan atomizer :

Dari Foust (2nd hal. 484) kecepatan atomizer antara 6000-20000 rpm. Karena kapasitas tidak terlalu besar diambil kecepatan atomizer 10000 rpm.

Menghitung *power* yang dibutuhkan :

$$P = 1,04 \times 10^{-8} \times (r \times N)^2 \times W \quad (\text{Van't Land, pers. 8-2})$$

Dimana : P = hp netto, hp

r = jari-jari roda atomizer, ft = 0,4101 ft (Van't Land, page 163)

n = banyaknya *nozzle* dalam roda (=45) (Van't Land, page 163)

N = putaran *disk*, rpm

W= kapasitas *rate feed* melalui atomizer wheel, lbm/menit = 159,5776 lb/menit

$$P = 1,04 \times 10^{-8} \times (0,4101 \times 10000)^2 \times 159,5776 = 26,83 \cdot 10^{-3} \text{ HP} = 0,25 \text{ HP}$$

Efisiensi motor = 80%

$$\text{Power} = 26,83 \cdot 10^{-3} / 0,8 = 0,25 \text{ Hp}$$

Penentuan tebal isolator dinding *spray dryer*:

$$Q_{\text{loss}} = 546,49 \text{ kkal/hari (10\% dari panas masuk)}$$

$$L_{\text{selimut}} = \pi \cdot d_i \cdot h_s$$

$$= 3,14 \cdot 1,9812 \text{ m} \cdot 0,7925 \text{ m} = 4,93 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas konis} = \pi (R_1 + R_2) \cdot \sqrt{h_c^2 + (R_1 - R_2)^2}$$

$$= 3,14 \cdot (0,9906 + 0,1524) \cdot \sqrt{0,3244^2 + (0,9906 - 0,1524)^2}$$

$$= 3,2257 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas total} = 8,1158 \text{ m}^2$$

$$T_{\text{operasi}} = 120^\circ \text{C}$$

$$Q_{\text{loss}} = 546 \text{ kkal/hari} = 2286,51 \text{ kJ/hari}$$

$$= 26,47 \text{ Watt}$$

Asumsi :

$$Q_{\text{loss}} = Q_{\text{pada dinding}} = Q_{\text{pada isolator}}$$

Aliran panas gas ke dinding dalam *spray* = konveksi

Aliran panas pada dinding *spray* = konduksi

Aliran panas dari permukaan dalam isolator ke permukaan luar = konduksi

Data-data :

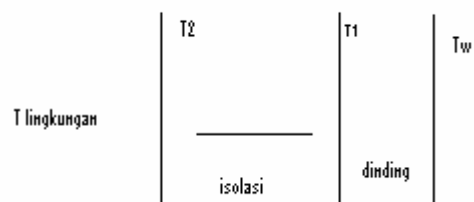
Bahan konstruksi *spray dryer steel* = 16,3 W/m.K (Geankoplis, 1997)

Bahan isolasi = asbes = $k = 0,2343$ W/m.K (Geankoplis, 1997)

$h = 1,24\Delta T^{1/3}$ (Geankoplis, 1997, hal 256 tabel 4.7-2 untuk *vertical cylinder*)

Udara $h = 55$ W/m.K

Tebak sheel rata-rata = 0,1606 in = 0,4082 cm



$$Q \text{ dinding} = -k_{\text{steel}} \cdot A \cdot (T_w - T_1) / t_{\text{sheell}}$$

$$-26,464 = -16,3 \cdot 8,1558 \cdot (120 - T_1) / 0,4082$$

$$T_1 = 119,92$$

$$Q \text{ di lepas ke udara} = -k_{\text{udara}} \cdot A \cdot (T_2 - 30)$$

$$26,464 = 55 \cdot 8,1558 \cdot (T_2 - 30)$$

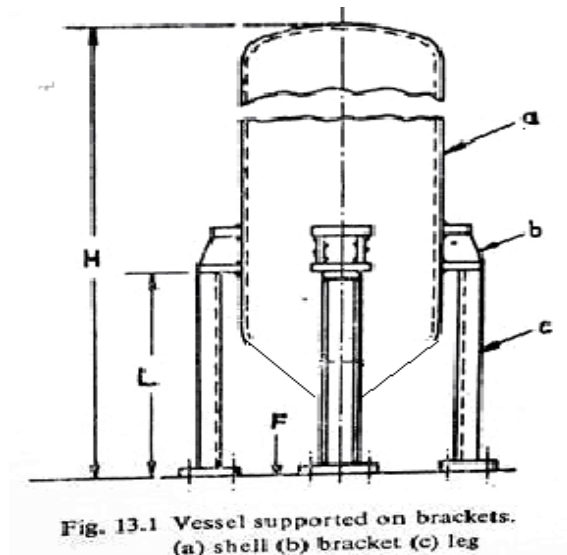
$$T_2 = 30,5$$

$$Q \text{ di isolator} = -k \text{ asbes} \cdot A \cdot (T_1 - T_2) / t \text{ isolator}$$

$$-26,464 = -0,2343 \cdot 8,1558 \cdot (119,92 - 30) / \text{tebal isolator}$$

$$\text{Tebal isolator} = 6,5 \text{ cm}$$

Perancangan *Braket* dan *Lug support* untuk *Spray Dryer*



Tangki yang disangga diatas *braket*

- a. tangki
- b. *braket*
- c. leg

suatu tangki dengan data-data perancangan sebagai berikut :

Diameter tangki = 1,9877 m

Tinggi tangki = 1,1149 m

Jarak kosong dari dasar tangki ke fondasi, F = 1.5 m

Jumlah *braket* = 4 buah

Diameter lingkaran baut = 2,35 m (Tabel 13.2 Joshi, 1981)

Tinggi *braket* dari fondasi = 2.25 meter

'Bearing pressure' yang diijinkan untuk beton = 35 kg/cm² (Joshi, 1981)

Rancangan :

1. Beban kompresi maksimum
2. *Braket*
 - a. *base plate*
 - b. *web plate*
3. Penyangga kolom untuk *braket*
4. *Base plate* untuk kolom

Perhitungan :

1. Beban kompresi maksimum

$$P_w = K \cdot P_2 \cdot H \cdot OD$$

Dengan : K = koefisien yang bergantung pada bentuk

= 0,7 untuk tangki berbentuk silinder

P_2 = Tekanan angin, untuk tinggi tangki < 30 ft = 97.647 kg/cm²

(Tabel 9.1 Brownell, 1959)

OD = Diameter luar tangki = 1,9877 m

$$P_w = 0.7 \times 97.647 \times 1,9844$$

$$= 135,639 \text{ kg}$$

$$P = \frac{4 \cdot P_w \cdot (H - F)}{n \cdot Db} + \frac{\sum W}{n}$$

Dengan : H = tinggi tangki diatas fondasi = tinggi tangki total = 2,6149 m

F = jarak kosong dari dasar tangki = 1,5 m

Db = diameter lingkaran baut = 2,35 m

n = jumlah *braket* = 4 buah

ΣW = Beban maksimum tangki

$$\rho_{shell}, \rho_{dishead}, \rho_{konis} = \rho_{stainlees\ steel} = 7817 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{lar-filtrat\ antosianin} = 1061,611 \text{ kg/m}^3$$

Dengan : H = tinggi tangki diatas fondasi = tinggi tangki total =

$$7.742259502\text{m}$$

F = jarak kosong dari dasar tangki = 1.5 m

D_b = diameter lingkaran baut = 4.5 m

n = jumlah *braket* = 8 buah

ΣW = Beban maksimum tangki

$$\rho_{shell}, \rho_{dishead}, \rho_{konis} = \rho_{stainlees\ steel} = 7817 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{lar-anthosian} = 1061,611 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{Shell} = \frac{\pi}{4} \times (OD^2 - ID^2) \times h \times \rho$$

$$= (3,14 \times (1,9877^2 - 1,9812^2) \times 1,7925 \times 7817)$$

$$= 279,16 \text{ kg}$$

$$W_{dishhead} = \left(\left(\frac{\pi}{4} \cdot (OD^2 - ID^2) \cdot h_{sf} \right) + \left(2,8 \cdot 10^{-8} \cdot (OD^2 - ID^2) \cdot OA \right) \right) \times \rho$$

$$OA = 1,0026 \text{ m}$$

$$H_{sf} = 0,0381 \text{ m}$$

$$W_{dishhead} = ((3,14/4)(1,9877^2 - 1,9812^2) \cdot 0,0381) + (2,8 \cdot 10^{-8} \cdot (1,9877^2 -$$

$$1,9812^2) \cdot 1,0026)) \times 7817$$

$$= (7,71 \cdot 10^{-4} + 7,242 \cdot 10^{-1}) \times 7817$$

$$= 6,026 \text{ kg}$$

$$W_{\text{konis}} = \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (OD^2 - ID^2) \cdot H_k - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (OD_n^2 - ID_n^2) \cdot H_n \right) \times \rho$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \times \tan \alpha} = 0,3048 / (2 \times \tan 30) = 0,26 \text{ m}$$

$$OD_n = 0,3146 \text{ m}$$

$$ID_n = 0,3048 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{konis}} &= (9,85 \cdot 10^{-3} - 4,129 \cdot 10^{-4}) \times 7817 \\ &= 73,76 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$W_{\text{larutan}} = 38,54 \text{ kg (dari neraca massa)}$$

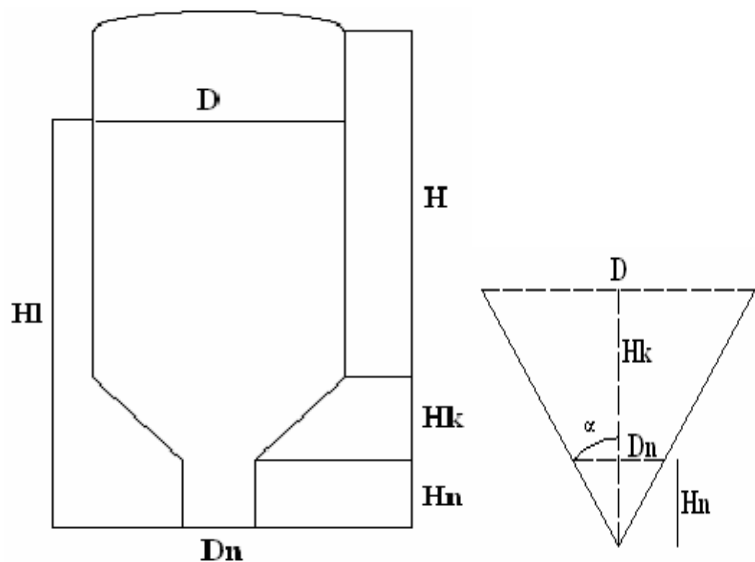
$$W_{\text{total}} = 38,54 \text{ kg} + 6,026 \text{ kg} + 73,76 \text{ kg} + 279,16 \text{ kg} = 379,486 \text{ kg}$$

$$P = \frac{4 \cdot P_w \cdot (H - F)}{n \cdot D_b} + \frac{\sum W}{n}$$

$$\text{Didapat } P = 128,47 \text{ kg}$$

Untuk mencegah masalah P ditambah 10 % dari P maksimum

$$P = 141,317 \text{ kg}$$



2. Braket

- a. *Base plate* : dari tabel 13.2 (Joshi, 1981) ukuran *base plate* yang cocok

$$a = 150 \text{ mm} = 15 \text{ cm} \quad b = 15 \text{ cm (untuk } n = 4),$$

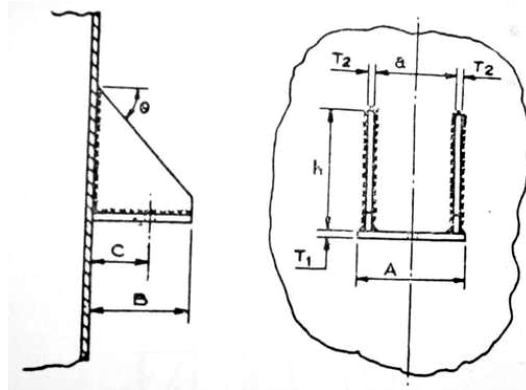


Fig Detail Braket

$$P_{av} = \frac{P}{ab} = 141,37/(235.15) = 0,040 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{pers 13.8., Joshi, 1981})$$

$$f = 0,7 \cdot P_{av} \cdot \frac{B^2}{Ti^2} \cdot \left(\frac{a^4}{b^4 + a^4} \right)$$

Dengan : $f = \text{Allowable stress} = 1575 \text{ kg/cm}^2$ untuk *steel* (Joshi, 1981; hal 377)

$$P_{av} = \text{tekanan rata-rata terhadap plate} = 0,040 \text{ kg/cm}^2$$

$Ti = \text{tebal base plate}$

$$T_1 = 0,388 \text{ cm} = 3,8 \text{ mm.}$$

Dipilih tebal base plate $Ti = 4 \text{ mm}$

b. Web (gasket) thick plate → setiap braket → ada 2 gasket → ada 2 gasket

$$\text{Bending moment tiap plate} = \frac{P}{2} \times C$$

Dengan : P = gaya

c = jarak antara dinding dan baut

$$\begin{aligned}\text{Bending moment tiap plate} &= (128,47/2) \times ((2,35-1,9877)/2) \\ &= 64,416 \text{ kg.cm}\end{aligned}$$

Stress yang dialami oleh sisi plate gasket

$$f = \frac{3.Pc}{T_2.c^2} \times \frac{1}{\cos \alpha} \quad (\text{pers. 13.12, Joshi}$$

1981)

$$\cos \alpha = \frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}}$$

$$f = \frac{3.Pc}{T_2.c^2} \times \left(\frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}} \right)^{-1}$$

Didapat $T_2 = 0,1671 \text{ cm} = 1,6 \text{ mm}$

Diambil $T_2 = 2 \text{ mm}$

3. Penyangga (kolom) untuk *braket*

Dipilih sebagai kolom penyangga *braket* adalah tipe channel. Ukuran yang dipilih adalah tipe ISME 150. dari tabel C-3. Battacharyya :

Ukuran : 150 mm x 75 mm

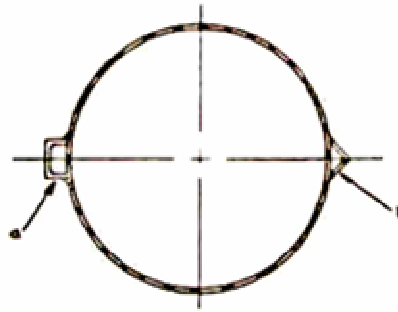
Area cross section (A) = 20,88 cm²

Modulus of section (Z_{yy}) = 19,4 cm³

Radius of gyration (r_{yy}) = 2,21 cm

Weight = 16,4 kg/m

Height of foundation = 2,25 m



Equivalent length of coloumn : $l_e = \text{height}/2 = 2,25\text{m}/2 = 1,125 \text{ m}$

Slenderness ratio $\frac{l_e}{r} = (1,125 \times 100)/2,21 = 50,9 = 51$

dari persamaan 13.13 (Joshi, 1981) untuk kolom pendek

$$f = \frac{EW}{A.n} + \frac{EW.e}{n.z}$$

Dengan $\Sigma W/n$ = jumlah beban total terhadap kolom

a = luas *cross section*

e = untuk persoalan leg diambil 7,5

z = *modulus of section of the cross section*

$$f = (141,37/20,88) + (141,37 \times 7,5/19,4)$$

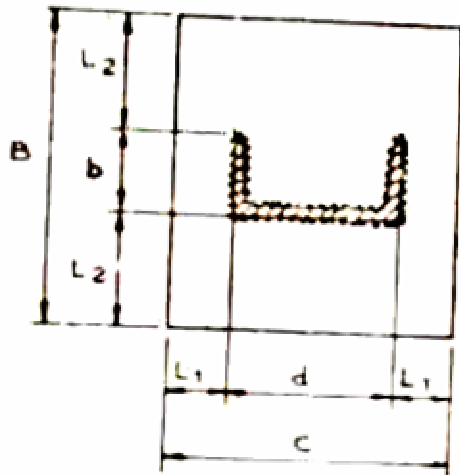
$$f = 61,42$$

dari kedua harga f terhitung < *Allowable strees* yang diijinkan yaitu 1575 kg/cm^2

dan maka kolom tipe channel yang dipilih sudah memadai.

4. Perancangan plat dasar untuk kolom.

Ukuran kolom 150×75 dianggap bahwa plat dasar memiliki kelebihan 20 cm pada setiap sisi channel.



$$\text{Sisi B} = 0,8 \times 75 + 2 \times 20 = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Sisi C} = 0,95 \times 75 + 2 \times 20 = 182,5 \text{ mm}$$

$$\text{Bearing presurre , } p_b = 141,37 / (10\text{cm}.18,25\text{cm}) = 0,775 \text{ kg/ cm}^2$$

Ini lebih kecil daripada tekanan bearing terhadap beton = 35 kg/cm²

$$M = (P_b.L_1^2)/2 \quad \text{atau} \quad M = (P_b.L_2^2)/2$$

Diambil mana yang lebih besar

$$F = \frac{M}{t^2/6} = [(P_b.L_2^2)/2] / (t^2/6) \quad (\text{pers. 12/18, Joshi, 1981})$$

$$1575 = \frac{(0,775/2).(20^2/10)}{t^2/6}$$

Didapat $t = 0,243 \text{ cm} = 3 \text{ mm}$.

