

APPENDIX A

PERHITUNGAN NERACA MASSA

Kapasitas bahan baku kedelai kotor = 18,1164 ton/hari

$$\begin{aligned}
 &= \frac{18,1164 \text{ ton}}{1 \text{ hari}} \times \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} \times \frac{1 \text{ hari}}{24 \text{ jam}} \\
 &= 754,85 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

A.1. Screening

Biji kedelai kotor melewati dua tahapan *screening*, tahap I digunakan untuk kotoran yang berukuran besar dan tahap II untuk kotoran yang berukuran kecil. Kedelai yang digunakan mengandung 1% kotoran [11]. Dalam *screen* diambil asumsi :

1. kotoran besar sebanyak 0,5 % kedelai kotor.
2. kotoran kecil sebanyak 0,5 % kotoran kotor.

- ***Screening I* (H-113)**



1. Komponen masuk *screening I*

Komponen masuk screening I berupa biji kedelai yang mengandung 1 % kotoran = 754,85 kg/jam.

2. Komponen keluar *screening I*

Komponen keluar *screening I* berupa biji kedelai dan kotoran besar dengan komposisi:

- kotoran besar = $(754,85 \times 0,5\%) \text{ kg/jam} = 3,77 \text{ kg/jam}$
- Biji kedelai bersih + kotoran kecil = $(754,85 - 3,77) \text{ kg/jam}$
 $= 751,08 \text{ kg/jam}$

• **Screening II (H-114)**



1. Komponen masuk *screening II*

Komponen masuk *screening II* berupa biji kedelai dan kotoran kecil = 751,08 kg/jam.

2. Komponen keluar *screening II*

Komponen keluar *screening II* berupa biji kedelai dan kotoran kecil dengan komposisi:

- kotoran kecil = (1 % - 0,5 %) 754,85 kg/jam = 3,77 kg/jam
- biji kedelai bersih = $(751,08 - 3,77)$ kg/jam = 747,31 kg/jam \approx 747,37kg/jam

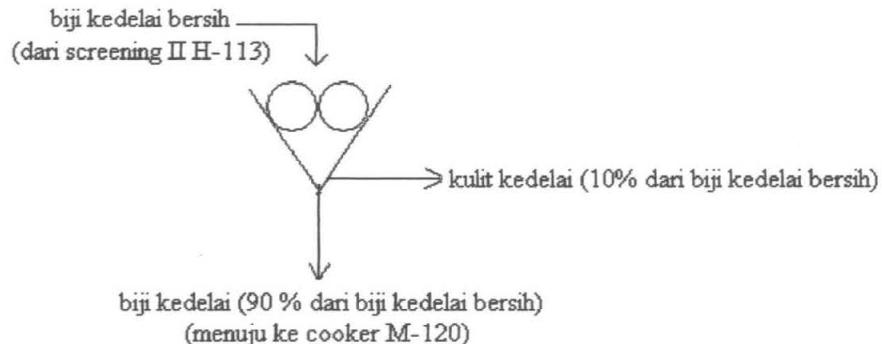
A.2. Destoner (C-110)

Data yang digunakan:

- Biji kedelai bersih terdiri dari 90% biji (kotiledon), dan 10% kulit [24].

Asumsi yang digunakan di *destoner* adalah:

- Pada bagian keluar *destoner*, tidak ada kulit yang terikut di biji kedelai dan tidak ada biji kedelai yang terikut di kulit.



1. Komponen masuk *destoner*

Komponen masuk *destoner* berupa biji kedelai dengan komposisi [12]:

- protein	= 35,59%
- lemak	= 17,78%
- karbohidrat	= 30,72%
- ash	= 4,35%
- air	= 11,56%

Massa kedelai masuk *destoner* = 747,37 kg/jam

Massa komponen:

- protein	= $0,3559 \times 747,37 \text{ kg/jam} = 265,99 \text{ kg/jam}$
- lemak	= $0,1778 \times 747,37 \text{ kg/jam} = 132,88 \text{ kg/jam}$
- karbohidrat	= $0,3072 \times 747,37 \text{ kg/jam} = 229,59 \text{ kg/jam}$
- ash	= $0,0435 \times 747,37 \text{ kg/jam} = 32,51 \text{ kg/jam}$
- air	= $0,1156 \times 747,37 \text{ kg/jam} = 86,40 \text{ kg/jam}$

2. Komponen keluar *destoner*

Komponen keluar *destoner* berupa biji (kotiledon), dan kulit kedelai.

Massa biji (kotiledon) = $0,9 \times 747,37 \text{ kg/jam} = 672,63 \text{ kg/jam}$

Massa kulit = $0,1 \times 747,37 \text{ kg/jam} = 74,74 \text{ kg/jam}$

Tabel A.1. Komposisi biji kedelai dan kulit dalam % basis kering [12,24]

Komponen	Protein	Lemak	Karbohidrat	Ash
Biji (kotiledon)	43	22	30	5
Kulit	15,4	3	77,4	4,2

Massa air dalam biji dan kulit belum diketahui. Maka, massa air di biji dan kulit dihitung dengan cara:

Misal: massa air di biji kedelai = x kg/jam

$$\text{massa non air di biji kedelai} = (672,63 - x) \text{ kg/jam}$$

$$\text{massa air di kulit} = (86,40 - x) \text{ kg/jam}$$

$$\text{massa non air di kulit} = (74,74 - (86,40 - x)) \text{ kg/jam}$$

$$= (x - 11,66) \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Massa protein total} &= \text{massa protein di biji kedelai} + \text{massa protein di kulit} \\
 &= (\% \text{protein} \times \text{massa non air biji}) + (\% \text{protein} \times \text{massa non air kulit})
 \end{aligned}$$

$$265,99 \text{ kg/jam} = 0,43 (672,63 - x) + 0,154 (x - 11,66)$$

$$265,99 \text{ kg/jam} = 289,2309 - 0,43x + 0,154x - 1,7956$$

$$x = 77,69 \text{ kg/jam}$$

Jadi massa air di biji kedelai = 77,69 kg/jam

Massa non air di biji = $(672,63 - 77,69)$ kg/jam = 594,94 kg/jam

Massa air di kulit = massa air total – massa air di biji

$$= (86,40 - 77,69) \text{ kg/jam} = 8,71 \text{ kg/jam}$$

Massa non air di kulit = $(74,74 - 8,71)$ kg/jam = 66,03 kg/jam

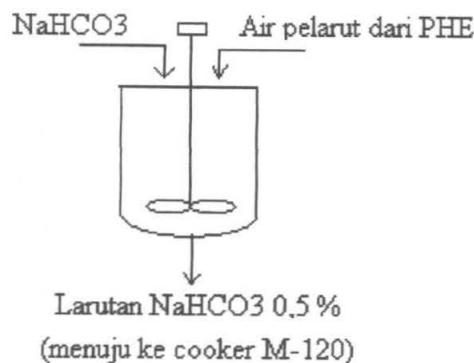
Massa komponen dalam biji kedelai (tanpa kulit):

$$\begin{aligned}
 - \text{protein} &= 0,43 \times (672,63 - 77,69) \text{ kg/jam} = 255,83 \text{ kg/jam} \\
 - \text{lemak} &= 0,22 \times (672,63 - 77,69) \text{ kg/jam} = 130,89 \text{ kg/jam} \\
 - \text{karbohidrat} &= 0,30 \times (672,63 - 77,69) \text{ kg/jam} = 178,48 \text{ kg/jam} \\
 - \text{ash} &= 0,05 \times (672,63 - 77,69) \text{ kg/jam} = 29,75 \text{ kg/jam} \\
 - \text{air} &= 77,69 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

Massa komponen dalam kulit kedelai:

$$\begin{aligned}
 - \text{protein} &= 0,154 \times (74,74 - 8,71) \text{ kg/jam} = 10,17 \text{ kg/jam} \\
 - \text{lemak} &= 0,03 \times (74,74 - 8,71) \text{ kg/jam} = 1,98 \text{ kg/jam} \\
 - \text{karbohidrat} &= 0,774 \times (74,74 - 8,71) \text{ kg/jam} = 51,11 \text{ kg/jam} \\
 - \text{ash} &= 0,042 \times (74,74 - 8,71) \text{ kg/jam} = 2,77 \text{ kg/jam} \\
 - \text{air} &= 8,71 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

A.3. Mixer NaHCO₃ (M-121)



1. Komponen masuk *mixer* NaHCO₃

Komponen masuk *mixer* NaHCO₃ adalah air pelarut dan NaHCO₃. Perbandingan antara massa biji kedelai (kg) dengan massa larutan NaHCO₃ 0,5 % (kg) = 1 : 2,5 [25].

Massa larutan NaHCO₃ yang dibutuhkan = $2,5 \times 672,63 \text{ kg/jam}$

$$= 1681,58 \text{ kg/jam}$$

Konsentrasi larutan NaHCO₃ adalah 0,5% [1]

$$\% \text{ NaHCO}_3 = \frac{\text{massa NaHCO}_3}{\text{massa larutan}} \times 100\%$$

$$0,5\% = \frac{\text{massa NaHCO}_3}{1681,58 \text{ kg/jam}} \times 100\%$$

$$\text{Laju alir NaHCO}_3 \text{ padat} = 8,41 \text{ kg/jam}$$

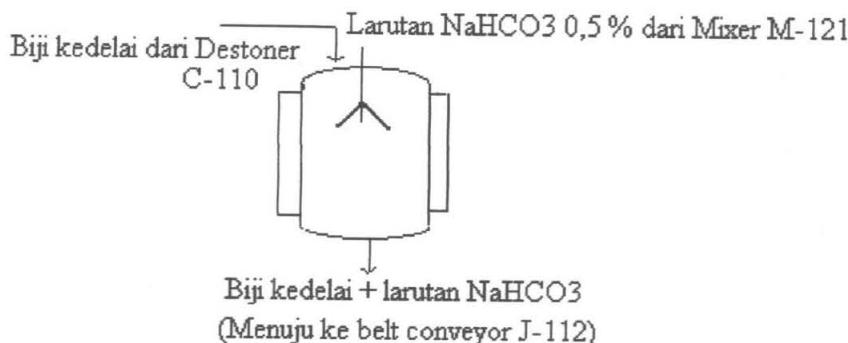
$$\text{Laju alir air pelarut yang dibutuhkan} = (1681,58 - 8,41) \text{ kg/jam}$$

$$= 1673,17 \text{ kg/jam}$$

2. Komponen keluar *mixer* NaHCO₃

Komponen keluar *mixer* NaHCO₃ adalah berupa larutan NaHCO₃ dengan laju alir massa 1681,58 kg/jam

A.4. Cooker (M-120)



1. Komponen masuk cooker

Komponen masuk *cooker* berupa biji kedelai dari *destoner*, dan larutan NaHCO₃ dari *mixer* NaHCO₃.

Massa biji kedelai masuk *cooker* = 672,63 kg/jam, dengan komponen:

- protein = 255,83 kg/jam
- lemak = 130,89 kg/jam
- karbohidrat = 178,48 kg/jam
- ash = 29,75 kg/jam
- air = 77,69 kg/jam

Massa larutan NaHCO₃ masuk *cooker* = 1681,58 kg/jam, dengan komponen:

- NaHCO₃ = 8,41 kg/jam
- Air = 1673,17 kg/jam

2. Komponen keluar cooker

Komponen keluar *cooker* berupa campuran antara biji kedelai dan larutan NaHCO₃ dengan massa

$$= (672,63 + 1681,58) \text{ kg/jam}$$

$$= 2354,22 \text{ kg/jam}$$

Massa komponen biji kedelai dan larutan NaHCO₃ adalah:

- protein = 255,83 kg/jam
- lemak = 130,89 kg/jam
- karbohidrat = 178,48 kg/jam
- ash = 29,75 kg/jam
- NaHCO₃ = 8,41 kg/jam
- air = (1673,17 + 77,69) kg/jam = 1750,86 kg/jam

A.4. Belt Conveyor (J-123)

1. Komponen masuk belt conveyor

Komponen masuk belt conveyor adalah berupa campuran biji kedelai dan larutan NaHCO₃ yang keluar dari cooker dengan massa 2354,22 kg/jam. Massa komponen masuk belt conveyor adalah:

- protein	= 255,83 kg/jam
- lemak	= 130,89 kg/jam
- karbohidrat	= 178,48 kg/jam
- ash	= 29,75 kg/jam
- NaHCO ₃	= 8,41 kg/jam
- air	= 1750,86 kg/jam

2. Komponen keluar belt conveyor

Komponen keluar belt conveyor adalah berupa biji kedelai dan larutan NaHCO₃ dengan massa masing – masing adalah sebagai berikut: Massa biji kedelai basah = massa biji kedelai + massa air yang diserap kedelai

Dari percobaan yang dilakukan oleh penulis didapatkan data bahwa massa air yang terikut dalam 0,5 kg biji kedelai setelah pemasakan adalah sama dengan massa biji kedelai mula – mula, yaitu 0,5 kg

Massa biji kedelai + air = 2 x 672,63 kg/jam = 1345,27 kg/jam
keluar belt conveyor

Massa komponen biji kedelai adalah:

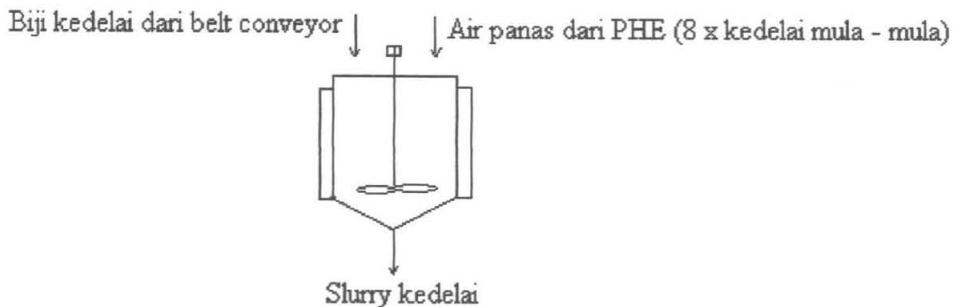
- protein	= 255,83 kg/jam
- lemak	= 130,89 kg/jam
- karbohidrat	= 178,48 kg/jam
- ash	= 29,75 kg/jam
- NaHCO ₃	= (0,005 x 672,63) kg/jam = 3,36 kg/jam
- air	= (0,995 x 672,63) kg/jam + 77,69 kg/jam
	= 746,96 kg/jam

$$\begin{aligned}
 \text{Massa larutan NaHCO}_3 &= \text{massa total komponen} - \text{massa biji kedelai} \\
 &\quad \text{yang terbuang} \qquad \qquad \qquad \text{masuk belt conveyor} \quad \text{keluar belt conveyor} \\
 &= (2354,22 - 1345,27) \text{ kg/jam} \\
 &= 1008,95 \text{ kg/jam, yang terdiri dari:}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Air} &= \text{massa air masuk belt conveyor} - \text{massa air di biji kedelai keluar belt} \\
 &\quad \text{conveyor} \\
 &= (1750,86 - 746,96) \text{ kg/jam} \\
 &= 1003,90 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{NaHCO}_3 &= \text{massa NaHCO}_3 \text{ masuk belt conveyor} - \text{massa NaHCO}_3 \text{ yang} \\
 &\quad \text{masuk belt conveyor} \qquad \qquad \qquad \text{terikut di biji kedelai} \\
 &= (8,41 - 3,36) \text{ kg/jam} \\
 &= 5,04 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

A.5. Mixer I (M-210)



1. Komponen masuk mixer I

Komponen masuk mixer I berupa biji kedelai dari belt conveyor dan air. Perbandingan massa biji kedelai mula-mula (kedelai masuk destoner) dengan air adalah kedelai mula-mula : air = 1 : 8 [1].

Massa biji kedelai masuk mixer I = 1345,27 kg/jam, dengan komponen:

- protein = 255,83 kg/jam
- lemak = 130,89 kg/jam
- karbohidrat = 178,48 kg/jam
- ash = 29,75 kg/jam
- NaHCO₃ = 3,36 kg/jam
- air = 746,96 kg/jam

$$\begin{aligned}\text{Massa air panas masuk mixer I} &= (8 \times 747,37) \text{ kg/jam} \\ &= 5978,96 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

2. Komponen keluar mixer I

Komponen keluar mixer I berupa *slurry* kedelai (campuran antara biji kedelai dan air panas).

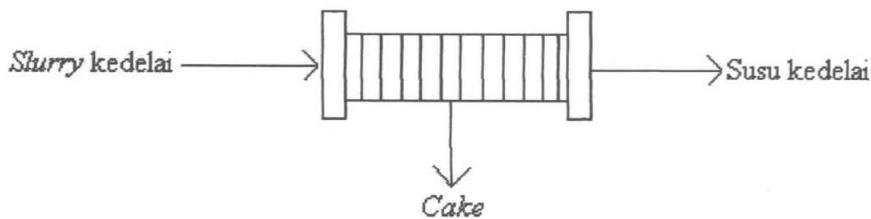
Massa *slurry* kedelai = massa biji kedelai + massa air panas yang

$$\begin{aligned}&\text{ditambahkan masuk mixer I} \\ &= (1345,27 + 5978,96) \text{ kg/jam} \\ &= 7324,23 \text{ kg/jam}\end{aligned}$$

Massa *slurry* kedelai = 7324,23 kg/jam dengan massa komponen sebagai berikut:

- protein	= 255,83 kg/jam
- lemak	= 130,89 kg/jam
- karbohidrat	= 178,48 kg/jam
- ash	= 29,75 kg/jam
- NaHCO ₃	= 3,36 kg/jam
- air	= (746,96 + 5978,96) kg/jam = 6725,92 kg/jam

A.6. Plate and Frame Filter Press (H-220)



1. Komponen masuk plate and frame filter press

Komponen masuk *plate and frame filter press* berupa *slurry* kedelai dari *mixer I*.