Biasanya dipilih tebal base *plate* 4 mm sampai 6 mm

Spesifikasi :

Kapasitas : 27,49 kg/hari

Tinggi *shell* : 0,7925 m

Tinggi konis : 0,3224 m

Diameter : 1,9812 m

Tebal *shell*: 3/16 in

Tebal konis : 1/5 in

Tebal head: 1/5 in

Waktu tinggal : 30 s

Power : 1/4 hp

Tebal isolator = 6,56 cm

Jumlah : 1 buah

18. *Blower (L-714)*

Fungsi : menghembuskan udara media pengering ke *spray dryer* melalui furnace

Tipe : *centrifugal blower single stage*

Dasar pemilihan

- Cocok untuk mengalirkan gas dengan kapasitas dan tekanan yang rendah.

Kondisi operasi : 1 atm

Kebutuhan udara pengering : 4811,54 kg/hari = 8,81 lb/min

Diambil suhu udara masuk 86°F kelembapan 70%, sehingga

Humiditas udara = 0,019 lb H₂O/lb udara kering

Specifik udara = $0,0405 \times (460 + t) \times (0,622 + H)$ (Geankoplis, 1997)

$$= 0,0405 \times (460 + 86) \times (0,622 + 0,019)$$

$$= 14,1744 \text{ cuft/lb}$$

Laju udara, Q = 8,81 lb/min $\times$ 14,1744 cuft/lb

$$= 124,9 \text{ ft}^3/\text{min} = 212,214 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Berdasarkan Ulrich, tabel 4.9, pp. 120, beda tekanan maksimum sebesar 1,4 kpa.

Dipilih beda tekanan 1,3 kpa.

$$P_1 = 1 \text{ atm} = 101,325 \text{ kPa}$$

$$P_2 = 102,625 \text{ kPa}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{Blower}} &= 2,72 \cdot 10^{-5} \times Q \times (P_2 - P_1) \quad (\text{Perry, 7}^{\text{th}} \text{ ed., eq. 10-87, pp. 10-46}) \\ &= 2,72 \cdot 10^{-5} \times 212,214 \text{ m}^3/\text{jam} (102,625 - 101,325) \\ &= 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari Perry 7 th ed. , pp. 10-46, efisiensi motor berkisar antara 40-80%

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

$$Power_{\text{Blower}} = 0,0075 / 0,8$$

$$= 9,375 \cdot 10^{-3} \text{ kW} = 12,5 \cdot 10^{-3} \text{ hp} = 0,1 \text{ hp}$$

Spesifikasi :

Tipe : centrifugal single stage *blower*

Power : 0,1 hp

Jumlah : 1 buah

19. Cyclone (H-716)

Fungsi : menangkap produk yang terikut gas keluar dari *spray dryer*

Dasar pemilihan:

- Cocok untuk digunakan memisahkan padatan dari udara

Bahan konstruksi : *stainless steel* SA-167

Densitas partikel (ρ_s) = 141,08 kg/m

$$\mu_{\text{udara}} = 0,021 \text{ cp} = 1,411 \cdot 10^{-5} \text{ lb/ft.s} \quad (\text{Geankoplis, 1997, App A-3})$$

$$\rho \text{ udara} = 1,002 \text{ kg/m}^3 = 0,06255 \text{ lb/ft}^3 \quad (\text{Geankoplis, 1997, App A-3})$$

$$N_{sic} = \left[\frac{(\rho_s - \rho) D_p^2 V_c}{18 \cdot \mu \cdot Bc} \right] \quad (\text{Perry, 6}^{th} \text{ ed, pers 20-64})$$

$$\text{Di mana : } (D_p/D_{pc})^2 = 4 (\pi N_c) \cdot N_{sic}$$

$$\text{Di mana : } N_c = \text{jumlah putaran efektif gas dalam cyclone} = 2$$

$$V_c = \text{Kecepatan gas masuk cyclone (ft/s)} = 50 \text{ ft/s}$$

$$\text{Untuk efisiensi 100\% maka } D_p/D_c = 5. \quad (\text{Perry, 6}^{th} \text{ ed, fig.20.109})$$

$$\text{Diameter partikel dust (D}_{pc}) = 5\text{-}20 \text{ }\mu\text{m}$$

$$\text{Diambil } D_{pc} = 5 \text{ }\mu\text{m}$$

$$D_p = 5 \cdot D_{pc} = 5 \cdot 5 \text{ }\mu\text{m} = 25 \text{ }\mu\text{m} = 8,2021 \cdot 10^{-5} \text{ ft}$$

$$N_{sic} = 25 / (4,3,14,2) = 0,9952$$

$$N_{sic} = \left[\frac{(\rho_s - \rho) D_p^2 V_c}{18 \cdot \mu \cdot Bc} \right]$$

$$0,9952 = \left[\frac{(8,80713 - 0,06255)(8,2021 \cdot 10^{-5})^2 \cdot 50}{18 \cdot 1,411 \cdot 10^{-5} \cdot Bc} \right]$$

$$Bc = 0,0116 \text{ ft} = 0,14 \text{ in}$$

$$\text{Dimensi cyclone: (Perry, 7}^{th} \text{ ed. Fig. 17-36)}$$

$$Bc = Dc/4$$

$$Dc = 0,56 \text{ in}$$

$$Hc = Dc/2$$

$$Hc = 0,279 \text{ in}$$

$$Lc = 2Dc$$

$$Lc = 1,117 \text{ in}$$

$$S_c = D_c/8$$

$$S_c = 0,07 \text{ in}$$

$$Z_c = 2D_c$$

$$Z_c = 1,117 \text{ in}$$

$$J_c = D_c/4$$

$$J_c = 0,14 \text{ in}$$

20. Furnace (B-715)

Fungsi : menghasilkan udara panas yang dipakai untuk *spray dryer*

Tipe : *Thermal Direct Fired Heater*

Kondisi Operasi : $P = 1 \text{ atm}$

Suhu udara masuk : $30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$

Rate udara masuk *furnace* = $4811,54 \text{ kg/hari} = 8,81 \text{ lb/min}$

Pada suhu 86°F , *humidity* = $0,02125 \text{ lb H}_2\text{O/lb udara kering}$

Volume spesifik = $(0,0252 + 0,0405 \times H) \times T^{\circ}\text{R}$

$$= (0,0252 + 0,0405 \times 0,02125) \times (460 + 86)^{\circ}\text{R}$$

$$= 14,2291 \text{ ft}^3/\text{lb udara kering}$$

Rate volumetrik udara = $8,81 \text{ lb/menit} \times 14,2291 \text{ ft}^3/\text{lb}$

$$= 125,36 \text{ ft}^3/\text{menit}$$

Panas yang disuplay ke *spray dryer* = $5358,03 \text{ kkal/hari} = 223,25 \text{ kkal/jam}$

$$= 885,32 \text{ Btu/jam}$$

Berdasarkan Perry edisi 5, hal 9-33, maka spesifikasi *furnace* yang dipakai [8]:

Tinggi *furnace* = 15 in

Panjang *furnace* = 65 in

Bahan konstruksi : *Stainless steel*

Jumlah : 1 buah

21. Pompa HCl 37% (L-313)

Fungsi : memompa HCl 37 % dari tangki penampung HCl 37 % ke dalam tangki ekstraksi

Type : *Centrifugal pump*

Bahan : *carbon steel*

Pemilihan : biaya perawatan rendah, ruang yang dibutuhkan relatif kecil.

Kapasitas = 8108 36 kg/hari

$\rho_{\text{HCL } 37\%}$ = 1190 kg/m³ = 74,3 lb/ft³

Rate volumetrik = $\frac{8108,36 \text{ kg} / \text{jam}}{1190 \text{ kg} / \text{m}^3} = 6,814 \text{ m}^3/\text{jam} = 240,616 \text{ cuft}/\text{jam}$

Waktu pemompaan = 0,5 jam

q_F = 481,232 cuft/jam = 0,134 cuft/s

$\mu_{\text{HCL } 37\%}$ = 7,39 . 10⁻⁴ lbm/ft.s = 1,1 cp

Diasumsi aliran turbulen, sehingga :

$$\begin{aligned} D_{i,\text{opt}} &= 3,9 \cdot q_F^{0,45} \cdot \rho_{\text{HCL } 37\%}^{0,13} \text{ (Peters \& Timmerhaus 4}^{\text{th}} \text{ ed., p.496)} \\ &= 3,9 \cdot (0,134 \text{ cuft/s})^{0,36} \cdot (74,3 \text{ cp})^{0,18} \\ &= 2,761 \text{ in} \end{aligned}$$

Diambil : *steel pipe* (IPS) berdiameter nominal 3 in sch. 40

- ID = 3,068 in = 0,256 ft = 0,078 m

- OD = 3,5 in

$$\bullet \quad A = 0,0513 \text{ ft}^2 \quad (\text{Geankoplis 3}^{\text{rd}} \text{ ed., App. A-5, p.892})$$

$$v = \frac{0,134 \text{ cuft} / \text{s}}{0,0513 \text{ ft}^2} = 2,605 \text{ ft/s} = 0,794 \text{ m/s}$$

$$N_{\text{Re}} = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu}$$

$$= \frac{74,3 \text{ lb} / \text{cuft} \cdot 0,256 \text{ ft} \cdot 2,605 \text{ ft} / \text{s}}{7,39 \cdot 10^{-4} \text{ lbm} / \text{ft} \cdot \text{s}}$$

$$= 66940,88 \text{ (turbulen)} \rightarrow \text{asumsi benar}$$

Dengan menggunakan persamaan Bernoulli :

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

(Geankoplis 3rd ed., pers. 2.7-28, p.64)

dimana $\sum F$ merupakan total friksional losses, meliputi :

1. Losses karena kontraksi pada outlet tangki penampung HCl 37%, h_c
2. Losses karena friksi pada pipa lurus, F_t
3. Losses karena friksi pada *elbow* dan *valve*, h_f
4. Losses karena ekspansi pada inlet tangki ekstraksi, h_{ex}

Perhitungan $\sum F$:

1. Losses karena kontraksi pada outlet tangki penampung HCl 37%, h_c

$$K_c = 0,55 \cdot \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right) \quad (\text{Geankoplis 3}^{\text{rd}} \text{ ed., pers. 2.10-16, p.93})$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

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

$$K_c = 0,55 \cdot (1 - 0) = 0,55$$

Untuk aliran turbulen, $\alpha = 1$

$$h_c = K_c \left(\frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \right) \quad (\text{Geankoplis 3}^{\text{rd}} \text{ ed., pers. 2.10-16, p.93})$$

$$= 0,55 \cdot \frac{(0,794 \text{ m/s})^2}{2} = 0,173 \text{ J/kg}$$

2. Losses karena friksi pada pipa lurus, F_t

Digunakan pipa *commercial steel*, $\varepsilon = 4,6 \cdot 10^{-5} \text{ m}$

(Geankoplis 3rd ed, p.88)

$$\frac{\varepsilon}{D} = 8,76 \cdot 10^{-4}$$

$$f = 0,0055 \quad (\text{Geankoplis 3}^{\text{rd}} \text{ ed., fig 2.10-3})$$

$$L = 15 \text{ m}$$

$$F_t = 4 \cdot f \cdot \frac{\Delta L \cdot v^2}{2 \cdot D} \quad (\text{Geankoplis 3}^{\text{rd}} \text{ ed., pers. 2.10-6, p.89})$$

$$= 4 \cdot 0,0055 \cdot \frac{15 \text{ m} \cdot (0,794 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 0,053 \text{ m}} = 1,335 \text{ J/kg}$$

3. Losses karena friksi pada *elbow*, *valve* dan *tee*, h_f

Terdapat 3 *elbow* 90° dan 11 *gate valve* dan 9 *tee*

Dari Geankoplis table 2.10-1, p.93, didapatkan :

$$K_f = (4 \times 0,75) + 0,17 + (9 \times 1)$$

$$= 12,17$$

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

$$= 12,17 \cdot \frac{0,794^2}{2} = 4,373 \text{ J/kg}$$

4. Losses karena ekspansi

$$K_{ex} = \left(1 - \frac{A_1}{A_2}\right)^2 \quad (\text{Geankoplis 3}^{\text{rd}} \text{ ed., pers.2.10-15, p.93})$$

Dimana : A_1 = luas penampang pipa

A_2 = luas penampang tangki ekstraksi

Karena $A_1 \ll A_2$, maka (A_1/A_2) diabaikan.

$$K_{ex} = (1 - 0)^2 = 1$$

$$\alpha = 1$$

$$h_{ex} = 10 \cdot K_{ex} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot \alpha} \quad (\text{Geankoplis 3}^{\text{rd}} \text{ ed., pers.2.10-15, p.93})$$

p.93)

$$= 10 \cdot \frac{(0,794 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 1} = 3,153 \text{ J/kg}$$

$$\sum F = (0,173 + 1,335 + 4,373 + 3,153) \text{ J/kg}$$

$$= 9,034 \text{ J/kg}$$

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

$$V_2 = 0,794 \text{ m/s}$$

$$(P_2 - P_1) = 0$$

$$z_1 = \text{tinggi bahan di tangki HCl 37 \%} = 3,14 \text{ m}$$

$$z_2 = \text{tinggi bahan di tangki ekstraksi I} = 3,5 \text{ m}$$

$$-W_s = 9,8 \cdot (3,5 - 3,14) + 9,034 = 14,195 \text{ J/kg}$$

$$\text{Efisiensi pompa } (\eta) = 60 \% \quad (\text{Peter \& Timmerhause, 2002})$$

$$\text{Massa (m)} = 8108,36 \text{ kg/jam} = 2,252 \text{ kg/s}$$

$$\text{Brake HP} = \frac{-W_s \cdot m}{\eta \cdot 550} \quad (\text{Geankoplis 3}^{\text{rd}} \text{ ed., pers.3.3-2, p.134})$$

$$= \frac{14,195.2,252}{0,6.550} = 0,071 \text{ hp}$$

Digunakan *power* pompa = 0,25 hp

Spesifikasi	:
Type	: <i>centrifugal pump</i>
Rate volumetric	: 0,134 cuft/s
Jenis pipa	: <i>steel pipe</i>
Diameter pipa	: IPS 3 in sch.40
Power pompa	: 0,25 Hp
Bahan	: <i>commercial steel</i>
Waktu operasi	: 30 menit
Jumlah	: 1 buah

22. Pompa etanol 96% (L-314)

Fungsi	: memompa etanol 96 % dari tangki penampung etanol 96 % ke dalam tangki ekstraksi
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Pemilihan	: biaya perawatan rendah, ruang yang dibutuhkan relatif kecil.
Waktu operasi	: 30 menit
Rate volumetric	: 0,758 cuft/s
Jenis pipa	: <i>steel pipe</i>
Diameter pipa	: IPS 6 in sch.40
Power pompa	: 1 Hp
Bahan	: <i>commercial steel</i>

Jumlah : 1 buah

23. Pompa NaOH (L-413)

Fungsi : memompa NaOH 5 N dari tangki penampung NaOH
5 N ke dalam tangki penetralan

Type : *Centrifugal pump*

Pemilihan : biaya perawatan rendah, ruang yang dibutuhkan
relatif kecil.

Waktu operasi : 30 menit

Rate volumetric : 0,322 cuft/s

Jenis pipa : *steel pipe*

Diameter pipa : IPS 4 in sch.40

Power pompa : 0,5 Hp

Bahan : *commercial steel*

Jumlah : 1 buah

24. Pompa tangki ekstraksi (L-411)

Fungsi : memompa larutan dari tangki ekstraksi ke dalam
tangki penetralan

Type : *Centrifugal pump*

Pemilihan : biaya perawatan rendah, ruang yang dibutuhkan
relatif kecil.