I. Massa *slurry* kedelai = 7324,23 kg/jam dengan komponen :

- protein	= 255,83 kg/jam
- lemak	= 130,89 kg/jam
- karbohidrat	= 178,48 kg/jam

- ash	= 29,75 kg/jam
- NaHCO ₃	= 3,36 kg/jam
- air	= 6725,92 kg/jam

2. Komponen keluar *plate and frame filter press*

Komponen keluar *plate and frame filter press* berupa filtrat susu kedelai dan *cake* kedelai. Komposisi susu kedelai [14] adalah sebagai berikut :

- protein	= 3,50 %
- lemak	= 1,90 %
- karbohidrat	= 1,81 %
- ash	= 0,27 %
- air	= 92,52 %

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan oleh penulis didapatkan bahwa 0,5 kg kedelai + 4 liter air menghasilkan susu kedelai sebanyak 3,65 liter dan *cake* 0,72 kg.

Dengan kedelai 747,37 kg menghasilkan susu kedelai sebanyak x liter.

$$\frac{0,5 \text{ kg}}{747,37 \text{ kg/jam}} = \frac{3,65 \text{ liter}}{x}$$

$$x = \frac{3,65 \text{ liter} \cdot 747,37 \text{ kg/jam}}{0,5 \text{ kg}}$$

$$= 5455,80 \text{ liter/jam} \times \rho \text{ susu kedelai}$$

$$= 5455,80 \text{ liter/jam} \times 1,036 \text{ kg/liter}$$

$$= 5652,21 \text{ kg/jam}$$

Jadi massa susu yang diperoleh = 5652,21 kg/jam, dengan massa komponen :

- protein	= 3,50 % x 5652,21 kg/jam = 197,83 kg/jam
- lemak	= 1,90 % x 5652,21 kg/jam = 107,39 kg/jam
- karbohidrat	= 1,81 % x 5652,21 kg/jam = 102,30 kg/jam
- ash	= 0,27 % x 5652,21 kg/jam = 15,26 kg/jam
- air	= 92,52 % x 5652,21 kg/jam = 5229,42 kg/jam

Massa NaHCO_3 = 3,36 kg/jam

$$\begin{aligned} \text{Massa air total} &= \text{air yang keluar dari } belt conveyor + \text{air yang ditambahkan untuk mixer I} \\ &= 746,96 \text{ kg/jam} + 5978,96 \text{ kg/jam} \\ &= 6725,92 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \% \text{ NaHCO}_3 \text{ yang ikut dalam slurry} &= \frac{\text{massa } \text{NaHCO}_3}{\text{massa } \text{NaHCO}_3 + \text{massa air total}} \\ &= \frac{3,36}{3,36 + 6725,92} \times 100 \% \\ &= 0,05 \% \end{aligned}$$

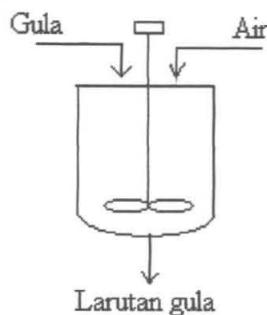
$$\begin{aligned} \text{Massa } \text{NaHCO}_3 \text{ yang terikut dalam susu kedelai} &= 0,05 \% \times \text{massa air di susu} \\ &\quad \text{kedelai} \\ &= 0,0005 \times 5229,42 \text{ kg/jam} \\ &= 2,61 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Massa cake} &= \text{massa slurry} \text{ kedelai} - \text{massa susu} \text{ kedelai yang diperoleh} \\ &= (7324,23 - 5654,82) \text{ kg/jam} = 1669,40 \text{ kg/jam}, \end{aligned}$$

dengan komponen

$$\begin{aligned} - \text{protein} &= (255,83 - 197,83) \text{ kg/jam} = 58,00 \text{ kg/jam} \\ - \text{lemak} &= (130,89 - 107,39) \text{ kg/jam} = 23,50 \text{ kg/jam} \\ - \text{karbohidrat} &= (178,48 - 102,30) \text{ kg/jam} = 76,18 \text{ kg/jam} \\ - ash &= (29,75 - 15,26) \text{ kg/jam} = 14,49 \text{ kg/jam} \\ - \text{NaHCO}_3 &= (3,36 - 2,61) \text{ kg/jam} = 0,75 \text{ kg/jam} \\ - \text{air} &= (6725,92 - 5229,42) \text{ kg/jam} = 1496,50 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

A.7. Tangki Pelarutan Gula (M-231)



1. Komponen masuk tangki pelarutan gula

Penambahan gula dilakukan sampai didapatkan kadar gula yang sesuai dengan standar untuk susu kental manis yaitu 45% [20]. Perhitungan jumlah gula yang ditambahkan dilakukan dengan menggunakan *trial* dan *error* di tangki pelarutan gula sampai didapatkan hasil akhir berupa susu kental manis kedelai dengan kadar gula sebesar 45 % dari total susu kental manis kedelai yang dihasilkan. Dari hasil perhitungan *trial* dan *error* didapatkan jumlah gula yang harus ditambahkan yaitu sebesar 745,31 kg/ jam atau sekitar 13,18 % dari susu kedelai yang dihasilkan.

Komponen masuk tangki pelarutan gula berupa gula dan air dengan massa komponen:

$$\text{- kelarutan gula dalam air} = \frac{2,167 \text{ kg gula}}{1 \text{ kg air}}$$

$$\text{- gula} = 745,31 \text{ kg/jam}$$

$$\text{- air} = \frac{745,31 \text{ kg/jam} \times 1}{2,167} = 343,93 \text{ kg/jam}$$

2. Komponen keluar tangki pelarutan gula

Komponen keluar tangki pelarutan gula berupa larutan gula
 $= (745,31 + 343,93) \text{ kg/jam} = 1089,24 \text{ kg/jam}$

A.8. MIXER II (M-230)



1. Komponen masuk mixer II

Komponen masuk mixer II berupa susu kedelai dan larutan gula :

- susu kedelai dengan massa komponen :
 - protein = 197,83 kg/jam
 - lemak = 107,39 kg/jam
 - karbohidrat = 102,30 kg/jam
 - ash = 15,26 kg/jam
 - NaHCO₃ = 2,61 kg/jam
 - air = 5229,42 kg/jam
- larutan gula dengan massa komponen:
 - gula = 745,31 kg/jam
 - air = 343,93 kg/jam

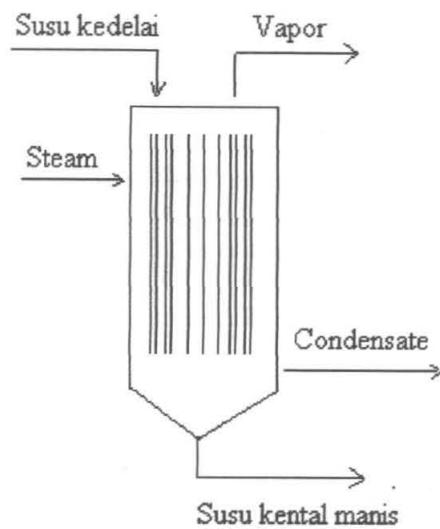
2. Komponen keluar mixer II

Komponen keluar mixer II berupa susu kedelai manis (campuran susu kedelai dan larutan gula) dengan massa = (5654,82 + 1089,24) kg/jam = 6744,06 kg/jam.

Massa komponen susu kedelai manis :

- protein = 197,83 kg/jam
- lemak = 107,39 kg/jam
- karbohidrat = 102,30 kg/jam
- ash = 15,26 kg/jam
- NaHCO₃ = 2,61 kg/jam
- air = (5229,42 + 343,93) kg/jam = 5573,36 kg/jam
- gula = 745,31 kg/jam

A.9. EVAPORATOR (V-310)



1. Komponen masuk evaporator

Susu kedelai manis masuk evaporator sebanyak 6744,06 kg/jam dengan massa komponen :

- protein = 197,83 kg/jam
- lemak = 107,39 kg/jam
- karbohidrat = 102,30 kg/jam
- ash = 15,26 kg/jam
- NaHCO₃ = 2,61 kg/jam
- gula = 745,31 kg/jam
- air = 5573,36 kg/jam

Fraksi massa susu kedelai masuk evaporator :

$$\begin{aligned}
 &= \frac{m. \text{protein} + m. \text{lemak} + m. \text{karbohidrat} + m. \text{abu} + m. \text{gula} + m. \text{NaHCO}_3}{\text{total massa masuk evaporator}} \\
 &= \frac{197,83 + 107,39 + 102,3 + 15,26 + 2,61 + 745,31}{6744,06} = 0,1736
 \end{aligned}$$

Fraksi massa air = 1 - 0,1736 = 0,8264

2. Komponen keluar *evaporator*

Komponen keluar *evaporator* berupa susu kental manis kedelai dan uap air. Kandungan air dalam susu kental manis berdasarkan SNI Susu Kental Manis adalah 30%.

Neraca massa :

$$F = L + V$$

Neraca komponen susu kedelai :

$$F \cdot XF = L \cdot XL + V \cdot XV$$

$$6744,06 \cdot 0,1736 = L \cdot 0,7 + V \cdot 0$$

$$L = 1672,44$$

$$V = F - L = 6744,06 - 1672,44 = 5071,63$$

Susu kedelai kental manis keluar *evaporator* = 1672,44 kg/jam dengan komponen susu kental manis kedelai :

$$\text{- protein} = 197,83 \text{ kg/jam}$$

$$\text{- lemak} = 107,39 \text{ kg/jam}$$

$$\text{- karbohidrat} = 102,30 \text{ kg/jam}$$

$$\text{- ash} = 15,26 \text{ kg/jam}$$

$$\text{- NaHCO}_3 = 2,61 \text{ kg/jam}$$

$$\text{- gula} = 745,31 \text{ kg/jam}$$

$$\text{- air} = 5573,36 \text{ kg/jam} - 5071,63 \text{ kg/jam} = 501,73 \text{ kg/jam}$$

Laju komponen uap air yang keluar *evaporator* = 5071,63 kg/jam

APPENDIX B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

APPENDIX B

PERHITUNGAN NERACA PANAS

Suhu reference = 25 °C

Satuan energi = kilo Joule (kJ)

Satuan massa = kg

Tipe operasi = kontinu

Daftar harga Cp (kJ/kg°C) untuk tiap komponen [31] :

$$\text{- Protein} \quad = \int \text{Cp.dT} \quad = \int (2,0082 + 1,2089 \times 10^{-3} T - 1,3129 \times 10^{-6} T^2)$$

$$\text{- Karbohidrat} \quad = \int \text{Cp.dT} \quad = \int (1,5488 + 1,9625 \times 10^{-3} T - 5,9399 \times 10^{-6} T^2)$$

$$\text{- Lemak} \quad = \int \text{Cp.dT} \quad = \int (1,9842 + 1,4733 \times 10^{-3} T - 4,8008 \times 10^{-6} T^2)$$

$$\text{- Air} \quad = \int \text{Cp.dT} \quad = \int (4,1762 - 9,0864 \times 10^{-5} T + 5,4731 \times 10^{-6} T^2)$$

$$\text{- Ash} \quad = \int \text{Cp.dT} \quad = \int (1,0926 + 1,8896 \times 10^{-3} T - 3,6817 \times 10^{-6} T^2)$$

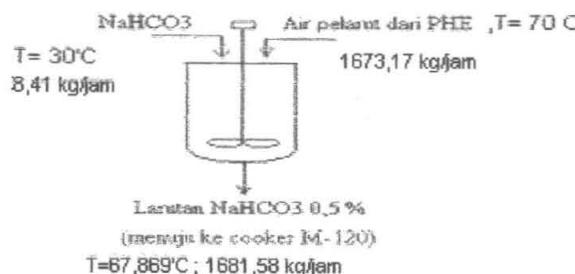
$$\text{- NaHCO}_3 \quad = \int \text{Cp.dT} \quad = \int (1,0048 + 1,675 \times 10^{-3} T)$$

- Sukrosa (C₁₂H₂₂O₁₁) [32]

$$\text{C}(12 \times 1,8) + \text{H}(22 \times 2,3) + \text{O}(11 \times 4) = 116,2 \text{ kal/gmol}^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{116,2 \text{ cal / gmol}^\circ\text{C}}{342,2 \text{ gr / gmol}} \times 4,184 \\ &= 1,42 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \times \Delta T \end{aligned}$$

B.1. Mixer NaHCO₃ (M-121)



1. Masuk *mixer* NaHCO₃

- NaHCO₃

$$\begin{aligned} \int Cp.dT &= \int_{25}^{30} (1,0048 + 1,675 \times 10^{-3} T) \\ &= [1,0048 \times (30 - 25)] + \left[\frac{1,675 \times 10^{-3}}{2} (30^2 - 25^2) \right] \\ &= 5,25 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{NaHCO}_3} &= m \times \int Cp.dT \\ &= 8,41 \text{ kg/jam} \times 5,25 \text{ kJ/kg} \\ &= 44,14 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

Panas pelarutan NaHCO₃ = -4,1 kcal/mol [33]

$$\begin{aligned} Q_{\text{kelarutan NaHCO}_3} &= \frac{-4,1 \text{ kcal/mol} \times 4,184 \times 1000 \times 8,41 \text{ kg/jam}}{84 \text{ gr/mol}} \\ &= -1717,06 \text{ kJ/jam (eksotermis)} \end{aligned}$$

Perhitungan Q air masuk, dihitung dengan cara yang sama dan hasil perhitungan dicantumkan pada tabel berikut ini :

Masuk Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
NaHCO ₃	8,41	25-30	5,25	44,14
Air	1673,17	25-70	187,14	313117,89
Panas pelarutan				-1717,06
Total input				314450,65

2. Keluar mixer NaHCO₃

Terjadi kehilangan panas sehingga T input ≠ T output

Diasumsi Q loss = 5% Q input

Suhu output ditrial sampai panas masuk = panas keluar

Persamaan yang dipakai dalam trial suhu :

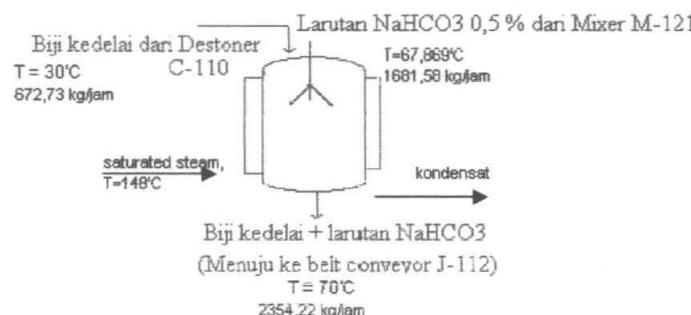
$$0,95 (Q \text{ NaHCO}_3 + Q \text{ air} + Q \text{ pelarutan})_{\text{masuk}} = m \int C_p \text{ air} + m \int C_p \text{ NaHCO}_3$$

Persamaan $\int C_p dT$ dapat dilihat pada bagian depan appendix B

Dari hasil trial diperoleh T output = 67,869 °C

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int C_p dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int C_p dT$ (kJ/jam)
Larutan NaHCO ₃ :				
- NaHCO ₃	8,41	25-67,869	46,41	390,20
- Air	1673,17	25-67,869	178,31	298337,74
Q loss				15722,53
Total output				314450,48

B.2. Cooker (M-120)



1. Masuk cooker

Masuk Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int C_p dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int C_p dT$ (kJ/jam)
Protein	255,83	25-30	10.2	2609,42
Karbohidrat	178,48	25-30	7.99	1426,08
Lemak	130,89	25-30	10.11	1323,27
Ash	29,75	25-30	5.71	169,86
Air	77,69	25-30	20.89	1622,94
Larutan NaHCO ₃	1681,58	25-67,869		298727,94
Total input				305879,51

2. Keluar cooker

Diassumsi Q loss = 5% Q steam masuk

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
Protein	255,83	25-70	92,81	23743,10
Karbohidrat	178,48	25-70	73,24	13072,56
Lemak	130,89	25-70	91,91	12030,43
Ash	29,75	25-70	52,80	1570,78
Air	1750,86	25-70	187,14	327652,47
NaHCO ₃	8,41	25-70	48,80	410,28
Total output				378479,62

Panas masuk = Panas keluar

$Q_{input} + Q_{steam}$ = $Q_{output} + Q_{loss}$

305879,51 kJ/jam + Q_{steam} = 378479,61 kJ/jam + 5% Q_{steam}

Q_{steam} = 76421,15 kJ/jam

Q_{loss} = 5% x 76421,15 kJ/jam

= 3821,06 kJ/jam

T saturated steam = 148°C P steam = 4,5 bar [50]

$$h_{vl} = h_{vl}148^{\circ}\text{C} = 945,5 \text{ Btu/lb}$$

$$h_l = h_l148^{\circ}\text{C} = 219,56 \text{ Btu/lb}$$

$$h_{vw} = h_l + x \cdot h_{vl}$$

dimana : h_{vl} = enthalpy evaporation pada kondisi dry steam, Btu/lb

h_l = enthalpy of the liquid, Btu/lb

h_{vw} = total enthalpy pada kondisi wet steam, Btu/lb

$$h_{vw} = 219,56 \text{ Btu/lb} + 0,98 \cdot 945,5 \text{ Btu/lb}$$

$$= 1146,15 \text{ Btu/lb}$$

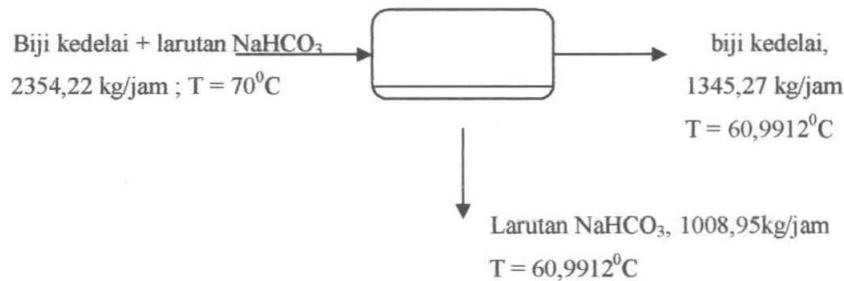
$$\lambda_{wet} = h_{vw} - h_l = 1146,15 \text{ Btu/lb} - 219,56 \text{ Btu/lb}$$

$$= 926,59 \text{ Btu/lb} = 2200,74 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = ms \cdot \lambda_{wet}$$

$$\text{Massa steam} = \frac{Q}{\lambda_{wet}} = \frac{76421,15 \text{ kJ/jam}}{2200,74 \text{ kJ/kg}} = 34,60 \text{ kg/jam}$$