Rate volumetric : 0,795 cuft/s

Waktu operasi : 30 menit

Jenis pipa	: <i>steel pipe</i>
Diameter pipa	: IPS 6 in sch.40
Power pompa	: 1 Hp
Bahan	: <i>commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

25. Pompa tangki penetralan (L-511)

Fungsi	: memompa larutan dari tangki penetralan ke dalam evaporator
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Pemilihan	: biaya perawatan rendah, ruang yang dibutuhkan relatif kecil.
Rate volumetric	: 1,268 cuft/s
Waktu operasi	: 30 menit
Jenis pipa	: <i>steel pipe</i>
Diameter pipa	: IPS 8 in sch.40
Power pompa	: 1 Hp
Bahan	: <i>commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

26. Pompa Evaporator (L-512)

Fungsi	: memompa <i>slurry</i> dari evaporator ke dalam tangki penampung I
Type	: <i>Centrifugal pump</i>

Pemilihan	: biaya perawatan rendah, ruang yang dibutuhkan relatif kecil.
<i>Rate volumetric</i>	: 0,015 cuft/s
Waktu operasi	: 3 jam
Jenis pipa	: <i>steel pipe</i>
Diameter pipa	: IPS 1 1/4 in sch.40
<i>Power pompa</i>	: 0,5 Hp
Bahan	: <i>commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

27. Pompa Tangki Penampung I (L-514)

Fungsi	: memompa <i>slurry</i> dari tangki penampung I ke dalam <i>Plate and Frame</i> filter press dan tangki evaporasi-kristalisasi
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Pemilihan	: biaya perawatan rendah, ruang yang dibutuhkan relatif kecil.
<i>Rate volumetric</i>	: 0,093 cuft/s
Waktu operasi	: 1 jam
Jenis pipa	: <i>steel pipe</i>
Diameter pipa	: IPS 3 in sch.40
<i>Power pompa</i>	: 0,25 Hp
Bahan	: <i>commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

28. Pompa Tangki Evaporator - Kristalizer (L-522)

Fungsi	: memompa <i>slurry</i> dari tangki evaporasi-kristalisasi ke dalam <i>Plate and Frame</i> filter <i>press</i> dan ke tangki penampung II
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Pemilihan	: biaya perawatan rendah, ruang yang dibutuhkan relatif kecil.
<i>Rate volumetric</i>	: 0,001 cuft/s
Waktu operasi	: 30 menit
Jenis pipa	: <i>steel pipe</i>
Diameter pipa	: IPS 1/4 in sch.40
<i>Power</i> pompa	: 0,25 Hp
Bahan	: <i>commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

29. Pompa Tangki Penampung II (L-713)

Fungsi	: memompa larutan dari tangki penampung II ke dalam <i>spray dryer</i>
Type	: <i>Centrifugal pump</i>
Pemilihan	: biaya perawatan rendah, ruang yang dibutuhkan relatif kecil.
<i>Rate volumetric</i>	: $1,5 \cdot 10^{-5}$ cuft/s
Waktu operasi	: 24 jam
Jenis pipa	: <i>steel pipe</i>

Diameter pipa	: IPS 1/8 in sch.40
Power pompa	: 0,25 Hp
Bahan	: <i>commercial steel</i>
Jumlah	: 1 buah

APPENDIX D

PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI

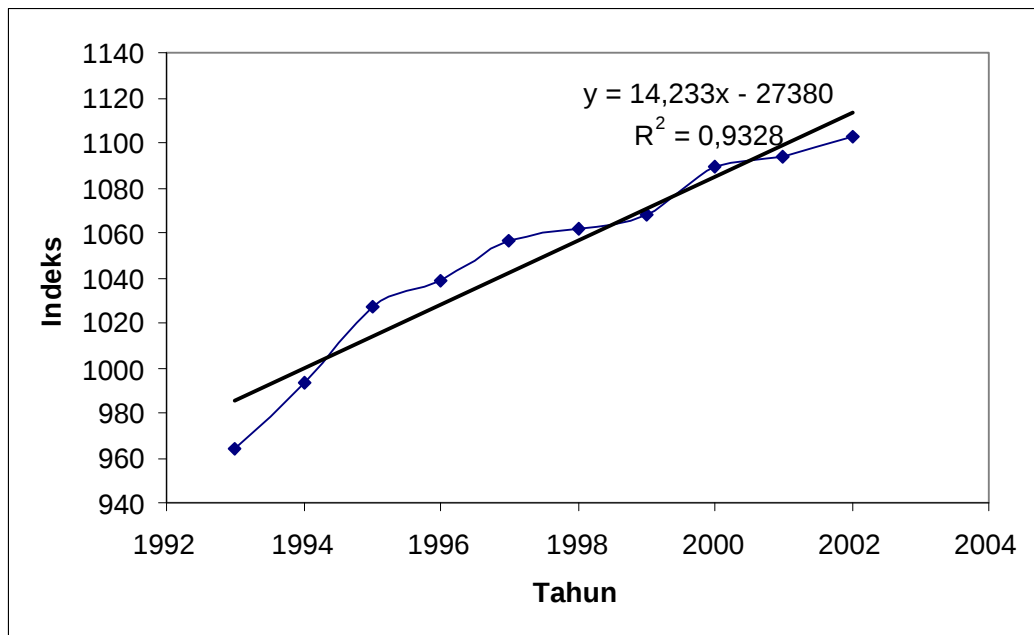
D.1. Perhitungan Harga Peralatan

- Metode Perkiraan Harga

Harga peralatan sering mengalami perubahan karena kondisi ekonomi. Oleh karena itu, untuk memperkirakan harga peralatan sekarang diperlukan suatu indeks yang dapat mengkonversikan harga peralatan sebelumnya menjadi harga sekarang (tahun 2007). Metode yang digunakan untuk menentukan harga peralatan adalah metode *Cost index* yang dihitung dengan persamaan:

$$\text{Harga alat saat ini} = \frac{\text{Cost index saat ini}}{\text{Cost index pada tahun A}} \cdot \text{Harga alat pada tahun A}$$

Sumber dari harga alat ini berasal dari buku Peter & Timmerhauss, internet dan dari beberapa supplier. Kurs yang digunakan adalah Rp. 9000/\$. *Cost index* yang digunakan adalah dari Marshall & Swift Cost Index. Direncanakan pabrik didirikan tahun 2007, sehingga dengan ekstrapolasi dari linierisasi data-data tahun sebelumnya didapat:



Cost index Marshall & Swift pada tahun 2002 = 1102,5

Cost index Marshall & Swift pada tahun 2007 = 1185,6

- Contoh Perhitungan

Nama alat : Tangki penampung HCl 37 %

Kapasitas : 8,176 m³

Bahan konstruksi : *Stainless steel*

Harga tahun 2002 : \$ 8000 = Rp 72000000,00

Harga tahun 2007 : $\frac{1185,6}{1102,5} \cdot \text{Rp } 72000000,00 = \text{Rp } 77428963,27$

Dengan cara yang sama, harga peralatan disajikan pada Tabel D.1 untuk alat-alat proses dan Tabel D.2 untuk alat-alat utilitas.

Tabel D.1. Harga alat proses

Kode	Nama alat	Harga/unit (Rp)	Harga/unit (\$)	Unit	Harga tahun 2007 (Rp)
F-111	Bak pencuci		23,76	10	2299640,209
B-113	<i>Blower-tray dryer</i>		30.000	1	290390874,3
L-112	<i>Furnace-tray dryer</i>		2.600	1	25164413,06
B-110	<i>Tray dryer</i>		4.000	1	38714481,63
C-210	<i>Rotary cutter</i>		6.000	2	116.143.444,9
F-312	Tangki ethanol 96%		10.000	1	96.786.204,08
L-314	Pompa	1.000.000		1	1.000.000
F-311	Tangki HCl 37%		8.000	1	77.428.963,27
L-313	Pompa		1.500	1	750.000
F-310	Tangki ekstraksi		11.000	10	1.064.648.245
	Saringan 12 mesh	3.000.000		10	30.000.000
L-511	Pompa	1.500.000		1	1.500.000
F-412	Tangki NaOH 5 N		15.000	1	145.179.306,1
L-413	Pompa	1.000.000		1	1.000.000
F-410	Tangki penetralan		30.000	1	290.358.612,2
L-511	Pompa	1.500.000		1	1.500.000
V-510	Tangki evaporasi		66.000	1	638.788.946,9
L-512	Pompa	1.000.000		1	1.000.000
F-513	Tangki penampung <i>slurry</i>		5.000	1	48.393.102,04
L-514	Pompa	750.000		1	750.000
V-520	Tangki evaporasi-kristaliser		1.200	1	11.614.344,49
L-522	pompa	750.000		1	750.000
H-610	<i>Plate and frame filter press</i>		1.000	1	17.178.620,41
F-512	Tangki penampung filtrat		50	1	483.931,0204
L-713	Pompa	750.000		1	750.000
L-514	<i>Blower-spray dryer</i>		6.000	1	58.071.722,45
B-515	<i>Furnace-spray dryer</i>		2.600	1	25.164.413,06
B-510	<i>Spray dryer</i>		40.000	1	8.328.565,947
H-516	<i>Cyclone</i>		115	1	1.035.000
	Total				2.995.172.831

Tabel D.2 Harga alat utilitas

Kode	Nama alat	Harga/unit (Rp)	Harga/unit (\$)	Unit	Harga (Rp) 2007
F-810	<i>Water storage</i>		16.250.000	3	48.750.000,00
L-811	Pompa	4.500.000		1	4.500.000,00
H-822	<i>Sand filter</i>		25.000	1	241.965.510,20
L-821	Pompa	2.000.000		1	2.000.000,00
H-824	<i>Carbon filter</i>		25.000	1	241.965.510,20
L-823	Pompa	1.500.000		1	1.500.000,00
F-820	Bak air bersih		9.000	1	87.107.583,67
L-831	Pompa	2.000.000			2.000.000,00
F-830	<i>Circulation water storage</i>		28.000.000	1	28.000.000,00
L-832	Pompa	4.000.000		1	4.000.000,00
TE-840	<i>Cooling Tower</i>		30.000	1	290.358.612,24
L-841	Pompa	4.000.000		1	4.000.000,00
L-833	Pompa	1.500.000			1.500.000,00
S-219	Boiler		18.000	1	174.215.167,35
H-852	Tangki demineralisasi		25.000	1	241.965.510,20
L-851	Pompa	750.000		1	750.000,00
F-850	Tangki penampung		10.000	1	96.786.204,08
L-853	Pompa	1.000.000		1	1.000.000,00
L-854	Pompa	750.000		1	750.000,00
L-834	Pompa	750.000		1	750.000,00
F-880	Kolom distilasi		2.400	1	23.228.688,98
L-881	Pompa distilasi	750.000			750.000,00
	Genset			1	20.466.666,67
F-872	<i>Fuel oil storage</i>		20.000	1	193.572.408,16
L-873	<i>Fuel oil receiving pump</i>	1.500.000		1	1.500.000,00
	Total				1.713.381.862

Jadi, harga peralatan total = harga alat proses + harga alat utilitas

$$= 2.995.172.831 + 1.713.381.862$$

$$= \text{Rp } 4.708.554.693,00$$

D.2. Perhitungan Harga Bahan Baku

- Contoh perhitungan: ubi jalar ungu

Ubi jalar ungu diperoleh dari perkebunan di Blitar dengan harga Rp 400,00 per kilogram. Dalam 1 hari dibutuhkan 32142,3 kg ubi jalar ungu. Maka harga ubi jalar ungu per tahun = $32142,3 \text{ kg} \cdot \text{Rp } 400,00 / \text{kg} \cdot 330 \text{ hari/tahun} = \text{Rp } 4.242.783.600,00$

Dengan cara yang sama maka dapat diketahui harga bahan baku seperti terlihat pada tabel D.3

Tabel D.3 Harga bahan baku

Bahan	Jumlah (kg/hari)	Harga(Rp/kg)	Total(Rp/tahun)
Ubi jalar ungu	32.142,3	400	4.242.783.600
HCl 37 %	8.108,36	1.000	2.675.758.800
Ethanol 96 %	38.611,3	5.000	193.056.500
NaOH	3.287,78	2.000	2.169.934.800
Total			9.474.590.200

D.3. Perhitungan Harga Utilitas

- Perhitungan Harga Listrik Penerangan

Berdasarkan Jawa Pos tanggal 23 September 2005, biaya listrik luar beban puncak (LWBP) untuk industri adalah Rp 660,53/kWh. Sedangkan biaya listrik beban puncak (WBP) pada pk 17.00-22.00 adalah $1,7 \times \text{LWBP}$.

Penerangan berlangsung selama 12 jam dari jam 17.00-05.00. Dari Bab VI, penerangan membutuhkan 23,71 kW/jam, maka biaya yang diperlukan untuk penerangan selama 1 tahun adalah :

$$\text{LWBP} = 23,71 \text{ kW} \times 7 \text{ jam} \times \text{Rp } 660,53/\text{kWh} = \text{Rp } 109.628,20$$

$$\text{WBP} = 23,71 \text{ kW} \times 5 \text{ jam} \times 1,7 \times \text{Rp } 660,53/\text{kWh} = \text{Rp } 133.119,90$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, biaya selama 1 tahun} &= (\text{LWBP} + \text{WBP})/\text{hari} \times 330 \text{ hari/tahun} \\ &= \text{Rp } 80.106.866,00 \end{aligned}$$

- Perhitungan Harga Listrik Alat

Tabel D.4. Waktu dan tenaga alat utilitas

Kode	Nama Alat	Tenaga (Hp)	Waktu (jam)	kWh
L-811	Pompa sumur	5	12	44,74
L-821	Pompa <i>sand filter</i>	1,5	12	13,42
L-823	Pompa <i>carbon filter</i>	1	12	8,95
L-831	Pompa <i>cooling water storage</i>	1,5	12	13,42
L-832	Pompa <i>water storage</i>	11	1,07	8,78
L-841	Pompa <i>cooling tower</i>	4	12	35,79
L-851	Pompa tangki demineralisasi	0,25	3	0,56
L-861	Pompa penampung demineralisasi	0,5	3	1,12
L-871	Pompa <i>boiler</i>	0,25	3	0,56
L-834	Pompa sanitasi	0,25	12	2,24
L-881	Pompa distilasi	0,25	24	4,47
L-833	Pompa pencucian	1	1	0,75
L-873	Pompa <i>Fuel Oil</i>	1	1	0,75
Total		27,5		135,55

Tabel D.5. Waktu dan tenaga alat proses

Kode	Nama Alat	Tenaga (Hp)	Waktu (jam)	kWh
C-210	<i>Rotary Cutter</i>	22	2	32,81
F-412	Tangki NaOH 5 N	7	1	5,22
F-310	Tangki Ekstraksi	35	2	52,20
F-410	Tangki Penetralkan	42	1	31,32
V-520	Tangki Evaporasi dan Kristalisasi	0,5	1	0,37
L-313	Pompa HCl 37%	0,25	0,5	0,09
L-315	Pompa etanol 96%	1	0,5	0,37
L-413	Pompa NaOH 5N	0,5	0,5	0,19
L-411	Pompa Tangki Ekstraksi	1	0,5	0,37
L-511	Pompa Tangki Penetralkan	1	3	2,24
L-512	Pompa Evaporator	0,5	3	1,12
L-514	Pompa Tangki Penampung I	0,25	0,5	0,09
L-522	Pompa Evaporator-Kristalizer	0,25	0,25	0,05
L-713	Pompa Tangki Penampung II	0,25	24	4,47
B-710	<i>Spray Dryer</i>	0,25	24	4,47
L-714	<i>Blower</i>	0,1	24	1,79
L-112	<i>Blower</i>	5	21	78,30

Total		117		215,48
-------	--	-----	--	--------

Kebutuhan listrik untuk alat dalam 1 hari = $135,55 + 215,48 = 351,03$ kWh

Maka dalam 1 tahun = $351,03 \times 330 = 115839,9$ kWh

Biaya beban listrik untuk industri = Rp 660,53 /kWh

Jadi biaya listrik alat tiap tahun = Rp 76.515.729,00

- Perhitungan Harga Listrik yang lain

Kebutuhan listrik *Maintenance* dan *Repair* = 50 hp

Kebutuhan listrik laboratorium = 100 hp

Kebutuhan listrik kantor = 65 hp

Kebutuhan listrik total = 215 hp = 160,3255 kW

Waktu operasi = 12 jam

Kebutuhan listrik per hari = 1923,91 kWh

Kebutuhan listrik per tahun = 634888,98 kWh

Biaya beban listrik untuk industri = Rp 660,53 /kWh

Biaya total per tahun = Rp 419.363.218,00

- Biaya listrik total

Biaya listrik penerangan + Biaya listrik alat + Biaya listrik lain-lain

= Rp 575.985.813,00

- Perhitungan Harga Media *Filter*

Media *filter* yang digunakan seharga Rp 1.200.000,00 per tahun

- Perhitungan Harga Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan sebanyak 65913 L/bulan (Bab VI) dengan harga bahan bakar solar untuk industri adalah Rp 5.500,00 per liter, maka biaya bahan bakar yang dibutuhkan selama 1 tahun adalah :

$$65.913 \text{ L/bulan} \cdot \text{Rp } 5500,00/\text{L} \cdot 12 \text{ bulan/tahun} = \text{Rp } 4.350.258.000,00$$

- Total Harga Utilitas

$$\text{Rp } 575.985.813,00 + \text{Rp } 1.200.000,00 + \text{Rp } 4.350.258.000,00$$

$$= \text{Rp } 4.927.443.813,00$$

D.4. Perhitungan Gaji Karyawan

Tabel D.4. Gaji karyawan

No.	Posisi	Jumlah	Gaji per bulan (Rp)	Gaji per tahun (Rp)
1	Direktur Utama	1	5.000.000	60.000.000
2	Manager Personalia dan Umum	1	3.000.000	36.000.000
3	Manager Produksi	1	3.000.000	36.000.000
4	Manager Pemasaran	1	3.000.000	36.000.000
5	Manager Keuangan	1	3.000.000	36.000.000
6	Asisten Manager Teknik dan Pemeliharaan	1	2.000.000	24.000.000
7	Asisten Manager Quality Control dan Laboratorium	1	2.000.000	24.000.000
8	Asisten Manager <i>Research and Development</i>	1	2.000.000	24.000.000
9	Asisten Manager Promosi	1	2.000.000	24.000.000
10	Pekerja Proses	40	500.000	240.000.000
11	Pekerja Teknik dan Pemeliharaan	3	750.000	27.000.000
12	Pekerja Utilitas	3	500.000	18.000.000
13	Pekerja <i>Research and Development</i>	1	1.250.000	15.000.000
14	Pekerja Promosi dan <i>Marketing</i>	1	1.250.000	15.000.000
15	Pekerja Gudang	2	500.000	12.000.000
16	Keamanan	3	500.000	18.000.000
	Total	62	.	645.000.000

D.5. Perhitungan Penjualan**Tabel D.5. Jumlah penjualan**

Penjualan	Jumlah (kg/hari)	Harga (Rp/kg)	Harga (Rp/tahun)
Antosianin	23,03	2.000.000	15.200.000.000
Ampas kulit ubi jalar (untuk dijadikan kompos)	6909,1	800	1.824.002.400
Garam	4808,3	800	1.269.391.200
Daging ubi	23130,43	1.100	8.396.346.090
Total			26.689.739.690

D.6. Perhitungan Harga Tanah dan Luas Bangunan

Luas tanah yang digunakan adalah 3250 m² dengan harga tanah di Blitar adalah Rp 150.000,00/m². Maka harga tanah = Rp 487.500.000,00. Sedangkan harga bangunan dapat dilihat pada Tabel D.6.

Tabel D.6. Harga bangunan

Bangunan	Luas (m2)	Harga per m2 (Rp)	Harga total (Rp)
Gudang, lab, utilitas, area proses, daerah bahan baku	1860	1.250.000	2.325.000.000
Pos keamanan, ruang tunggu tamu, kantor, toilet	253	1.000.000	253.000.000
Parkir, jalan dan halaman, daerah perluasan	1137	500.000	568.500.000
Total			3.146.500.000

Jadi, harga tanah dan bangunan adalah Rp 3.634.000.000,00.

APPENDIX E

TUGAS KHUSUS I – PERANCANGAN SPRAY DRYER (B-710)

Fungsi : mengeringkan *slurry* campuran antosianin dengan kadar air 30 % menjadi bubuk dengan kadar air 1 %.

Tipe : *Counter current spray dryer* yang berbentuk bejana dengan bagian bawah berbentuk konis dan tutup atas berbentuk *dished head* yang dilengkapi penyangga.

Dasar pemilihan :

- Dapat dipakai untuk mengeringkan *slurry* dengan kadar air 30% menjadi bubuk dengan kadar air 1%
- Bahan konstruksi dipilih jenis *stainless steel* SA-240 Grade C. Dipilih *stainless steel* jenis ini karena cocok untuk produk bahan makanan dan tahan terhadap panas. Dipilih grade C karena harganya lebih murah daripada *grade A* dan *B*, cocok untuk tekanan operasi yang rendah dan dapat mudah disambung (dilas) (Brownell&Young, pp.78 dan 253).

T operasi : 120 °C

Asumsi : Aliran udara turbulen sehingga suhu produk keluar mendekati udara panas keluar

Kondisi : Suhu udara masuk = 270 °C

Suhu udara keluar = 120 °C

Suhu *feed* masuk = 30 °C

Suhu *feed* keluar = 120 °C

Feed masuk terdiri dari :

Air = 11,32 kg/hari

$\text{NaCl}_{(l)} = 4,19 \text{ kg/hari}$

Antosianin 23,03 kg/hari

Kadar air mula-mula = $11,32 / (11,32 + 4,19 + 23,03) = 30 \%$

Dari perhitungan neraca massa:

H_2O yang menguap = 11,05 kg/hari = 0,46 kg/jam

Tepung keluar sebagai produk = 27,49 kg/hari = 1,145 kg/jam

Kadar air dalam produk = 1 %

Laju pengeringan = air yang menguap = 11,05 kg/hari = 0,46 kg/jam

Suhu udara masuk = 270°C

Dari Perry 5th ed, p.20-63, fig. 20-73 berdasarkan laju pengeringan dan suhu udara masuk dipilih :

Volume *chamber* = 100 ft³

Diameter = 6,5 ft = 1,9812 m

Lubang pengeluaran = 12 in = 0,9997 ft = 1 ft (Hesse, p.85)

Tinggi *shell* = 0,4 x D = 2,6 ft = 0,7925 m (Hesse, p.85)

Volume silinder = $\pi/4 \times D^2 \times H_s = \pi/4 \times 6,5^2 \times 2,6 = 86,23 \text{ ft}^3$

Volume *dishead* = $\pi D^3/24$ (Brownell and Young)

$$= \pi \cdot 6,5/24$$

$$= 0,85 \text{ cuft}$$

Volume konis = volume *chamber* – volume silinder – volume *dishead*

$$= 100 - 86,23 - 0,85$$

$$= 12,92 \text{ ft}^3$$

$$\text{Volume konis} = \frac{1}{3} \times \pi/4 \times hc \times (D^2 + DM + M^2) \quad (\text{Hessel, pers. 4-18})$$

$$13,77 = \frac{1}{3} \times \pi/4 \times hc \times (6,5^2 + 6,5 \times 1 + 1^2)$$

$$hc = 1,0576 \text{ ft} = 0,3224 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi total} = H_s + hc = 0,7925 + 0,3224 = 1,1149 \text{ m}$$

$$\text{Waktu pengeringan total} : 30 \text{ detik} \quad (\text{Perry, 1984, hal. 30.54})$$

Pengecekan terhadap volume *chamber* :

$$\text{Densitas udara panas rata-rata} = 0,9474 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{Geankoplis app. A.3-3})$$

$$Q \text{ udara panas yang dibutuhkan (dari neraca panas)} = 5358,03 \text{ kkal/hari}$$

$$C_p \text{ udara rata-rata} = 1,007 \text{ kJ/kg.K} = 0,241 \text{ kkal/kg.K} \quad (\text{Geankoplis app. A.3-3})$$

$$\text{Massa udara} = Q / (c_p \cdot \Delta T)$$

$$= 5358,03 \text{ kkal/hari} / (0,241 \text{ kkal/kg.K} \cdot (120-30)\text{K})$$

$$= 247,02 \text{ kg/hari}$$

$$= 2,86 \cdot 10^{-3} \text{ kg/sekon}$$

$$\text{Rate volumetrik udara} = 2,86 \cdot 10^{-3} \text{ (kg/sekon)} / (0,9474 \text{ kg/m}^3)$$

$$= 3,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sekon}$$

$$\text{Selama 30 sekon didapat} = 30 \text{ s} \times 2,71 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$= 0,091 \text{ m}^3$$

$$= 3,20 \text{ ft}^3$$

$$\text{Densitas uap air pada } 120^\circ\text{C} = 0,5649 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Volume udara yang teruapkan} = 11,26 \text{ kg/hari} / 0,5649 \text{ m}^3$$

$$= 19,932 \text{ m}^3/\text{hari}$$

$$= 2,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{sekon}$$

$$\text{Volume udara untuk 30 s} = 2,31 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3 \times 30 \text{ s}$$

$$= 6,92 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$= 0,244 \text{ cuft}$$

$$\text{Total volume} = 3,20 \text{ ft}^3 + 0,244 \text{ ft}^3 = 3,44 \text{ ft}^3$$

Volume *chamber* $100 \text{ ft}^3 > 3,44 \text{ ft}^3$ sehingga volume *chamber* memenuhi.

Penentuan diameter pipa untuk umpan masuk:

$$D_{i_{\text{opt}}} = 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Peter and Timmerhause hal. 496})$$

Di mana q_f = kecepatan volumetrik umpan ft^3/s

$$\rho = \text{densitas feed } \text{lb}/\text{ft}^3$$

$$\rho_{\text{feed}} = 1061,11 \text{ kg}/\text{m}^3 = 66,27404 \text{ lb}/\text{ft}^3$$

$$\text{Massa feed masuk} = 38,54 \text{ kg}/\text{hari} = 4,46 \cdot 10^{-4} \text{ kg}/\text{s} = 9,83 \cdot 10^{-4} \text{ lb}/\text{s}$$

$$q_f = 9,83 \cdot 10^{-4} \text{ lb}/\text{s} / 66,27404 \text{ lb}/\text{ft}^3 = 1,483 \cdot 10^{-5} \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$D_{i_{\text{opt}}} = 3,9 \times (1,483 \cdot 10^{-5})^{0,45} \times 66,27404^{0,13}$$

$$= 0,0452 \text{ inchi.}$$

Karena ukuran hasil perhitungan D_i terlalu kecil ditetapkan diameter dalam pipa 0,269 in, Sch 40 (nominal pipe sizes = 1/8 in).

Penentuan diameter pipa untuk udara panas masuk:

$$D_{i_{\text{opt}}} = 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Peter and Timmerhause hal. 496})$$

$$\rho_{\text{udara panas masuk pada } 270^\circ\text{C}} = 0,0411 \text{ lb}/\text{cuft} \quad (\text{Geankoplis app. A.3-3})$$

$$q_f_{\text{udara panas masuk}} = 3,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{sekon} = 0,11 \text{ cuft}$$

$$D_{i_{\text{opt}}} = 3,9 \times (0,11)^{0,45} \times 0,0411^{0,13}$$

$$= 0,95 \text{ inchi.}$$

Ditetapkan diameter dalam pipa 1,049 inchi sch 40 (*nominal pipe sizes* = 1 in)

Penentuan diameter pipa untuk udara panas keluar:

$$D_{i\text{opt}} = 3,9 \times q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad (\text{Peter and Timmerhause hal. 496})$$

$$\rho \text{ udara panas keluar pada } 120^\circ\text{C} = 0,0559 \text{ lb/cuft} \quad (\text{Geankoplis app. A.3-3})$$

$$q_f \text{ udara panas keluar} = 0,11 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$D_{i\text{opt}} = 3,9 \times (0,11)^{0,45} \times 0,0559^{0,13}$$

$$= 0,993 \text{ inchi.}$$

Ditetapkan diameter dalam pipa 1,049 inchi sch 40 (*nominal pipe sizes* = 1 in)

$$P \text{ operasi} = 1 \text{ atm} = 14,7 \text{ psia}$$

$$P \text{ design} = 1,1 \times P_{\text{operasi}} \quad (\text{Brownell and Young})$$

$$= 1,1 \times (14,7)$$

$$= 16,17 \text{ psia}$$

Menghitung tebal *shell* :

Untuk shell, tutup bagian bawah dan tutup bagian atas dipilih bahan konstruksi *stainless steel SA-240 grade C*.

(Brownell and Young, App. D)

$$f = 18750 \text{ psia}$$

$$E = 0,85 \text{ (single welded butt joint)}$$

$$C = 1/8 \text{ in} = 0,125 \text{ in}$$

$$r_i = 3,25 \text{ ft} = 39 \text{ in} = 0,9906 \text{ m}$$

Tebal *shell* :

$$\begin{aligned} t_s &= (P \times r_i) / (f \times E - 0,6 \times P) + C \\ &= (16,17 \times 3,25) / (18750 \times 0,85 - 0,6 \times 16,7101) + 0,125 \\ &= 0,1283 \text{ in} \approx 3/16 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tebal konis :

$$\begin{aligned} \text{Tebal konis} &= (P \times L \times W) / (2 \times f \times E - 0,2 \times P) + C \\ &\quad \text{(Brownell and Young, pers. 7.77)} \end{aligned}$$

$$L = d_i / (2 \cos \alpha)$$

$$d_i = D - 2 \times i_{cr} (1 - \cos \alpha)$$

$$D = 6,5 \text{ ft} = 78 \text{ in}$$

Dari Tabel 5.6 Brownell and Young untuk $t = 3/16 \text{ in}$ didapat : $i_{cr} = 9/16 \text{ in}$

$$d_i = 78 - (2 \times 9/16 \times (1 - \cos 30)) = 77,8493 \text{ in}$$

$$L = 77,8493 / (2 \times \cos 30) = 44,9463 \text{ in}$$

$$W = \frac{1}{4} \times \{3 + (L/i_{cr})^{0,5}\} = \frac{1}{4} \times \{3 + (44,9463/(9/16))^{0,5}\} = 2,9847 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} t &= (16,1701 \times 44,9463 \times 2,9847) / (2 \times 18750 \times 0,85 - 0,2 \times 16,1701) + 0,125 \\ &= 0,1931 \text{ in} \approx 1/5 \text{ in} \end{aligned}$$

Menghitung tutup atas (*dished head*) :

$$\begin{aligned} \text{Tebal } dished &= (0,885 \times P \times R_c) / (f \times E - 0,1 \times P) + C \\ &\quad \text{(Brownell and Young, pers.13-12)} \end{aligned}$$

Di mana $R_c = ID = 6,5 \text{ ft} = 78 \text{ in}$

$$t = (0,885 \times 16,1701 \times 78) / (18750 \times 0,85 - 0,1 \times 16,1701) + 0,125$$

$$= 0,195 \text{ in} \approx 1/5 \text{ in} = 5,08 \times 10^{-3} \text{ m}$$

Dari Tabel 5.6 Brownell and Young didapat, untuk tebal *dished* = 1/5 in, sf =

$$1,5\text{-}3,5 \text{ in, } i_{cr} = 5/8 \text{ in} = 0,625 \text{ in} = 0,0159 \text{ m}$$

$$sf \text{ diambil} = 1,5 \text{ in} = 0,0381 \text{ m}$$

$$BC = r_i - i_{cr}$$

(Brownell and Young, p.87)

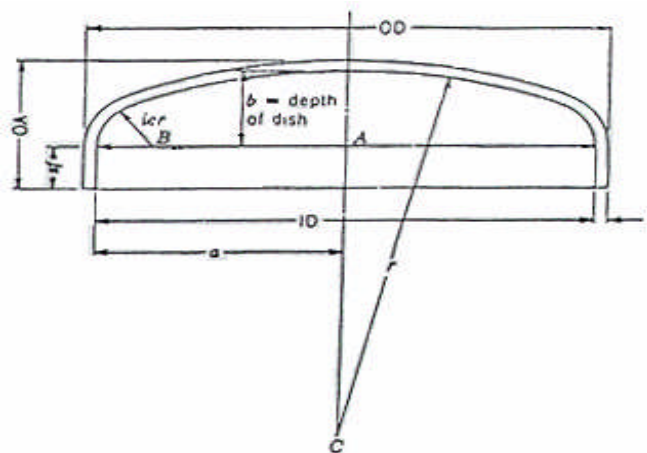
$$BC = 39 - (5/8) = 38,375 \text{ in} = 0,9747 \text{ m} = 3,1979 \text{ in}$$

$$a = ID / 2 = 78 / 2 = 39 \text{ in} = 0,9901 \text{ m} = 3,25 \text{ ft}$$

$$AB = a - i_{cr} = 0,9901 - 0,0159 = 0,9742 \text{ in}$$

$$b = r_i - (BC^2 - AB^2)^{0,5} = 0,9906 - (0,9747^2 - 0,9742^2)^{0,5} = 0,9594 \text{ m}$$

$$OA = t + b + sf = 5,08 \times 10^{-3} + 0,9594 + 0,0381 = 1,0026 \text{ m}$$



$$OD = ID + 2 \times t = 1,9812 + 2 \times 5,08 \times 10^{-3} = 1,9914 \text{ m}$$

Menentukan kecepatan *atomizer* :

Dari Foust (2nd hal. 484) kecepatan *atomizer* antara 6000-20000 rpm. Karena kapasitas tidak terlalu besar diambil kecepatan *atomizer* 10000 rpm.