B.3. Belt Conveyor (J-123)



1. Masuk conveyor

$$\begin{aligned} Q \text{ input conveyor} &= Q \text{ output cooker} \\ &= 378479,62 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

2. Keluar conveyor

Asumsi terjadi kehilangan panas, panas yang hilang ke lingkungan selama perjalanan di belt conveyor dan bucket elevator dari *cooker* menuju *mixer I* sehingga T input \neq T output

Assumsi Q loss karena hilang ke lingkungan = 15 % dari Q input

Suhu output ditrial sampai panas masuk = panas keluar

Persamaan yang dipakai dalam trial suhu :

$$Q_{\text{input}} = Q_{\text{output}} + Q_{\text{loss}}$$

$$\begin{aligned} 0,85 \cdot Q_{\text{input}} &= m \int C_p \text{ protein} + m \int C_p \text{ lemak} + m \int C_p \text{ karbohidrat} \\ &\quad + m \int C_p \text{ ash} + m \int C_p \text{ air} + m \int C_p \text{ } \text{NaHCO}_3 \end{aligned}$$

Persamaan $\int C_p dT$ dapat dilihat pada bagian depan appendix B

Dari hasil trial diperoleh T output = $60,9912^\circ\text{C}$

Komponen keluar yang masuk ke *mixer I* (M-210) :

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
Protein	255,83	25-60,9912	74,06	18945,36
Karbohidrat	178,48	25-60,9912	58,36	10416,52
Lemak	130,89	25-60,9912	73,36	9601,32
Ash	29,75	25-60,9912	41,99	1249,05
Air	746,96	25-60,9912	149,78	111879,97
NaHCO ₃	3,36	25-60,9912	38,76	130,34
Total output				152222,56

Larutan NaHCO₃ yang terbuang :

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
NaHCO ₃	5,04	25-60,9912	38,76	195,51
Air	1003,90	25-60,9912	149,78	150365,29
Total output				150560,80

Panas masuk = Panas keluar

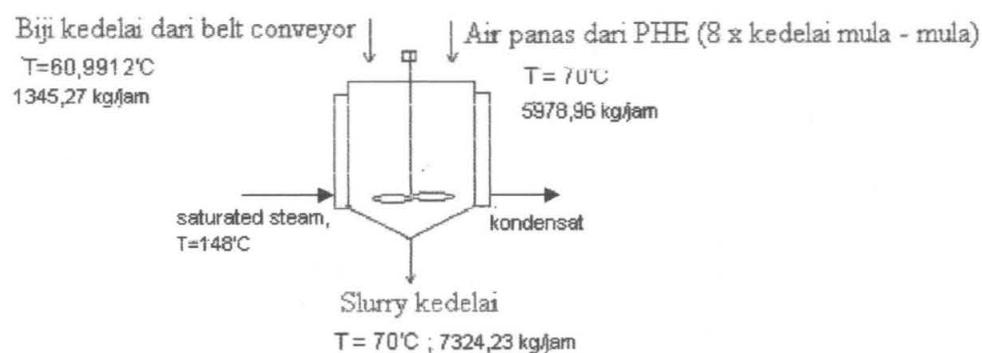
$Q_{\text{input}} = Q_{\text{output}} + Q_{\text{loss}}$

$$378479,62 \text{ kJ/jam} = 152222,56 \text{ kJ/jam} + 150560,80 \text{ kJ/jam} + 75695,92 \text{ kJ/jam}$$

$$378479,62 \text{ kJ/jam} = 378479,28 \text{ kJ/jam}$$

(Trial suhu output conveyor dianggap benar)

B.4. Mixer 1 (M-210)



1. Masuk mixer 1

Masuk Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
Protein	255,83	25-60,9912	74,06	18945,36
Karbohidrat	178,48	25-60,9912	58,36	10416,52
Lemak	130,89	25-60,9912	73,36	9601,32
Ash	29,75	25-60,9912	41,99	1249,05
Air	746,96	25-60,9912	149,78	111879,97
NaHCO ₃	3,36	25-60,9912	38,76	130,34
Air panas	5978,96	25-70	187,14	1118887,78
Total input				1271110,34

2. Keluar mixer 1

Diasumsi : $Q_{loss} = 5\% Q_{steam}$ masuk

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
Protein	255,83	25-70	92,81	23743,10
Karbohidrat	178,48	25-70	73,24	13072,56
Lemak	130,89	25-70	91,91	12030,43
Ash	29,75	25-70	52,80	1570,78
Air	6725,92	25-70	187,14	1258672,00
NaHCO ₃	3,36	25-70	48,80	164,11
Total output				1309252,98

Panas masuk

= Panas keluar

 $Q_{input} + Q_{steam}$ = $Q_{output} + Q_{loss}$ 1271110,34 kJ/jam + Q_{steam} = 1309252,98 kJ/jam + 5% Q_{steam} $Q_{steam} = 40150,14 \text{ kJ/jam}$ $Q_{loss} = 5\% \times 40150,14 \text{ kJ/jam}$

= 2007,51 kJ/jam

 $T_{saturated steam} = 148^\circ\text{C}$ $P_{steam} = 4,5 \text{ bar [50]}$

$$h_{vl} = h_{vl}148^\circ\text{C} = 945,5 \text{ Btu/lb}$$

$$h_l = h_l148^\circ\text{C} = 219,56 \text{ Btu/lb}$$

$$h_{vw} = h_l + x.h_{vl}$$

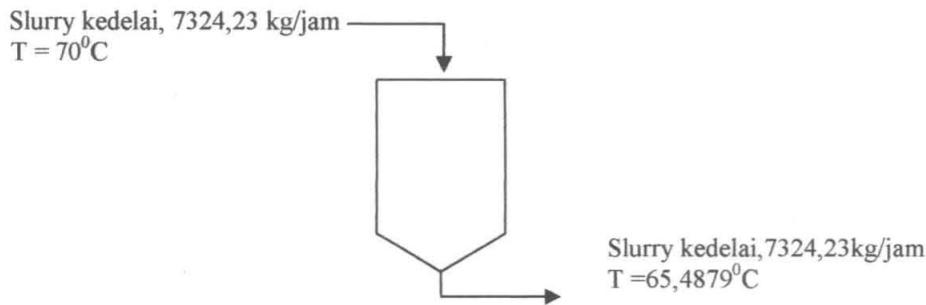
dimana : h_{vl} = enthalpy evaporation pada kondisi dry steam, Btu/lb

$$\begin{aligned}
 h_l &= \text{enthalpy of the liquid, Btu/lb} \\
 h_{vw} &= \text{total enthalpy pada kondisi wet steam, Btu/lb} \\
 h_{vw} &= 219,56 \text{ Btu/lb} + 0,98 \cdot 945,5 \text{ Btu/lb} \\
 &= 1146,15 \text{ Btu/lb} \\
 \lambda_{\text{wet}} &= h_{vw} - h_l = 1146,15 \text{ Btu/lb} - 219,56 \text{ Btu/lb} \\
 &= 926,59 \text{ Btu/lb} = 2200,74 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$Q = ms \cdot \lambda_{\text{wet}}$$

$$\text{Massa steam yang dibutuhkan} = \frac{Q}{\lambda_{\text{wet}}} = \frac{40150,14 \text{ kJ / jam}}{2200,74 \text{ kJ / kg}} = 18,18 \text{ kg / jam}$$

B.5 Holding Tank I (F-212)



1. Masuk holding tank I

$$\begin{aligned}
 Q \text{ slurry kedelai masuk holding tank I} &= Q \text{ slurry kedelai keluar mixer I} \\
 &= 1309252,98 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

2. Keluar holding tank I

Terjadi kehilangan panas sehingga $T_{\text{input}} \neq T_{\text{output}}$

Diasumsi $Q_{\text{loss}} = 10\% Q_{\text{input}}$

Suhu output ditrial sampai panas masuk = panas keluar

Persamaan yang dipakai dalam trial suhu :

$$\begin{aligned}
 0,9 \cdot Q_{\text{input}} &= m \int Cp_{\text{protein}} + m \int Cp_{\text{lemak}} + m \int Cp_{\text{karbohidrat}} \\
 &\quad + m \int Cp_{\text{ash}} + m \int Cp_{\text{air}} + m \int Cp_{\text{NaHCO}_3}
 \end{aligned}$$