Menghitung *power* yang dibutuhkan :

$$P = 1,04 \times 10^{-8} \times (r \times N)^2 \times W \quad (\text{Van't Land, pers. 8-2})$$

Di mana : P = hp netto, hp

r = jari-jari roda *atomizer*, ft = 0,4101 ft (Van't Land, page 163)

n = banyaknya *nozzle* dalam roda (=45) (Van't Land, page 163)

N = putaran disk, rpm

W= kapasitas *rate feed* melalui *atomizer wheel*, lbm/menit = 159,5776 lb/menit

$$P = 1,04 \times 10^{-8} \times (0,4101 \times 10000)^2 \times 159,5776 = 26,83 \text{ HP} = 27 \text{ HP}$$

Efisiensi motor = 80%

$$\text{Power} = 26,83/0,8 = 33,53 \text{ HP} = 34 \text{ HP}$$

Penentuan tebal isolator dinding *spray dryer*:

$$Q \text{ loss} = 546,49 \text{ kkal/hari (10\% dari panas masuk)}$$

$$L \text{ selimut} = \pi \cdot d_i \cdot h_s$$

$$= 3,14 \cdot 1,9812 \text{ m} \cdot 0,7925 \text{ m} = 4,93 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas konis} = \pi (R_1 + R_2) \cdot \sqrt{h^2 + (R_1 - R_2)^2}$$

$$= 3,14 \cdot (0,9906 + 0,1524) \cdot \sqrt{0,3244^2 + (0,9906 - 0,1524)^2}$$

$$= 3,2257 \text{ m}^2$$

$$\text{Luas total} = 8,1158 \text{ m}^2$$

$$T \text{ operasi} = 120^\circ\text{C}$$

$$Q_{loss} = 546 \text{ kkal/hari} = 2286,51 \text{ kJ/hari}$$

$$= 26,47 \text{ Watt}$$

Asumisi :

$$Q_{loss} = Q_{\text{pada dinding}} = Q_{\text{pada isolator}}$$

Aliran panas gas ke dinding dalam *spray* = konveksi

Aliran panas pada dinding *spray* = konduksi

Aliran panas dari permukaan dalam isolator ke permukaan luar = konduksi

Data-data :

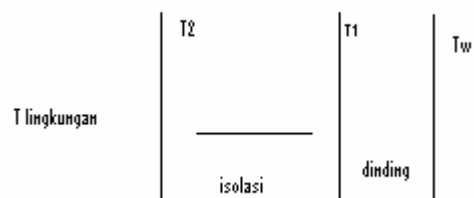
Bahan konstruksi *spray dryer steel* = 16,3 W/m.K (Geankoplis, 1997)

Bahan isolasi = asbes = $k = 0,2343 \text{ W/m.K}$ (Geankoplis, 1997)

$h = 1,24 \Delta T^{1/3}$ (Geankoplis, 1997, hal 256 tabel 4.7-2 untuk vertical cylinder)

Udara $h = 55 \text{ W/m.K}$

Tebak *shell* rata-rata = 0,1606 in = 0,4082 cm



$$Q_{\text{dinding}} = -k_{\text{steel}} \cdot A \cdot (T_w - T_1) / t_{\text{shell}}$$

$$-26,464 = -16,3 \cdot 8,1558 \cdot (120 - T_1) / 0,4082$$

$$T_1 = 119,92$$

$$Q \text{ di lepas ke udara} = -k_{\text{udara}} \cdot A \cdot (T_2 - 30)$$

$$26,464 = 55 \cdot 8,1558 \cdot (T_2 - 30)$$

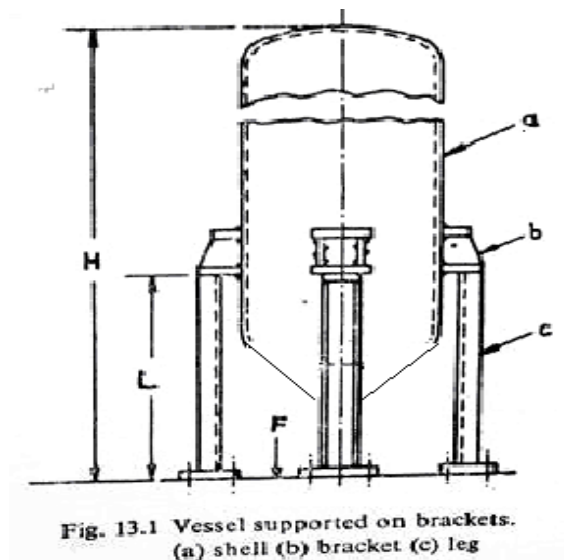
$$T_2 = 30,5$$

$$Q \text{ di isolator} = -k_{\text{asbes}} \cdot A \cdot (T_1 - T_2) / t_{\text{isolator}}$$

$$-26,464 = -0,2343 \cdot 8,1558 \cdot (119,92 - 30) / \text{tebal isolator}$$

$$\text{Tebal isolator} = 6,5 \text{ cm}$$

Perancangan Braket dan *Lug support* untuk *Spray Dryer*



Tangki yang disangga diatas braket

a. tangki

b. braket

c. leg

suatu tangki dengan data-data perancangan sebagai berikut :

Diameter tangki = 1,9877 m

Tinggi tangki = 1,1149 m

Jarak kosong dari dasar tangki ke fondasi, F	= 1.5 m
Jumlah braket	= 4 buah
Diameter lingkaran baut	= 2,35 m (Tabel 13.2 Joshi, 1981)
Tinggi braket dari fondasi	= 2.25 meter
'Bearing pressure' yang diijinkan untuk beton = 35 kg/cm ² (Joshi, 1981)	

Rancangan :

1. Beban kompresi maksimum
2. Braket
 - a. *base plate*
 - b. *web plate*
3. Penyangga kolom untuk braket
4. Base plate untuk kolom

Perhitungan :

1. Beban kompresi maksimum

$$P_w = K \cdot P_2 \cdot H \cdot OD$$

Dengan : K = koefisien yang bergantung pada bentuk

$$= 0,7 \text{ untuk tangki berbentuk silinder}$$

$$P_2 = \text{Tekanan angin, untuk tinggi tangki} < 30 \text{ ft} = 97.647 \text{ kg/cm}^2$$

(Tabel 9.1 Brownell, 1959)

$$OD = \text{Diameter luar tangki} = 1,9877 \text{ m}$$

$$P_w = 0.7 \times 97.647 \times 1,9844$$

$$= 135,639 \text{ kg}$$

$$P = \frac{4.P_w.(H - F)}{n.D_b} + \frac{\Sigma W}{n}$$

Dengan : H = tinggi tangki diatas fondasi = tinggi tangki total = 2,6149 m

F = jarak kosong dari dasar tangki = 1,5 m

D_b = diameter lingkaran baut = 2,35 m

n = jumlah braket = 4 buah

ΣW = Beban maksimum tangki

$$\rho_{\text{shell}}, \rho_{\text{dishead}}, \rho_{\text{konis}} = \rho_{\text{stainless steel}} = 7817 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{lar-filtrat antosianin}} = 1061,611 \text{ kg/m}^3$$

Dengan : H = tinggi tangki diatas fondasi = tinggi tangki total =

7,742259502 m

F = jarak kosong dari dasar tangki = 1,5 m

D_b = diameter lingkaran baut = 4,5 m

n = jumlah braket = 8 buah

ΣW = Beban maksimum tangki

$$\rho_{\text{shell}}, \rho_{\text{dishead}}, \rho_{\text{konis}} = \rho_{\text{stainless steel}} = 7817 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{lar-anthosian}} = 1061,611 \text{ kg/m}^3$$

$$W_{\text{Shell}} = \frac{\pi}{4} \times (OD^2 - ID^2) \times h \times \rho$$

$$= (3,14 \times (1,9877^2 - 1,9812^2) \times 1,7925 \times 7817)$$

$$= 279,16 \text{ kg}$$

$$W_{\text{dishhead}} = \left(\left(\frac{\pi}{4} \cdot (OD^2 - ID^2) \right)_{hsf} + \left(2,8 \cdot 10^{-8} \cdot (OD^2 - ID^2) \right)_{OA} \right) \times \rho$$

$$OA = 1,0026 \text{ m}$$

$$H_{sf} = 0,0381 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 W_{dishhead} &= ((3,14/4)(1,9877^2 - 1,9812^2) \cdot 0,0381) + (2,8 \cdot 10^{-8} \cdot (1,9877^2 - \\
 &\quad 1,9812^2) \cdot 1,0026)) \times 7817 \\
 &= (7,71 \cdot 10^{-4} + 7,242 \cdot 10^{-10}) \times 7817 \\
 &= 6,026 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$W_{konis} = \left(\frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (OD^2 - ID^2) \cdot H_k - \frac{1}{3} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (OD_n^2 - ID_n^2) \cdot H_n \right) \times \rho$$

$$H_n = \frac{D_n}{2 \times \tan \alpha} = 0,3048 / (2 \times \tan 30) = 0,26 \text{ m}$$

$$OD_n = 0,3146 \text{ m}$$

$$ID_n = 0,3048 \text{ m}$$

$$\begin{aligned}
 W_{konis} &= (9,85 \cdot 10^{-3} - 4,129 \cdot 10^{-4}) \times 7817 \\
 &= 73,76 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

$$W_{larutan} = 38,54 \text{ kg (dari neraca massa)}$$

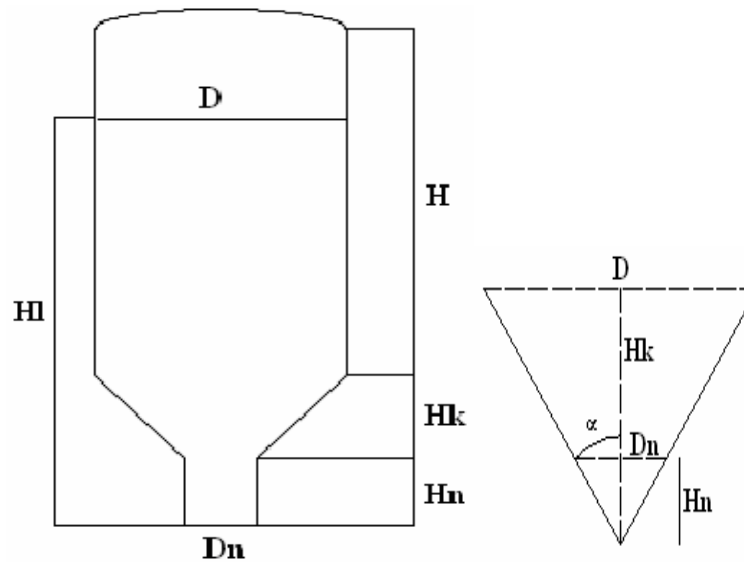
$$W_{total} = 38,54 \text{ kg} + 6,026 \text{ kg} + 73,76 \text{ kg} + 279,16 \text{ kg} = 379,486 \text{ kg}$$

$$P = \frac{4 \cdot P_w \cdot (H - F)}{n \cdot Db} + \frac{\sum W}{n}$$

$$\text{Didapat } P = 128,47 \text{ kg}$$

Untuk mencegah masalah P ditambah 10% dari P maksimum

$$P = 141,317 \text{ kg}$$



2. Braket

a. *Base plate* : dari tabel 13.2 (Joshi, 1981) ukuran *base plate* yang cocok

$$a = 150 \text{ mm} = 15 \text{ cm}$$

$$b = 15 \text{ cm (untuk } n = 4),$$

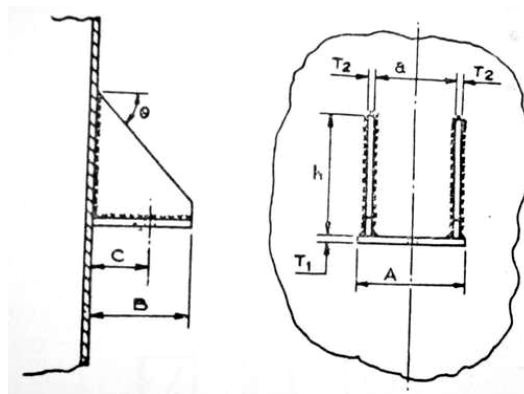


Fig Detail Braket

$$P_{av} = \frac{P}{ab} = 141,37 / (235 \cdot 15) = 0,040 \text{ kg/cm}^2 \quad (\text{pers 13.8., Joshi, 1981})$$

$$f = 0,7 \cdot P_{av} \cdot \frac{B^2}{Ti^2} \cdot \left(\frac{a^4}{b^4 + a^4} \right)$$

Dengan : f = allowable stress = 1575 kg/cm² untuk *steel* (Joshi, 1981; hal 377)

P_{av} = tekanan rata- rata terhadap *plate* = 0,040 kg/cm²

T_i = tebal *base plate*

T_1 = 0,388 cm = 3,8 mm.

Dipilih tebal *base plate* T_i = 4 mm

b. *Web (gasket) thick plate* → setiap braket → ada 2 *gasket* → ada 2 *gasket*

Bending moment tiap *plate* = $\frac{P}{2} \times C$

Dengan : P = gaya

c = jarak antara dinding dan baut

Bending moment tiap *plate* = (128,47/2) x ((2,35-1,9877)/2)
= 64,416 kg.cm

Stress yang dialami oleh sisi *plate gasket*

$$f = \frac{3.Pc}{T 2.c^2} \times \frac{1}{\cos \alpha} \quad (\text{pers. 13.12, Joshi}$$

1981)

$$\cos \alpha = \frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}}$$

$$f = \frac{3.Pc}{T 2.c^2} \times \left(\frac{b}{\sqrt{b^2 + c^2}} \right)^{-1}$$

Didapat T_2 = 0,1671 cm = 1,6 mm

Diambil T_2 = 2 mm

3. Penyangga (kolom) untuk braket

Dipilih sebagai kolom penyangga braket adalah tipe channel. Ukuran yang dipilih adalah tipe ISME 150. dari tabel C-3. Battacharyya :

Ukuran : 150 mm × 75 mm

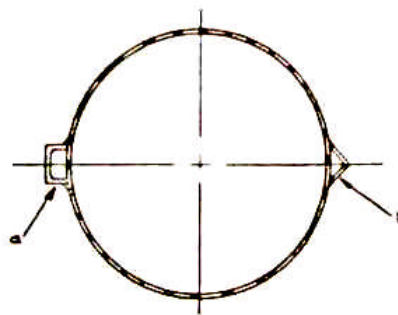
Area cross section (A) = 20,88 cm²

Modulus of section (Z_{yy}) = 19,4 cm³

Radius of gyration (r_{yy}) = 2,21 cm

Weight = 16,4 kg/m

Height of foundation = 2,25 m



Equivalent length of coloumn : $l_e = \text{height}/2 = 2,25\text{m}/2 = 1,125 \text{ m}$

Slenderness ratio $\frac{l_e}{r} = (1,125 \times 100)/2,21 = 50,9 = 51$

dari persamaan 13.13 (Joshi, 1981) untuk kolom pendek

$$f = \frac{EW}{A.n} + \frac{EW.e}{n.z}$$

Dengan $\Sigma W/n$ = jumlah beban total terhadap kolom

a = luas cross section

e = untuk persoalan leg diambil 7,5

z = modulus of section of the cross section

$$f = (141,37/20,88) + (141,37 \times 7,5/19,4)$$

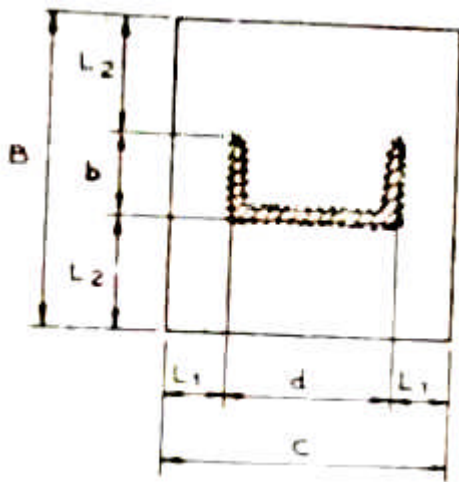
$$f = 61,42$$

dari kedua harga f terhitung $<$ allowable stress yang diijinkan yaitu 1575 kg/cm^2

dan maka kolom tipe *channel* yang dipilih sudah memadai.

4. Perancangan *plat* dasar untuk kolom.

Ukuran kolom 150×75 dianggap bahwa plat dasar memiliki kelebihan 20 cm pada setiap sisi *channel*.



$$\text{Sisi B} = 0,8 \times 75 + 2 \times 20 = 100 \text{ mm}$$

$$\text{Sisi C} = 0,95 \times 75 + 2 \times 20 = 182,5 \text{ mm}$$

$$\text{Bearing pressure, } p_b = 141,37 / (10 \text{ cm} \cdot 18,25 \text{ cm}) = 0,775 \text{ kg/cm}^2$$

Ini lebih kecil daripada tekanan bearing terhadap beton = 35 kg/cm^2

$$M = (P_b \cdot L_1^2) / 2 \quad \text{atau} \quad M = (P_b \cdot L_2^2) / 2$$

Diambil mana yang lebih besar

$$F = \frac{M}{t^2 / 6} = [(P_b \cdot L_2^2) / 2] / (t^2 / 6) \quad (\text{pers. 12/18, Joshi, 1981})$$

$$1575 = \frac{(0,775 / 2) \cdot (20^2 / 10)}{t^2 / 6}$$

Didapat $t = 0,243 \text{ cm} = 3 \text{ mm}$.

Biasanya dipilih tebal base plate 4 mm sampai 6 mm

Spesifikasi :

Kapasitas : 27,49 kg/hari

Tinggi shell : 0,7925 m

Tinggi konis : 0,3224 m

Diameter : 1,9812 m

Tebal *shell*: 3/16 in

Tebal konis : 1/5 in

Tebal *head*: 1/5 in

Waktu tinggal : 30 s

Power : 1/4 hp

Tebal isolator = 6,56 cm

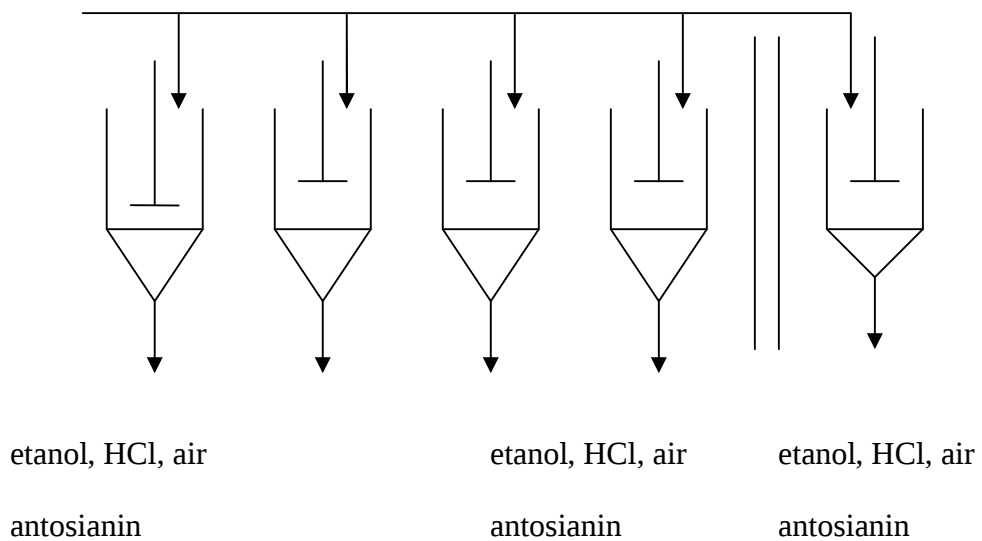
Jumlah : 1 buah

APPENDIX F

TUGAS KHUSUS II – PEMODELAN *BACKWASH*

Pada tangki ekstraksi II, etanol dan HCl yang tersisa di kulit akan dicuci kembali dengan air pencuci agar kulit dapat diolah lebih lanjut dalam pengolahan limbah untuk dijadikan kompos. Selain itu pada proses ekstraksi II, antosianin yang masih tersisa juga akan diekstrak kembali, sehingga ekstraksi dapat benar-benar maksimal. Pada tugas khusus ini, proses ekstraksi akan dibuat model ekstraksi dengan sistem *backwash*.

Air pencuci (m_2)



Gambar F.1. *Backwash* pada ekstraksi II

Tabel F.1. Neraca massa pada tangki ekstraksi II

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Dari Tangki Ekstraksi I (F-210)		Ke Proses Pengolahan Kompos	
Kulit ubi jalar:		Kulit ubi jalar:	
pati	464,98	pati	464,98
air	313,20	air	1873,71
protein	13,13	protein	13,13
abu	5985,35	abu	5985,35
lemak	6,91	lemak	6,91
antosianin	1,25	antosianin	1,15
HCl 37%	877,08	Ke Tangki Penetralan (F-310)	
Etanol 96%	3299,47	Ekstraksi antosianin	0,10
Dari Utilitas		HCl 37%	877,08
Air pencuci	2740,34	Etanol 96%	3299,47
		Air pencuci	1179,83
Total	13701,71	Total	13701,71

Dari appendix C, tinggi tangki ekstraksi adalah 1,8 m. Tinggi cake untuk 1 tangki ekstraksi adalah:

$$\text{massa kulit} + \text{massa larutan} = 1096,137 \text{ kg dan } \rho_{\text{campuran}} = 0,489 \text{ kg/l}$$

$$\text{Maka tinggi cake} = \text{Volume cake} / (\pi/4 \cdot \text{ID}^2 \text{ tangki}) = 2,2415,89 \text{ m}^3 / (\pi/4 \cdot 1,8^2) = 0,7 \text{ m}$$

Sehingga, tinggi tangki memadai untuk pencucian/ekstraksi II.

Dari neraca massa di atas, antosianin sisa, HCl dan etanol sisa akan dicuci kembali dengan air pencuci, sehingga :

$$\text{Fraksi } X_{\text{etanol}} = \frac{\text{etanol}}{\text{air} + \text{etanol} + \text{antosianin} + \text{HCl}} = \frac{3299,47}{5356,48} = 0,6160$$

$$\text{Fraksi } X_{\text{HCl}} = \frac{\text{HCl}}{\text{air} + \text{etanol} + \text{antosianin} + \text{HCl}} = \frac{877,08}{5356,48} = 0,1637$$

$$\text{Fraksi } X_{\text{antosianin}} = \frac{\text{antosianin}}{\text{air} + \text{etanol} + \text{antosianin} + \text{HCl}} = \frac{1,25}{5356,48} = 0,0002$$

$$\begin{aligned} \text{Flow rate air pencuci} &= m_2 = 2740,34 \text{ kg} / (10 \text{ buah tangki} \times 2 \text{ jam}) = 137,02 \text{ kg/jam} \\ &= 2,28 \text{ kg/menit.} \end{aligned}$$

m = massa akumulasi larutan yang ada dalam tangki ekstraksi.

Neraca massa komponen :

Etanol

Input – Output = acc

$$0 - X_{\text{etanol}} \cdot m_2 = \frac{d(m \cdot X)}{dt}$$

$$-X \cdot m_2/m = dX/dt$$

$$\int - (m_2/m \cdot dt) = \int dX/X$$

Dengan t mulai dari 0 sampai t , dan X mulai X_0 sampai X .

$$-(m_2/m) \cdot t = \ln \frac{X}{X_0}$$

$$e^{(-m_2/m) \cdot t} \cdot X_0 = X$$

Asumsi :

$$m_2 \text{ masuk} = m_2 \text{ keluar} = 2,28 \text{ kg/menit}$$

Dengan m = massa larutan yang ada dalam cake = $m_2 \Theta + m_0$,

ditetapkan Θ (waktu tinggal) tetap yaitu = 5 menit ,

$$m_0 = \text{massa awal larutan} = 4491 \text{ kg} / 10 \text{ tangki} = 449,1 \text{ kg}$$

$$X_{0\text{etanol}} = 0,6160, \text{ maka } m = (2,28 \text{ kg/menit}) \cdot 5 \text{ menit} + 449,1 \text{ kg} = 460,5 \text{ kg}$$

X dihitung setiap selang waktu t menit :

Tabel F.2. Hubungan waktu dengan fraksi

t	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
X	0,586	0,558	0,531	0,505	0,481	0,458	0,436	0,415	0,395	0,375	0,357	0,34

Keterangan : t dalam menit, m dalam kg, x adalah fraksi larutan keluar

Tabel F.3. Perubahan massa etanol setiap waktu

θ	Awal	Sisa
t=0	3299	0
t=1	3140	159,4
t=2	144,4	15,03
t=3	12,95	2,074
t=4	1,701	0,373
t=5	0,291	0,082
t=6	0,061	0,021
t=7	0,015	0,006
t=8	0,004	0,002
t=9	0,001	7E-04
t=10	4E-04	3E-04
t=11	2E-04	1E-04
t=12	7E-05	5E-05

HCl

Input – Output = acc

$$0 - X_{\text{HCl}} \cdot m_2 = \frac{d(m \cdot X)}{dt}$$

$$-X \cdot m_2/m = dX/dt$$

$$\int - (m_2/m \cdot dt) = \int dX/X$$

Dengan t mulai dari 0 sampai t, dan X mulai X_0 sampai X.

$$-(m_2/m) \cdot t = \ln \frac{X}{X_0}$$

$$e^{(-m_2/m) \cdot t} \cdot X_0 = X$$

Asumsi :

$$m_2 \text{ masuk} = m_2 \text{ keluar} = 2,28 \text{ kg/menit}$$

Dengan m = massa larutan yang ada dalam cake = $m_2 \Theta + m_0$,

ditetapkan Θ (waktu tinggal) tetap yaitu = 5 menit ,

$$m_0 = \text{massa awal larutan} = 4491 \text{ kg} / 10 \text{ tangki} = 449,1 \text{ kg}$$

$X_{o_{\text{antosianin}}} = 0,0002$, maka $m = (2,28 \text{ kg/menit}) \cdot 5 \text{ menit} + 449,1 \text{ kg} = 460,5 \text{ kg}$

X dihitung setiap selang waktu t menit :

Tabel F.4. Hubungan waktu dengan fraksi

t	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
X	0,156	0,148	0,141	0,134	0,128	0,122	0,116	0,110	0,105	0,100	0,095	0,090

Tabel F.5. Perubahan massa HCl setiap waktu

θ	awal	Sisa
t=0	877,1	0
t=1	834,1	42,37
t=2	38,37	3,994
t=3	3,443	0,551
t=4	0,452	0,099
t=5	0,077	0,022
t=6	0,016	0,006
t=7	0,004	0,002
t=8	0,001	5E-04
t=9	3E-04	2E-04
t=10	1E-04	8E-05
t=11	4E-05	3E-05
t=12	2E-05	1E-05

Antosianin

Input – Output = acc

$$0 - X_{\text{antosianin}} \cdot m_2 = \frac{d(m \cdot X)}{dt}$$

$$-X \cdot m_2/m = dX/dt$$

$$\int - (m_2/m \cdot dt) = \int dX/X$$

Dengan t mulai dari 0 sampai t, dan X mulai X_0 sampai X.

$$-(m_2/m) \cdot t = \ln \frac{X}{X_0}$$

$$e^{(-m_2/m) \cdot t} \cdot X_0 = X$$

Asumsi :

$$m_2 \text{ masuk} = m_2 \text{ keluar} = 2,28 \text{ kg/menit}$$

Dengan m = massa larutan yang ada dalam cake = $m_2 \Theta + m_0$,

ditetapkan Θ (waktu tinggal) tetap yaitu = 5 menit ,

m_0 = massa awal larutan = 4491 kg / 10 tangki = 449,1 kg

$X_{0\text{antosianin}} = 0,1637$, maka $m = (2,28 \text{ kg/menit}) \cdot 5 \text{ menit} + 449,1 \text{ kg} = 460,5 \text{ kg}$

X dihitung setiap selang waktu t menit :

Tabel F.6. Hubungan waktu dengan fraksi

t	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	120
$X \cdot 10^4$	1,903	1,811	1,724	1,641	1,561	1,486	1,414	1,346	1,281	1,219	1,16	1,104

Tabel F.7. Perubahan massa antosianin setiap waktu

θ	Awal	Sisa
t=0	1,25	0
t=1	1,19	0,06
t=2	0,055	0,006
t=3	0,005	8E-04

t=4	6E-04	1E-04
t=5	1E-04	3E-05
t=6	2E-05	8E-06
t=7	6E-06	2E-06
t=8	2E-06	8E-07
t=9	5E-07	3E-07
t=10	2E-07	1E-07
t=11	6E-08	4E-08
t=12	2E-08	2E-08

Kesimpulan :

- Untuk etanol, waktu yang dibutuhkan sistem *backwash* dalam mengekstrak/mengambil semua etanol adalah pada saat $t = 90$ menit.
- Untuk HCl, waktu yang dibutuhkan sistem *backwash* dalam mengekstrak/mengambil semua HCl adalah pada saat $t = 80$ menit.
- Untuk antosianin, waktu yang dibutuhkan sistem *backwash* dalam mengekstrak/mengambil semua antosianin adalah pada saat $t = 30$ menit.
- Pada sistem ekstraksi biasa, waktu yang dibutuhkan untuk mengambil semua etanol, HCl, dan antosianin dari *cake* adalah 2 jam.

APPENDIX G

TUGAS KHUSUS III – EVAPORASI DAN KRISTALISASI

Pada tugas khusus pra rencana pabrik antosianin ini, akan dirancang evaporator crystalizer (V-520) yang berfungsi untuk mengurangi kadar air larutan dan mengkristalkan NaCl. Berdasarkan tujuan tersebut maka akan dirancang tangki berjaket dan berpengaduk dengan sistem dwifungsi yaitu untuk proses evaporasi dan kristalisasi secara *batch* (1 *batch* / hari)

G.1. Deskripsi Proses

1. Evaporasi

Proses evaporasi ini bertujuan untuk memanaskan dan memekatkan larutan *feed* sampai konsentrasim NaCl mencapai supersaturated dan terbentuk kristal NaCl. Sebagai media pemanas digunakan superheated steam pada suhu 150 °C dan tekanan 150 kPa (Geankoplis, 1997) yang dialirkan dalam jaket. Setelah proses evaporasi selesai, aliran steam dihentikan.

2. Pendinginan

Pada proses pendinginan larutan didinginkan dengan media pendingin air pada suhu 30 °C yang dialirkan melalui jaket. Hal ini bertujuan untuk menjaga suhu agar tidak menimbulkan kerusakan antosianin (Bab II).

G.2. Neraca Massa (Appendix A)

Pada proses evaporasi dan pendinginan, neraca massa yang terjadi adalah sebagai berikut :

1. Proses evaporasi

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Antosianin	23,03	Antosianin	23,03
NaCl _(l)	48,08	NaCl _(l)	4,42
Air	100,25	Air	11,63
		NaCl _(s)	43,66
		Ke Lingkungan	
		Uap air	88,62
Total	171,36	Total	171,36

2. Proses Pendinginan

Masuk (kg/hari)		Keluar (kg/hari)	
Antosianin	23,03	Antosianin	23,03
NaCl _(l)	4,42	NaCl _(l)	4,19
Air	11,63	Air	11,63
NaCl _(s)	43,66	NaCl _(s)	43,89
Total	82,74	Total	82,74

G.3. Neraca Panas (Appendix B)

Pada proses evaporasi dan kristalisasi ini, neraca panas yang terjadi adalah sebagai berikut :

1. Pada proses evaporasi:

Panas masuk, 30 °C (kkal/hari)		Panas keluar, 106 °C (kkal/hari)	
Antosianin	46,06	Antosianin	746,17
NaCl _(l)	48,49	NaCl _(l)	68,62
Air	500,60	Air	940,81
Kristalisasi	868,72	NaCl _(s)	677,81
		Uap air	49390,17
		Q _{loss}	5758,18
Total	57581,75	Total	57581,75

2. Pada proses pendinginan :

Panas masuk, 106 °C (kka\hari)		Panas keluar, 30 °C (kka\hari)	
Antosianin	746,17	Antosianin	46,06
NaCl _(l)	68,62	NaCl _(l)	4,29
Air	940,81	Air	58,07
NaCl _(s)	677,81	NaCl _(s)	0,24
Kristalisasi	4,58	Air pendingin	2076,37
		Q _{loss}	243,80
Total	2437,99	Total	2437,99

G.4. Kondisi Operasi

1. Evaporasi :

Massa larutan *feed* = 171,36 kg (dari Appendix A, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

Konsentrasi NaCl mula-mula = 0,71 kg/L

Konsentrasi NaCl akhir = 6,15 kg/L (pada akhir pendinginan)

Suhu larutan mula-mula = 30 °C

Suhu larutan setelah evaporasi = 106 °C

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

Tekanan operasi = 1 atm

Massa steam = 84,68 kg (dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

2. Pendinginan :

Massa larutan *feed* = 82,74 kg

(dari appendix A, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

Suhu larutan mula-mula = 106°C

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

Suhu larutan setelah pendinginan = 30 °C

Tekanan pendinginan = 1 atm

Massa air pendingin = 149,79 kg

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

3. Jaket pemanas dan pendingin :

Suhu *steam* (T_1) : 150 °C = 302 °F

Suhu air pendingin masuk (t_1) : 30 °C = 86 °F

Suhu air pendingin keluar (t_2): 45 °C = 113 °F

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

G.5. Perhitungan Diameter dan Tinggi Tangki

Massa larutan masuk tangki = 377.7803 lb

(Appendix A, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

ρ larutan awal = 73,53 lbm/ft³

(dari appendix C, pompa dari tangki evaporasi (V-510))

Volume larutan : $\frac{massa}{densitas_larutan} = \frac{377,7803lb}{73,53lb/ft^3} = 5,1378 \text{ ft}^3$

Diambil : tinggi *shell* (H_s) = 1,5. Diameter *shell* (ID)

Volume *shell* = $(\pi/4) \cdot ID^2 \cdot H_s = (\pi/4) \cdot ID^2 \cdot 1,5 \cdot ID = (\pi/4) \cdot 1,5 \cdot ID^3$