Persamaan $\int Cp dT$ dapat dilihat pada bagian depan appendix B

Dari hasil trial diperoleh T output = 65,4879 °C

Komponen slurry kedelai yang keluar *holding tank* I :

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
Protein	255,83	25-65,4879	83,41	21337,37
Karbohidrat	178,48	25-65,4879	65,80	11743,78
Lemak	130,89	25-65,4879	82,61	10812,62
Ash	29,75	25-65,4879	47,39	1409,64
Air	6725,92	25-65,4879	168,43	1132876,34
NaHCO ₃	3,36	25-65,4879	43,76	147,19
Total output				1178326,93

$$Q \text{ input} = 1309252,98 \text{ kJ/jam}$$

$$Q \text{ loss} = 10 \% Q \text{ input}$$

$$= 10 \% 1309252,98 \text{ kJ/jam} = 130925,30 \text{ kJ/jam}$$

$$\text{Panas masuk} = \text{Panas keluar}$$

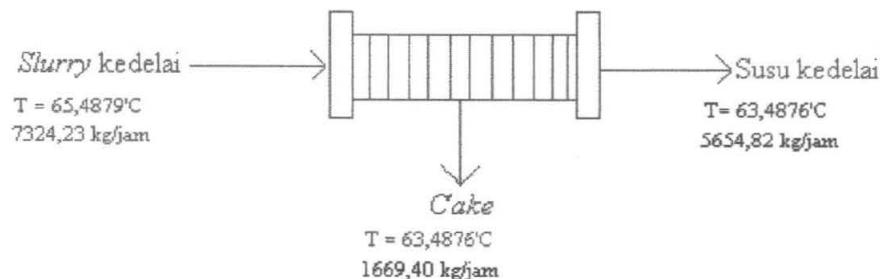
$$Q \text{ input} = Q \text{ loss} + Q \text{ output}$$

$$1309252,98 \text{ kJ/jam} = 130925,30 \text{ kJ/jam} + 1178326,93 \text{ kJ/jam}$$

$$1309252,98 \text{ kJ/jam} = 1309252,23 \text{ kJ/jam}$$

(Trial suhu output dianggap benar)

B.6 Plate and Frame Filter Press (H-220)



1. Masuk *Plate and Frame Filter Press*

$$\begin{aligned} Q_{slurry} \text{ kedelai masuk } Filter \text{ press} &= Q_{slurry} \text{ kedelai keluar holding tank 1} \\ &= 1178326,93 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

2. Keluar *Plate and Frame Filter Press*

Terjadi kehilangan panas sehingga $T_{input} \neq T_{output}$

Diasumsi $Q_{loss} = 5\% Q_{input}$

Suhu output ditrial sampai panas masuk = panas keluar

Persamaan yang dipakai dalam trial suhu :

$$\begin{aligned} 0,95 \cdot Q_{input} &= m \int Cp_{protein} + m \int Cp_{lemak} + m \int Cp_{karbohidrat} \\ &\quad + m \int Cp_{ash} + m \int Cp_{air} + m \int Cp_{NaHCO_3} \end{aligned}$$

Persamaan $\int Cp dT$ dapat dilihat pada bagian depan appendix B

Dari hasil trial diperoleh $T_{output} = 63,4876^\circ C$

Komponen susu kedelai yang keluar *Plate and Frame Filter Press* :

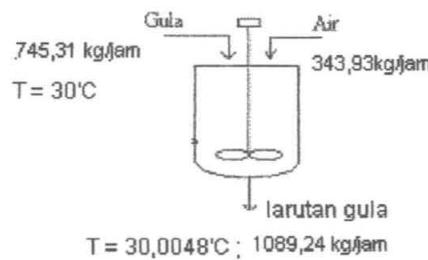
Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi ($^\circ C$)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
Protein	197,83	25-63,4876	78,29	15488,05
Karbohidrat	102,30	25-63,4876	63,32	6478,37
Lemak	107,39	25-63,4876	78,55	8435,52
Ash	15,26	25-63,4876	45,59	659,72
Air	5229,42	25-63,4876	160,02	836829,64
NaHCO ₃	2,61	25-63,4876	40,98	107,16
Total output				868034,46

Komponen cake yang keluar *Plate and Frame Filter Press*:

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi ($^\circ C$)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
Protein	58,00	25-63,4876	83,64	4540,72
Karbohidrat	76,18	25-63,4876	65,96	4823,90
Lemak	23,50	25-63,4876	82,84	1845,54
Ash	14,49	25-63,4876	47,51	660,40
Air	1496,50	25-63,4876	168,90	239474,08
NaHCO ₃	0,75	25-63,4876	43,88	30,67
Total output				251375,31

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{output}} &= Q_{\text{susu kedelai}} + Q_{\text{cake kedelai}} \\
 &= 868034,46 \text{ kJ/jam} + 251375,31 \text{ kJ/jam} \\
 &= 1119409,77 \text{ kJ/jam} \\
 Q_{\text{loss}} &= 5\% Q_{\text{input}} \\
 &= 5\% 1178326,93 \text{ kJ/jam} = 58916,35 \text{ kJ/jam} \\
 \text{Panas masuk} &= \text{Panas keluar} \\
 Q_{\text{input}} &= Q_{\text{loss}} + Q_{\text{output}} \\
 1178326,93 \text{ kJ/jam} &= 58916,35 \text{ kJ/jam} + 1119409,77 \text{ kJ/jam} \\
 1178326,93 \text{ kJ/jam} &= 1178326,11 \text{ kJ/jam} \\
 \text{Trial suhu output filter press dianggap benar}
 \end{aligned}$$

B.7. Mixer Gula (M-231)



1. Masuk mixer gula

Panas pelarutan sukrosa = -1,319 gcal/mol [33]

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{kelarutan gula}} &= \frac{-1,3 \cdot 10^{-3} \text{ kcal/mol} \times 4,184 \times 1000 \times 745,31 \text{ kg/jam}}{342,2 \text{ gr/mol}} \\
 &= -11,85 \text{ kJ/jam (eksotermis) }
 \end{aligned}$$

Masuk Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
Sukrosa	745,31	25-30	7,10	5294,47
Air	343,93	25-30	20,85	7170,26
Panas kelarutan				-11,85
Total input				12476,57

2. Keluar mixer gula

Terjadi kenaikan suhu karena reaksi yang terjadi adalah eksotermis (melepas panas). Suhu ditrial sampai panas masuk = panas keluar

Persamaan yang dipakai dalam trial suhu :

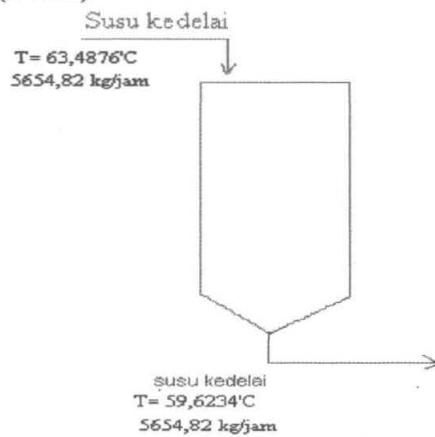
$$Q_{\text{air}} + Q_{\text{gula}} + Q_{\text{kelarutan}} = m \int C_p \text{ air} + m \int C_p \text{ Gula}$$

Persamaan $\int C_p dT$ dapat dilihat pada bagian depan appendix B

Dari hasil trial didapat $T = 30,0048^{\circ}\text{C}$

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi ($^{\circ}\text{C}$)	$\int C_p \cdot dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int C_p \cdot dT$ (kJ/jam)
Sukrosa	745,31	25-30,0048	7,11	5299,55
Air	343,93	25-30,0048	20,87	7177,00
Total output				12476,55

B.8. Holding tank II (F-222)



1. Masuk holding tank II

$$\begin{aligned} Q_{\text{masuk holding tank II}} &= Q_{\text{keluar filter press}} \\ &= 868034,46 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

2. Keluar holding tank II

Terjadi kehilangan panas sehingga $T_{\text{input}} \neq T_{\text{output}}$

Asumsi $Q_{\text{loss}} = 10 \% Q_{\text{input}}$

Suhu output ditrial sampai panas masuk = panas keluar

Persamaan yang dipakai dalam trial suhu :

$$0,9 \cdot Q_{\text{input}} = m \int Cp_{\text{protein}} + m \int Cp_{\text{lemak}} + m \int Cp_{\text{karbohidrat}} \\ + m \int Cp_{\text{ash}} + m \int Cp_{\text{air}} + m \int Cp_{\text{NaHCO}_3}$$