Volume *torispherical dished head* (cuft) = 0,000049.ID³ (ft)

Volume konis = $\pi \cdot ID^3 / 24 \tan 45^\circ$ (ft) (Brownell & Young, pers 5.11, p.88)

Volume tangki = volume *shell* + volume *dished head* + volume konis

Diambil volume tangki = 1,3.volume larutan total

$$= 1,3 \cdot 5,1378 \text{ ft}^3$$

$$= 6,6791 \text{ ft}^3$$

Volume tangki = volume *shell* + volume *dished head* + volume konis

$$\text{Volume tangki} = (\pi/4) \cdot 1,5 \cdot \text{ID}^3 + 0,000049 \cdot \text{ID}^3 + \pi \cdot \text{ID}^3 / 24 \tan 45^\circ$$

$$6,6791 \text{ ft}^3 = 1,3314 \cdot \text{ID}^3$$

$$\text{ID} = 1,7119 \text{ ft} = 0,52 \text{ m distandardkan dengan Kern tabel 11} = 21,25 \text{ in}$$

$$\text{Hs (tinggi shell)} = 1,5 \text{ ID} = 1,5 \cdot 1,7119 \text{ ft} = 2,5678 \text{ ft} = 0,78 \text{ m}$$

$$\text{H}_{sl} = \text{tinggi larutan dalam shell}$$

$$\text{Volume larutan} = \text{volume konis} + \text{volume shell}$$

$$5,1378 \text{ ft}^3 = (\pi/4) \cdot 1,7119^2 \cdot \text{H}_{sl} + \pi \cdot 1,7119^3 / 24 \tan 45^\circ$$

$$5,1378 \text{ ft}^3 = 2,3 \text{ Hs} + 0,7689 \text{ ft}^3$$

$$\text{H}_{sl} = 1,8995 \text{ ft} = 0,58 \text{ m}$$

$$P \text{ operasi} = \frac{\rho \cdot \text{Hs}}{144} = \frac{73,53 \times 2,5678}{144} = 1,3118 \text{ psi}$$

$$P \text{ design} = 1,5 P \text{ operasi} = 1,5 \times 1,3118 = 1,9668 \text{ psi}$$

$$\text{Bahan konstruksi : Carbon steel (f = yield strenght = 16000 psi)}$$

(Brownell & Young)

$$\text{Tebal shell, } t_s$$

$$t_s = \frac{P \cdot \text{ID}}{2 \cdot (f \cdot E - 0,6 \cdot P)} + C = \frac{1,9668 \text{ psi} \cdot 1,7119 \text{ ft}}{2 \cdot (16000 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,9668)} + \frac{1}{8} = 0,1251 \text{ in}$$

$$\text{dipilih tebal shell} = 3/16 \text{ in}$$

$$\text{OD} = \text{ID} + 2 \cdot t_s = 0,52 \text{ m} + (3/16 \cdot 2/39,37) \text{ m} = 0,5295 \text{ m} = 1,7373 \text{ ft}$$

$$\text{OD distandardkan dengan Kern tabel 11} = 22 \text{ in}$$

$$\text{Tebal tutup bawah, } t_k$$

$$t_k = \frac{P \cdot \text{ID}}{2 \cdot (f \cdot E - 0,6 \cdot P) \cdot \cos \alpha} + C = \frac{1,9668 \text{ psi} \cdot 1,7119 \text{ ft}}{2 \cdot (16000 \cdot 0,85 - 0,6 \cdot 1,9668) \cdot \cos 45^\circ} + \frac{1}{8} = 0,1252 \text{ in}$$

$$\text{dipilih tebal tutup bawah} = 3/16 \text{ in}$$

G.6. Pengaduk

Digunakan pengaduk jenis *propeller agitator*.

Diameter impeller (D_a) = 1/3 diameter tangki

$$= 1/3 \cdot 1,7119 \text{ ft}$$

$$= 0,5706 \text{ ft} = 1 \text{ ft} = 0,30 \text{ m}$$

Baffle = 4 buah, dengan lebarnya $D/J = 10$, $J = 0,30/10 = 0,03 \text{ m}$ (Geankoplis,2003)

Kecepatan *impeller* ditetapkan = 125 rpm

Kecepatan peripheral antara = 200 – 250 m/menit (Mc.Cabe)

Kecepatan *periperal* = $\pi \cdot 0,6096 \cdot 200 \text{ rpm} = 239,38 \text{ m/menit}$

μ campuran = $5,51 \cdot 10^{-4} \text{ lb/ft.s}$ (dari appendix C, pompa dari *plate and frame*)

$$N_{Re} = \frac{\rho \cdot N \cdot D_a^2}{\mu} = \frac{73,53 \text{ lb/ft}^3 \cdot 125/60 \text{ rps} \cdot 1 \text{ ft}^2}{5,51 \cdot 10^{-4} \text{ lb/ft.s}} = 278017,24$$

Dari Geankoplis,2003 gambar 3.4-4 didapat : $N_p = 6$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{sg \cdot H_s}{ID} \text{ (Mc.Cabe)}$$

Di mana sg = *spesifik gravity* = 73, 53/62,4

H_s = tinggi shell = 2,5678 ft (dari G.6)

ID = diameter shell = 1,7119 ft (dari G.6)

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{sg \cdot H_s}{ID} = \frac{73,53 \text{ lb/ft}^3 \cdot 2,5678 \text{ ft}}{62,4 \text{ lb/ft}^3 \cdot 1,7119 \text{ ft}} = 1,06 = 1 \text{ buah impeller}$$

$$\text{Power} = \frac{N_p \cdot \rho \cdot N^3 \cdot D_a^5}{g_c} = \frac{6 \cdot 73,53 \text{ lb/ft}^3 \cdot (125/60) \text{ rps}^3 \cdot 1 \text{ ft}^5}{32,17 \text{ lb/ft.lbf.s}^2} = 507,92 \text{ ft.lbf/s} = 0,92 \text{ Hp}$$

Gland losses = 10% = 0,092 Hp

Power input = 0,92 + 0,092 = 1,012 Hp

Transmission system losses = 0,184 Hp

Total power = 1,196 Hp $\approx$ Dipakai power = 1,5 Hp

G.7. Dimensi Jacket

G.7.1. Dimensi Jacket Pemanas

Nilai Rd ditetapkan 0,003 (dari tabel 8, Kern)

$$N_{Re} = L^2 \cdot N \cdot \rho / \mu$$

Di mana L = panjang pengaduk

$$= 0,30 \text{ m}$$

$$\mu = \text{viskositas larutan} = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

(dari appendix C, pompa ke *plate and frame*)

$$\rho = \text{densitas campuran} = 1359,01 \text{ kg/m}^3$$

(dari appendix C, pompa ke *plate and frame*)

$$N = \text{perputaran pengaduk} = 125 \text{ rpm} = 2,083 \text{ rps (dari G.7)}$$

$$\text{Maka, } N_{Re} = \frac{0,3 \text{ m}^2 \cdot 2,083 \text{ rps} \cdot 1359,01 \text{ kg/m}^3}{8,2 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}} = 310699,52$$

Untuk menghitung koefisien perpindahan panas dalam tangki yang dilengkapi jaket pemanas, maka digunakan Kern, grafik 20.2, p.718. Untuk nilai $N_{Re} = 310699,52$ (dari G.5.7), maka didapatkan nilai $j = 4000$. Koefisien perpindahan panas konveksi di dalam tangki dihitung dengan persamaan dari Kern, p.718 sebagai berikut :

$$h_j = \frac{j \cdot k}{D_j} \times \frac{(c_p \cdot \mu)}{k} \times \frac{(\mu)^{0.14}}{(\mu_w)^{0.14}}$$

h_j = koefisien perpindahan panas konveksi, btu/hr.ft².°F

k = konduktivitas thermal, btu/hr.ft.°F

c_p = kapasitas panas, btu/lb.F

μ = viskositas larutan, lb/ft.s

μ_w = viskositas fluida pada suhu T_w , lb/ft.s

D_j = diameter tangki, ft

Data c_p pada suhu operasi dihitung dari Hartel, p.312-313, yaitu :

$$c_{p \text{ mixed}} = \sum_i x_m^i C_{p_i}$$

x_m^i = fraksi massa dari tiap komponen

C_{p_i} = kapasitas panas tiap komponen, kkal/kg.°C

$C_{p \text{ antosianin } 106^\circ\text{C}} = 0,4000 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$C_{p \text{ NaCl } 106^\circ\text{C}} = 0,9082 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$C_{p \text{ air } 106^\circ\text{C}} = 1,0076 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$x_{\text{antosianin}} = 0,1344$ (dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$x_{\text{NaCl}} = 0,2806$ (dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$x_{\text{air}} = 0,5850$ (dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

maka $c_{p \text{ mixed}} = x_{\text{antosianin}} \cdot C_{p \text{ antosianin}} + x_{\text{NaCl}} \cdot C_{p \text{ NaCl}} + x_{\text{air}} \cdot C_{p \text{ air}}$

$$= ((0,1344 \cdot 0,4000) + (0,2806 \cdot 0,9082) + (0,5850 \cdot 1,0076)) \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$$

$$= 0,8980 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} = 3,7597 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Data k pada suhu operasi dihitung dengan persamaan dari Hartel, p.312-313 sebagai berikut :

$$k_{\text{mixed}} = \sum x_v^i x k_i$$

Di mana x_v^i = fraksi volume dari tiap komponen = $\frac{X_i^m / \rho_i}{\sum_i X_i^m / \rho_i}$

k_i = konduktivitas termal tiap komponen, W/m.°C

ρ_i = densitas tiap komponen, kg/m³

X_i^m = fraksi massa dari tiap komponen

$$k_{\text{air}} = 5,7109 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} T - 6,7036 \cdot 10^{-6} T^2 \quad (\text{Hartel, p.312-313})$$

$$= 5,7109 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} (106) - 6,7036 \cdot 10^{-6} (106^2) = 0,6826 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Ditetapkan $k_{\text{antosianin}} = k_{\text{air}} = 0,6826 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

$$k_{\text{NaCl}} = 3,2962 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} T - 6,7036 \cdot 10^{-6} T^2 \quad (\text{Hartel, p.312-313})$$

$$= 3,2962 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} (106) - 6,7036 \cdot 10^{-6} (106)^2$$

$$= 0,4411 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\rho_{\text{air}} = 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} T - 3,7574 \cdot 10^{-3} T^2$$

$$= 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (106) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (106)^2 = 955,2951 \text{ kg/m}^3$$

Ditetapkan $\rho_{\text{antosianin}} = \rho_{\text{air}} = 955,2951 \text{ kg/m}^3$

$$\rho_{\text{NaCl}} = 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} T$$

$$= 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} (106) = 2394,0532 \text{ kg/m}^3$$

$$x_{\text{antosianin}} = 0,1344 \quad (\text{dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520)})$$

$$x_{\text{NaCl}} = 0,2806 \quad (\text{dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520)})$$

$$x_{\text{air}} = 0,5850 \quad (\text{dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520)})$$

$$\sum_i x_i^m / \rho_i = \Sigma \text{ Fraksi massa komponen} / \rho_{\text{komponen}}$$

$$= (0,1344/955,2951) + (0,2806/2394,0532) + (0,5850/955,2951)$$

$$= 0,00085$$

$$k_{\text{mixed}} = \Sigma x_v^i x k_i$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{X_i^m / \rho_i}{\sum_i X_i^m / \rho_i} \times k_{\text{komponen}} \\
&= (0,00014 \times 0,6826 / 0,00085) + (0,00017 \times 0,4411 / 0,00085) + \\
&\quad (0,00059 \times 0,6826 / 0,00085) \\
&= 0,6744 \text{ W/m}^\circ\text{C}
\end{aligned}$$

$$\mu_w = \mu_{\text{mixed}} = 8,2 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s} \quad (\text{dari appendix C, pompa dari plate and frame})$$

Sehingga,

$$\begin{aligned}
h_j &= \frac{j \times k}{D_j} \times \frac{(c_p \times \mu)}{k} \times \frac{(\mu)^{0.14}}{(\mu_w)^{0.14}} \\
&= \frac{3900 \times 0,6744 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0,5397 \text{ m}} \times \frac{(3,7597 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 8,20 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s})^{1/3}}{(0,6744 \text{ J/s.m}^\circ\text{C} \cdot 10^{-3} \text{ kJ/J})^{1/3}} \times 1 \\
&= 8088,10 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} = 1423,50 \text{ btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}
\end{aligned}$$

$$h_{\text{steam}} = 1500 \text{ btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F} \quad (\text{Kern p.164})$$

$$U_C = \frac{h_j \cdot h_{\text{steam}}}{h_j + h_{\text{steam}}} = \frac{1423,50 \cdot 1500}{1423,50 + 1500} = 730,38 \text{ btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

$$U_D = \frac{1}{1/U_C + R_D} \quad (\text{Kern, p.168})$$

$$U_D = 350,67 \text{ btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

Dengan luas permukaan jaket dihitung dari Kern, persamaan halaman 720,

dengan ID jaket yang dipakai dari F.V = 21,25 in = 1,7708 ft

$$A = \pi \times \text{ID}_{\text{shell}} \times H_{\text{larutan}} + \pi/4 \times \text{ID}_{\text{shell}}^2$$

$$\text{ID}_{\text{shell}} = 1,7708 \text{ ft} \quad (\text{dari G.5})$$

$$H_{\text{larutan}} = 1,8995 \text{ ft} \quad (\text{dari G.5})$$

$$A = \pi \times 1,7708 \text{ ft} \times 1,8995 \text{ ft} + \pi/4 \times 1,7708 \text{ ft}^2 = 10,0296 \text{ ft}^2 = 0,9318$$

$$\text{Tinggi jaket} = \frac{A}{\pi \cdot ID_{\text{shell}}}, \text{ dimana } ID_{\text{shell}} = 0,5397 \text{ m (Kern, tabel 11) maka,}$$

$$\text{Tinggi jaket} = \frac{0,9318}{\pi \cdot 0,5397} = 0,54 \text{ m} = 1,7716 \text{ ft}$$

Tinggi jaket (0,54 m) lebih kecil dari tinggi bahan di evaporasi dan kristalisasi (V-520) (0,58 m) sehingga jaket yang dipakai memenuhi.

Diameter jaket dihitung dari :

$$\text{Volumetric rate} = \text{kecepatan aliran} \cdot \pi/4 \cdot (D_{\text{jaket}}^2 - OD_{\text{shell}}^2)$$

$$\text{Volumetric rate steam} = 105,85 \text{ kg/jam} = 233,36 \text{ lbt/jam (dari G.7.2.1)}$$

$$v = \text{specifik volume untuk superheated steam } 150^\circ\text{F dan } 150 \text{ kPa} = 22,36 \text{ ft}^3/\text{lb}$$

$$\text{Maka Volumetric rate steam} = 233,36 \text{ lb/jam} \cdot 22,36 \text{ ft}^3/\text{lb} / 3600 \text{ s/jam} = 1,449 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Kecepatan aliran ditetapkan 1 ft/s

$$OD_{\text{shell}} = 22 \text{ in} = 1,8333 \text{ ft (dari F.V)}$$

$$1,449 \text{ ft}^3/\text{s} = 1 \text{ ft/s} \cdot \pi/4 \cdot (D_{\text{jaket}}^2 - 1,8333 \text{ ft}^2)$$

$$D_{\text{jaket}} = 2,2818 \text{ ft} = 0,70 \text{ m}$$

$$\text{Jaket spacing} = D_{\text{jaket}} - OD_{\text{shell}} = 2,2818 \text{ ft} - 1,8333 \text{ ft} = 0,4485 \text{ ft} = 0,14 \text{ m}$$

G.7.1.1. Waktu evaporasi dan kristalisasi :

Pada sistem *batch*, waktu penguapan yang dilakukan menggunakan persamaan 18.5 Kern, 1965, U_D dari G.7.1 adalah 350,67.

$$T_1 = \text{suhu steam} = 302^\circ\text{F}$$

$$t_1 = \text{suhu larutan masuk evaporasi} = 86^\circ\text{F}$$

$$t_2 = \text{suhu larutan keluar evaporasi} = 222,8^\circ\text{F}$$

$$M = \text{Massa larutan masuk evaporasi} = 171,36 \text{ kg} = 377,79 \text{ lb (Dari Appendix A)}$$

$$c = 0,8980 \text{ btu/lb.}^{\circ}\text{F (dari F.VIII.1)}$$

$$\ln \frac{T_1 - t_1}{T_1 - t_2} = \frac{U \cdot A \cdot \theta}{M \cdot c} \text{ persamaan 18.5, Kern, 1965}$$

$$\ln \frac{302 - 86}{302 - 222,8} = \frac{350,67 \cdot 7,0803 \cdot \theta}{377,79 \cdot 0,8980}$$

$$\theta = 0,13 \text{ jam}$$

Panas laten air = massa uap air yang terbentuk . $H_{v \text{ uap air}}$, di mana :

$$\text{Massa uap air yang terbentuk} = 77,22 \text{ kg}$$

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$$\lambda_{\text{ uap air}} = 639,6033 \text{ kkal/kg} \quad (\text{dari Perry, edisi 6})$$

maka :

$$\text{Panas laten air} = 77,22 \text{ kg} \cdot 639,6033 \text{ kkal/kg} = 49390,17 \text{ kkal}$$

$$\text{Panas sensibel larutan saat evaporasi} = 9728,60 \text{ kkal (dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))}$$