Persamaan $\int Cp dT$ dapat dilihat pada bagian depan appendix B

Dari hasil trial diperoleh T output = 59,6234 °C

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
Protein	197,83	25-59,6234	70,89	14024,14
Karbohidrat	102,30	25-59,6234	55,77	5705,23
Lemak	107,39	25-59,6234	70,42	7562,20
Ash	15,26	25-59,6234	39,17	597,70
Air	5229,42	25-59,6234	144,04	753244,28
NaHCO ₃	2,61	25-59,6234	37,12	97,05
Total output				781230,61

$$Q_{\text{loss}} = 10 \% Q_{\text{input}} \\ = 10 \% 868034,46 \text{ kJ/jam} = 86803,45 \text{ kJ/jam}$$

Panas masuk = Panas keluar

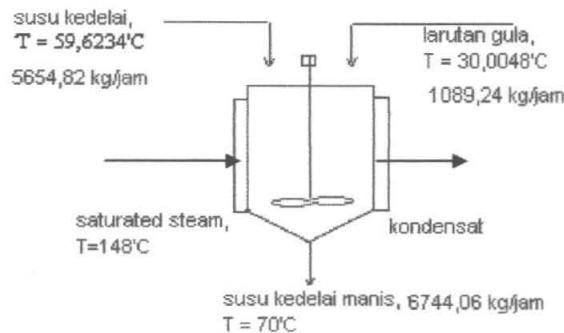
Q_{input} = $Q_{\text{loss}} + Q_{\text{output}}$

$$868034,46 \text{ kJ/jam} = 86803,45 \text{ kJ/jam} + 781230,61 \text{ kJ/jam}$$

$$868034,46 \text{ kJ/jam} = 868034,05 \text{ kJ/jam}$$

(Trial suhu output filter press dianggap benar)

B.9. Mixer II (M-230)



1. Masuk Mixer II

$$\begin{aligned}
 Q \text{ masuk mixer II} &= Q \text{ keluar holding tank II} + Q \text{ larutan gula} \\
 &= 781230,61 \text{ kJ/jam} + 12476,55 \text{ kJ/jam} \\
 &= 793707,16 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

2. Keluar Mixer II

Diasumsi : $Q_{loss} = 5\% Q_{steam}$ masuk

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi ($^{\circ}\text{C}$)	$\int \text{Cp.dT}$ (kJ/kg)	$Q = m \int \text{Cp.dT}$ (kJ/jam)
Protein	197,83	25-70	92,81	18360,31
Karbohidrat	102,30	25-70	73,24	7493,09
Lemak	107,39	25-70	91,91	9870,86
Ash	15,26	25-70	52,80	805,84
Air	5573,36	25-70	187,14	1042984,61
NaHCO_3	2,61	25-70	48,80	127,59
Gula	745,31	25-70	63,93	47650,21
Total output				1127292,51

Panas masuk

= Panas keluar

$Q_{input} + Q_{steam}$

= $Q_{output} + Q_{loss}$

793707,16 kJ/jam + Q_{steam}

= 1127292,51 kJ/jam + 5% Q_{steam}

Q_{steam}

= 351142,48 kJ/jam

Q_{loss}

= 5% x 351142,48 kJ/jam

= 17557,12 kJ/jam

T saturated steam = 148°C

P steam = 4,5 bar [50]

$$h_{vl} = h_{vl} 148^{\circ}\text{C} = 945,5 \text{ Btu/lb}$$

$$h_l = h_l 148^{\circ}\text{C} = 219,56 \text{ Btu/lb}$$

$$h_{vw} = h_l + x \cdot h_{vl}$$

dimana : h_{vl} = enthalpy evaporation pada kondisi dry steam, Btu/lb

h_l = enthalpy of the liquid, Btu/lb

h_{vw} = total enthalpy pada kondisi wet steam, Btu/lb

$$h_{vw} = 219,56 \text{ Btu/lb} + 0,98 \cdot 945,5 \text{ Btu/lb}$$

$$= 1146,15 \text{ Btu/lb}$$

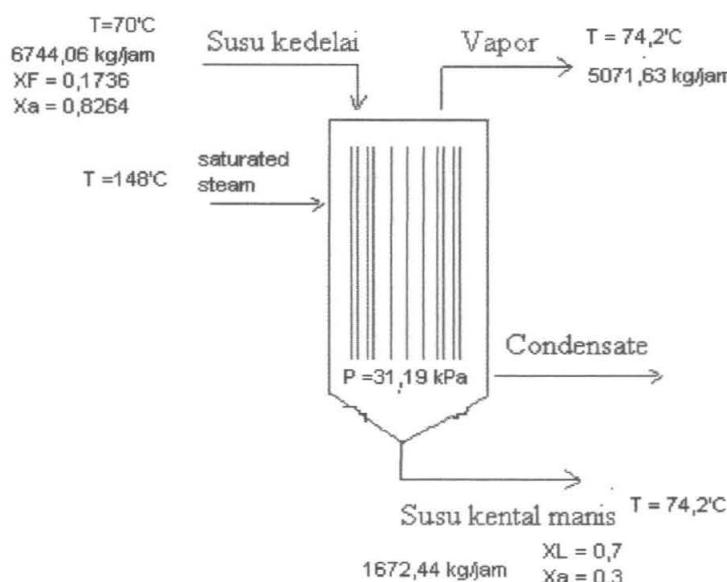
$$\lambda_{wet} = h_{vw} - h_l = 1146,15 \text{ Btu/lb} - 219,56 \text{ Btu/lb}$$

$$= 926,59 \text{ Btu/lb} = 2200,74 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = ms \cdot \lambda_{wet}$$

$$\text{Massa steam yang dibutuhkan} = \frac{Q}{\lambda_{wet}} = \frac{351142,48 \text{ kJ/jam}}{2200,74 \text{ kJ / kg}} = 158,97 \text{ kg / jam}$$

B.10. Evaporator (V-310)



1. Masuk evaporator

$$Q \text{ masuk evaporator} = Q \text{ keluar mixer II} = 1127292.51 \text{ kJ/jam}$$

2. Keluar evaporator

$$\text{Diasumsi : } Q \text{ loss} = 7\% Q \text{ steam} \quad [34]$$

- Suhu keluar evaporator ditetapkan sebesar 74,2°C
- Mencari kenaikan titik didih

$$\Delta Tb = m \times Kb$$

$$kb = 0,513 \text{ }^{\circ}\text{C kg/mol} \quad [33]$$

- Mencari molalitas

mol pada komponen susu kedelai :

$$\text{protein} = (197.83 \text{ kg} / 131,2 \text{ g/mol}) \times 1000 = 1507,83 \text{ mol}$$

$$\text{lemak} = (107,39 \text{ kg} / 278 \text{ g/mol}) \times 1000 = 386,30 \text{ mol}$$

$$\text{karbohidrat} = (102,30 \text{ kg} / 20000 \text{ g/mol}) \times 1000 = 5,12 \text{ mol}$$

$$\begin{aligned} \text{NaHCO}_3 &= (2,61 \text{ kg} / 84 \text{ g/mol}) \times 1000 = 31,13 \text{ mol} \\ \text{Gula} &= (745,31 \text{ kg} / 342,2 \text{ g/mol}) \times 1000 = 2177,35 \text{ mol} \\ \text{Mol total} &= 4102,61 \text{ mol} \\ \text{Molalitas} &= \frac{\text{mol total solute}}{1000 \text{ g pelarut}} = \frac{4102,61 \text{ mol}}{501,73 \text{ kg} \cdot 1000} \times 1000 = 8,18 \text{ mol/kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \Delta T_b &= m \times K_b \\ &= 8,18 \text{ mol/kg} \times 0,513 \text{ }^{\circ}\text{C kg/mol [35]} \\ &= 4,2 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

- Mencari tekanan evaporator

Suhu keluar evaporator = 74,2°C

Tekanan evaporator diperoleh dari steam table A-2-9 pada [28] hal 857

Titik didih air = 74,2°C - 4,2°C = 70°C

P evaporator = P pada titik didih air 70°C = 31,19 kPa

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int C_p dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int C_p dT$ (kJ/jam)
Protein	197,83	25-74,2	102,21	20095,62
Karbohidrat	102,30	25-74,2	80,71	8206,11
Lemak	107,39	25-74,2	101,21	10802,48
Ash	15,26	25-74,2	58,25	883,38
Air	501,73	25-74,2		102619,32
NaHCO ₃	2,61	25-74,2	204,53	139,95
Gula	745,31	25-74,2	53,52	52097,57
			69,90	
Total output				194844,42