Diasumsi laju perpindahan panas untuk pemanasan larutan =

$$\begin{aligned} \text{laju perpindahan panas untuk penguapan air} &= 9728,60 \text{ kkal} / 0,13 \text{ jam} \\ &= 74835,38 \text{ kkal/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu penguapan yang dibutuhkan} &= \text{panas laten} / \text{laju perpindahan panas} \\ &= (49390,17 / 74835,38 \text{ kkal/jam}) \\ &= 0,66 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\text{Panas kristalisasi} = 868,72 \text{ kkal}$$

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$$\begin{aligned} \text{Waktu kristalisasi} &= \text{Panas kristalisasi} / \text{laju perpindahan panas} \\ &= 868,72 \text{ kkal} / 74835,58 \text{ kkal/jam} \\ &= 0,01 \text{ jam} \end{aligned}$$

Total waktu = waktu pemanasan + waktu penguapan + waktu kristalisasi

$$= 0,13 + 0,66 + 0,01$$

$$= 0,8 \text{ jam} = 48 \text{ menit}$$

Rate steam untuk evaporasi adalah = *Steam* / waktu total evaporasi = 84,68

$$\text{kg} / 0,8 \text{ jam} = 105,85 \text{ kg/jam}$$

G.7.2. Dimensi Jacket Pendingin

Nilai R_d ditetapkan 0,003 (dari tabel 8, Kern)

$$N_{Re} = L^2 \cdot N \cdot \rho / \mu$$

dimana L = panjang pengaduk

$$= 0,30 \text{ m}$$

$$\mu = \text{viskositas larutan} = 8,33 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s}$$

(dari appendix C, pompa ke *plate and frame*)

$$\rho = \text{densitas campuran} = 1917,06 \text{ kg/m}^3$$

(dari appendix C, pompa ke *plate and frame*)

$$N = \text{perputaran pengaduk} = 125 \text{ rpm} = 2,083 \text{ rps (dari F.VII)}$$

$$\text{Maka, } N_{Re} = \frac{0,3^2 \cdot 1917,06 \cdot 2,083}{8,33 \cdot 10^{-4}} = 154245,16$$

Untuk menghitung luas permukaan jaket pemanas yang dibutuhkan, maka digunakan Kern, grafik 20.2, p.718. Untuk nilai $N_{Re} = 154245,16$, maka didapatkan nilai $j = 800$. Koefisien perpindahan panas konveksi di dalam tangki dihitung dengan persamaan dari Kern, p.718 sebagai berikut :

$$h_j = \frac{j \cdot k}{D_j} \times \frac{(c_p \cdot \mu)}{k} \times \frac{(\mu)^{0.14}}{(\mu_w)^{0.14}}$$

Di mana h_j = koefisien perpindahan panas konveksi, $\text{btu/hr.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$

k = konduktivitas thermal, btu/hr.ft.°F

c_p = kapasitas panas, btu/lb.F

μ = viskositas larutan, lb/ft.s

μ_w = viskositas fluida pada suhu T_w , lb/ft.s

D_j = diameter tangki, ft

Data c_p pada suhu operasi dihitung dari Hartel, p.312-313, yaitu :

$$c_{p,mixed} = \sum_i x_m^i C_{p_i}$$

Di mana : x_m^i = fraksi massa dari tiap komponen

C_{p_i} = kapasitas panas tiap komponen, kkal/kg.°C

$$C_{p \text{ antosianin } 30^\circ\text{C}} = 0,4000 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$$

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$$C_{p \text{ NaCl } 30^\circ\text{C}} = 0,0599 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$$

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$$C_{p \text{ air } 30^\circ\text{C}} = 0,9987 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$$

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$$x_{\text{antosianin}} = 0,2932 \quad (\text{dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520)})$$

$$x_{\text{NaCl}} = 0,6121 \quad (\text{dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520)})$$

$$x_{\text{air}} = 0,1481 \quad (\text{dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520)})$$

$$\text{maka } c_{p \text{ mixed}} = x_{\text{antosianin}} \cdot C_{p \text{ antosianin}} + x_{\text{NaCl}} \cdot C_{p \text{ NaCl}} + x_{\text{air}} \cdot C_{p \text{ air}}$$

$$= ((0,2932 \cdot 0,4000) + (0,6121 \cdot 0,0599) + (0,1481 \cdot 0,9987)) \text{ kkal/kg}^\circ\text{C}$$

$$= 0,3019 \text{ kkal/kg}^\circ\text{C} = 1,2629 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$$

Data k pada suhu operasi dihitung dengan persamaan dari Hartel, p.312-313

sebagai berikut :

$$k_{\text{mixed}} = \sum x_v^i k_i$$

$$\text{Di mana } x_v^i = \text{fraksi volume dari tiap komponen} = \frac{X_i^m / \rho_i}{\sum_i X_i^m / \rho_i}$$

k_i = konduktivitas termal tiap komponen, W/m.°C

ρ_i = densitas tiap komponen, kg/m³

X_i^m = fraksi massa dari tiap komponen

$$\begin{aligned} k_{\text{air}} &= 5,7109 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} T - 6,7036 \cdot 10^{-6} T^2 \quad (\text{Hartel, p.312-313}) \\ &= 5,7109 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} (30) - 6,7036 \cdot 10^{-6} (30^2) = 0,6179 \text{ W/m}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Ditetapkan $k_{\text{antosianin}} = k_{\text{air}} = 0,6179 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

$$\begin{aligned} k_{\text{NaCl}} &= 3,2962 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} T - 6,7036 \cdot 10^{-6} T^2 \quad (\text{Hartel, p.312-313}) \\ &= 3,2962 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} (30) - 6,7036 \cdot 10^{-6} (30)^2 \\ &= 0,3765 \text{ W/m}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{air}} &= 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} T - 3,7574 \cdot 10^{-3} T^2 \\ &= 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (30) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (30)^2 = 993,8927 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

Ditetapkan $\rho_{\text{antosianin}} = \rho_{\text{air}} = 993,8927 \text{ kg/m}^3$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{NaCl}} &= 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} T \\ &= 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} (30) = 2415,3811 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$x_{\text{antosianin}} = 0,2932 \quad (\text{dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520)})$$

$$x_{\text{NaCl}} = 0,6121 \quad (\text{dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520)})$$

$$x_{\text{air}} = 0,1481 \quad (\text{dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520)})$$

$$\begin{aligned} \sum_i x_i^m / \rho_i &= \Sigma \text{Fraksi massa komponen} / \rho_{\text{komponen}} \\ &= (0,2932/993,8927) + (0,6121/2415,3811) + (0,1481/993,8927) \\ &= 0,00070 \end{aligned}$$

$$k_{mixed} = \sum x_v^i k_i$$

$$= \frac{X_i^m / \rho_i}{\sum_i X_i^m / \rho_i} \times k_{komponen}$$

$$= (0,00030 \times 0,6179 / 0,00070) + (0,00025 \times 0,3765 / 0,00070) + (0,0016 \times 0,6179 / 0,00070)$$

$$= 1,8116 \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

$$\mu_w = \mu_{mixed} = 2,33 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s} \quad (\text{dari appendix C, pompa dari plate and frame})$$

Sehingga,

$$h_j = \frac{j \times k}{D_j} \times \frac{(c_p \times \mu)}{k} \times \frac{(\mu)^{0.14}}{(\mu_w)^{0.14}}$$

$$= \frac{800 \times 1,8116 \text{ W/m}^\circ\text{C}}{0,52 \text{ m}} \times \frac{(1,2629 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times 8,33 \cdot 10^{-4} \text{ kg/m.s})^{1/3}}{(1,8116 \text{ J/s.m}^\circ\text{C} \cdot 10^{-3} \text{ kJ/J})^{1/3}} \times 1$$

$$= 1453,2696 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C} = 255,78 \text{ btu/h.ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}$$

A pada pendinginan = A pada evaporasi

$$A = \pi \times ID_{shell} \times H_{larutan} + \pi/4 \times ID_{shell}^2$$

$$ID_{shell} = 1,7708 \text{ ft (dari G.5)}$$

$$H_{larutan} = 1,8995 \text{ ft (dari G.5)}$$

$$A = \pi \times 1,7708 \text{ ft} \times 1,8995 \text{ ft} + \pi/4 \times 1,7708 \text{ ft}^2 = 10,02996 \text{ ft}^2 = 0,9318$$

$$\text{Tinggi jaket} = \frac{A}{\pi \cdot ID_{shell}}, \text{ dimana } ID_{shell} = 0,5397 \text{ m (Kern, tabel 11) maka,}$$

$$\text{Tinggi jaket} = \frac{0,9318}{\pi \cdot 0,5397} = 0,54 \text{ m} = 1,7716 \text{ ft}$$

Tinggi jaket (0,54 m) lebih kecil dari tinggi bahan di evaporasi dan kristalisasi (V-520) (0,58 m) sehingga jaket yang dipakai memenuhi.

Trial waktu pendinginan adalah 4 menit = 0,07 jam

D_{jaket} ditentukan dari G.7.1 = 2,2818 ft = 0,70 m

Velocity linear air pendingin (v) dalam jaket ditentukan :

Volumetric rate = kecepatan aliran $\cdot \pi/4 \cdot (D_{\text{jaket}}^2 - OD_{\text{shell}}^2)$

Volumetric rate air pendingin = 4716,71 ft³/jam (dari F.VII.2.1)

Maka Volumetric rate air pendingin = 4716,71 ft³/jam / 3600 s/jam = 1,3101 ft³/s

OD_{shell} = 1,8333 (kern, tabel 11)

1,3101 ft³/s = $v \cdot \pi/4 \cdot (2,2818^2 - 1,8333^2)$

$v = 0,90$ ft/s

h air pendingin = 320 btu/h.ft².°F (Kern p.835)

$$U_C = \frac{h_j \cdot h_{\text{airpendingin}}}{h_j + h_{\text{airpendingin}}} = \frac{255,78 \cdot 320}{255,78 + 320} = 142,15 \text{ btu/h.ft}^2\text{°F}$$

$$U_D = \frac{1}{1/U_C + R_D} \text{ (Kern, p.168)}$$

$U_D = 99,65$ btu/h.ft².F

G.7.2.1. Waktu pendinginan dan kristalisasi :

Waktu pendinginan dihitung dari persamaan 18.11 sebagai berikut :

$$\ln \frac{T_1 - t_1}{T_2 - t_1} = \frac{wc}{M \cdot C} \left(\frac{K_2 - 1}{K_2} \right) \theta$$

dengan $K_2 = e^{U \cdot A / wc}$

T_1 = suhu air pendingin masuk 86 °F

T_2 = suhu air pendingin keluar = 113 °F

t_1 = suhu larutan setelah evaporasi = 222,8 °F

wc = massa aliran air dingin 149,79 kg = 330,17 lb

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$M = \text{massa larutan} = 182,41 \text{ lb}$

(dari appendix B, evaporasi dan kristalisasi (V-520))

$C = \text{specific heat campuran} = 0,3019 \text{ btu/lb.}^\circ\text{F}$ (dari G.7.2)

$U_D = 99,65 \text{ btu/lb.ft}^2.^\circ\text{F}$ (dari G.7.2)

$A = 7,0803 \text{ ft}^2$ (dari G.7.2)

$K_2 = e^{(99.65 \text{ btu/lb.ft}^2.^\circ\text{F} \cdot 7,0803 \text{ ft}^2 / 330,17 \text{ lb})}$

$$\ln \frac{86^\circ\text{F} - 222,8^\circ\text{F}}{113^\circ\text{F} - 222,8^\circ\text{F}} = \frac{330,17 \text{ lb}}{182,41 \text{ lb} \cdot 0,3019 \text{ btu/lb.}^\circ\text{F}} \left(\frac{8,4734 - 1}{8,4734} \right) \theta$$

$\theta = 0,07 \text{ jam} = 4 \text{ menit}$

$\text{laju pendinginan} = \text{panas sensibel pendinginan} / \text{waktu pendinginan}$

$$= 2433,41 \text{ kkal} / 0,07 \text{ jam} = 34763 \text{ kkal/jam}$$

$\text{Waktu kristalisasi} = 4,58 \text{ kkal} / 34763 \text{ kkal/jam} = 0,0001 \text{ jam} = \text{diabaikan}$

$\text{Total waktu pendinginan} = 4 \text{ menit}$

$\text{Rate air pendingin} = 330,17 \text{ lb} / 0,07 \text{ jam} = 4716,71 \text{ lb/jam}$

G.8. Waktu operasi

G.8.1. Waktu Pengisian

Waktu yang dibutuhkan dalam proses pengisian larutan masuk adalah ditentukan dari data waktu yang telah ditetapkan pada appendix C, pompa dari *plate and frame* yaitu 30 menit

G.8.2. Waktu Evaporasi dan Kristalisasi

Waktu yang dibutuhkan dalam proses evaporasi dan kristalisasi telah dihitung dalam G.7.1.1 yaitu 48 menit.

G.8.3. Waktu pendinginan dan kristalisasi

Waktu yang dibutuhkan dalam proses pendinginan dan kristalisasi telah dihitung dalam G.7.2.1 yaitu 4 menit.

F.V.4 Waktu Pengosongan

Waktu yang dibutuhkan dalam proses pengosongan larutan keluar adalah ditentukan dari data waktu yang telah ditetapkan pada appendix C, pompa ke tangki penampung yaitu 15 menit.

G.8.5 Total Waktu

Waktu total dalam proses evaporasi dan kristalisasi adalah jumlah waktu pengisian, waktu evaporasi dan kristalisasi, waktu pendinginan dan waktu pengosongan.:

$$\begin{aligned}\text{Waktu total} &= \text{waktu pengisian} + \text{waktu evaporasi} + \text{waktu pendinginan} + \text{waktu pengosongan} \\ &= 30 \text{ menit} + 48 \text{ menit} + 4 \text{ menit} + 15 \text{ menit} = 97 \text{ menit}\end{aligned}$$

Spesifikasi Alat :

Nama alat : Evaporator dan Kristalizer

Kapasitas : 377,78 lb

ID shell : 1,7708 ft

H shell : 1,2467 ft

ts : 3/16 in

Pengaduk : *propeller* agitator

Power : 1,5 Hp

Jaket : Pemanas dan pendingin

D_{jaket} : 2,2818 ft

H_{jaket} : 1,7716 ft

Jumlah : 1 buah

Bahan : *Carbon steel SA-240 grade C*

Tugas Khusus Backwash

Neraca Massa Komponen

1. Etanol 96 %

Input – Output = acc

$$0 - X_{\text{etanol } 96\%} \cdot m_2 = \rho_{\text{etanol } 96\%} \cdot \frac{dV_{\text{etanol } 96\%}}{dt}$$

$$dV_{\text{etanol } 96\%} = \frac{X_{\text{etanol } 96\%} \cdot m_2}{\rho_{\text{etanol } 96\%}} \cdot dt$$

$$V_{\text{etanol } 96\%} = \frac{X_{\text{etanol } 96\%} \cdot m_2}{\rho_{\text{etanol } 96\%}} \cdot (t_2 - t_1)$$

2. HCl 37%

Input – Output = acc

$$0 - X_{\text{HCl } 37\%} \cdot m_2 = \rho_{\text{HCl } 37\%} \cdot \frac{dV_{\text{HCl } 37\%}}{dt}$$

$$dV_{\text{HCl } 37\%} = \frac{X_{\text{HCl } 37\%} \cdot m_2}{\rho_{\text{HCl } 37\%}} \cdot dt$$

$$V_{\text{HCl } 37\%} = \frac{X_{\text{HCl } 37\%} \cdot m_2}{\rho_{\text{HCl } 37\%}} \cdot (t_2 - t_1)$$

3. Air

Input – Output = acc

$$X_{\text{air}} \cdot m_1 - X_{\text{air}} \cdot m_2 = \rho_{\text{air}} \cdot \frac{dV_{\text{air}}}{dt}$$

$$X_{\text{air}} = 100 \text{ g}/100 \text{ g air} = 1$$

$$dV_{\text{air}} = \frac{(m_1 - m_2)}{\rho_{\text{air}}} \cdot dt$$

$$V_{\text{air}} = \frac{(m_1 - m_2)}{\rho_{\text{air}}} \cdot (t_2 - t_1)$$

Keterangan : X = solubility (g/100 g air)

m = laju alir massa air

V = Volume

t = lama backwash