Suhu keluar = 74,2°C

Hv 74,2°C = 2634,45 kJ/kg ; Hl 74,2°C = 311,835 kJ/kg [28]

$$\begin{aligned} Q \text{ uap air} &= V \times (Hv - Hl) \\ &= 5071,63 \times (2634,45 - 311,835) \\ &= 11779438,95 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Q_{\text{output}} &= Q \text{ susu kental manis} + Q \text{ uap air} \\ &= 188915,04 \text{ kJ/jam} + 11779438,95 \text{ kJ/jam} \\ &= 11974283,37 \text{ kJ/jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Panas masuk} &= \text{Panas keluar} \\
 Q \text{ input} + Q \text{ steam} &= Q \text{ output} + Q \text{ loss} \\
 1127292,51 \text{ kJ/jam} + Q \text{ steam} &= 11974283,37 \text{ kJ/jam} + 7\% Q \text{ steam} \\
 Q \text{ steam} &= 11790207,45 \text{ kJ/jam} \\
 Q \text{ loss} &= 7\% \times 11790207,45 \text{ kJ/jam} \\
 &= 943216,60 \text{ kJ/jam}
 \end{aligned}$$

$$T \text{ saturated steam} = 148^\circ\text{C} \quad P \text{ steam} = 4,5 \text{ bar [50]}$$

$$h_{vl} = h_{vl} 148^\circ\text{C} = 945,5 \text{ Btu/lb}$$

$$h_l = h_l 148^\circ\text{C} = 219,56 \text{ Btu/lb}$$

$$h_{vw} = h_l + x \cdot h_{vl}$$

dimana : h_{vl} = enthalpy evaporation pada kondisi dry steam, Btu/lb

h_l = enthalpy of the liquid, Btu/lb

h_{vw} = total enthalpy pada kondisi wet steam, Btu/lb

$$h_{vw} = 219,56 \text{ Btu/lb} + 0,98 \cdot 945,5 \text{ Btu/lb}$$

$$= 1146,15 \text{ Btu/lb}$$

$$\lambda_{wet} = h_{vw} - h_l = 1146,15 \text{ Btu/lb} - 219,56 \text{ Btu/lb}$$

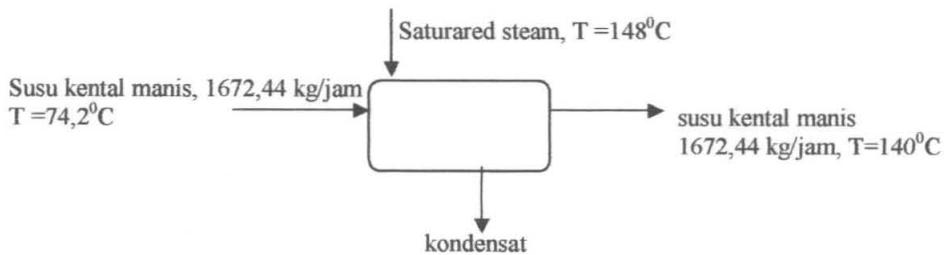
$$= 926,59 \text{ Btu/lb} = 2200,74 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = ms \cdot \lambda_{wet}$$

$$\text{Massa steam} = \frac{11790207,45 \text{ kJ / jam}}{2200,74 \text{ kJ / kg}} = 5337,85 \text{ kg / jam}$$

$$\text{Steam economy} = \frac{V}{S} = \frac{5071,63 \text{ kg / jam}}{5337,85 \text{ kg / jam}} = 0,95$$

B.11. Sterilisator (E-313)



■ PHE I

1. Masuk PHE

$$Q \text{ masuk} = Q \text{ keluar evaporator} = 194844,42 \text{ kJ/jam}$$

2 Keluar PHE

$$\text{Diasumsi : } Q \text{ loss} = 5\% Q \text{ steam}$$

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi ($^{\circ}\text{C}$)	$\int \text{Cp.dT}$ (kJ/kg)	$Q = m \int \text{Cp.dT}$ (kJ/jam)
Protein	197,83	25-140	241,22	47719,60
Karbohidrat	102,30	25-140	191,33	19573,93
Lemak	107,39	25-140	237,79	25537,26
Ash	15,26	25-140	140,23	2140,02
Air	501,73	25-140	474,42	238032,96
NaHCO_3	2,61	25-140	131,44	343,69
Gula	745,31	25-140	163,39	121772,77
Total output				455120,21

$$\text{Panas masuk} = \text{Panas keluar}$$

$$Q \text{ input} + Q \text{ steam} = Q \text{ output} + Q \text{ loss}$$

$$194844,42 \text{ kJ/jam} + Q \text{ steam} = 455120,21 \text{ kJ/jam} + 5\% Q \text{ steam}$$

$$Q \text{ steam} = 273974,52 \text{ kJ/jam}$$

$$Q \text{ loss} = 5\% \times 273974,52 \text{ kJ/jam}$$

$$= 13698,73 \text{ kJ/jam}$$

$$T \text{ saturated steam} = 148^{\circ}\text{C} \quad P \text{ steam} = 4,5 \text{ bar [50]}$$

$$h_{vl} = h_{vl} 148^{\circ}\text{C} = 945,5 \text{ Btu/lb}$$

$$h_l = h_l 148^{\circ}\text{C} = 219,56 \text{ Btu/lb}$$

$$h_{vw} = h_l + x \cdot h_{vl}$$

dimana : h_{vl} = enthalpy evaporation pada kondisi dry steam, Btu/lb

h_l = enthalpy of the liquid, Btu/lb

h_{vw} = total enthalpy pada kondisi wet steam, Btu/lb

$$h_{vw} = 219,56 \text{ Btu/lb} + 0,98 \cdot 945,5 \text{ Btu/lb}$$

$$= 1146,15 \text{ Btu/lb}$$

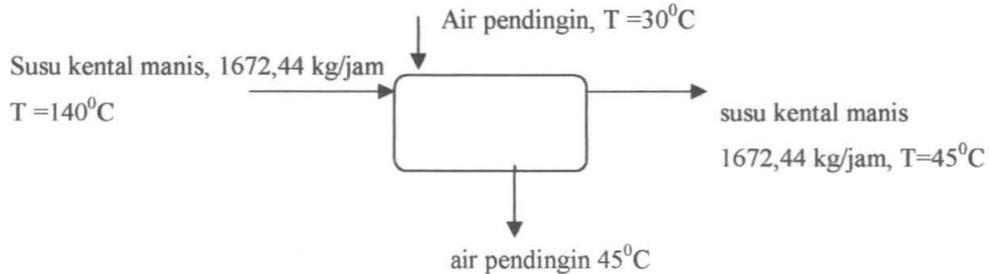
$$\lambda_{wet} = h_{vw} - h_l = 1146,15 \text{ Btu/lb} - 219,56 \text{ Btu/lb}$$

$$= 926,59 \text{ Btu/lb} = 2200,74 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = ms \cdot \lambda_{wet}$$

$$\text{Massa steam} = \frac{Q}{\lambda_{wet}} = \frac{273974,52 \text{ kJ/jam}}{2200,74 \text{ kJ/kg}} = 124,04 \text{ kg/jam}$$

B.11 Cooler (E-314)



- PHE II

1. Masuk PHE

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar PHE I}} = 455120,21 \text{ kJ/jam}$$

3 Keluar PHE

Diasumsi : $Q_{\text{loss}} = 5\% Q_{\text{input}}$

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int Cp.dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int Cp.dT$ (kJ/jam)
Protein	197,83	25-45	40,98	8106,41
Karbohidrat	102,30	25-45	32,20	3294,25
Lemak	107,39	25-45	40,59	4359,52
Ash	15,26	25-45	23,08	352,25
Air	501,73	25-45	83,32	4180,57
NaHCO ₃	2,61	25-45	21,27	55,51
Gula	745,31	25-45	28,42	21177,87
Total output				79151,48

Panas masuk = Panas keluar

$Q_{\text{input}} = Q_{\text{output}} + Q_{\text{loss}} + Q_{\text{yang diserap air pendingin}}$

$$455120,21 \text{ kJ/jam} = 79151,48 \text{ kJ/jam} + 5\%. 455120,21 \text{ kJ/jam} + Q$$

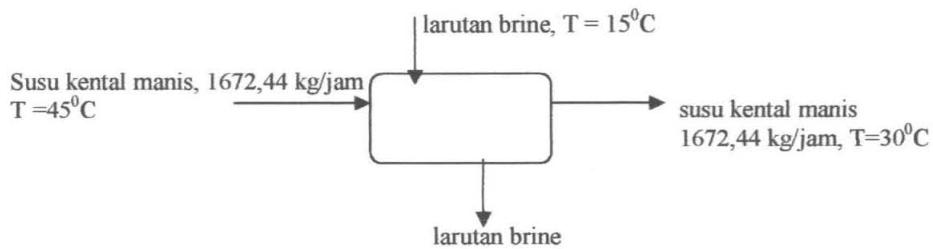
$$Q_{\text{yang diserap air pendingin}} = 353212,72 \text{ kJ/jam}$$

Sebagai media pendingin digunakan air yang masuk pada suhu 30°C dan keluar pada suhu 45°C.

$$\text{Kebutuhan air pendingin} = Q = m \cdot Cp \cdot \Delta T$$

$$\text{Massa air pendingin} = \frac{353212,72 \text{ kJ/jam}}{4,181,15} = 5632,03 \text{ kg/jam}$$

B.13. Tangki pendingin (E-315)



1. Masuk Tangki pendingin

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar PHE II}} = 79151,48 \text{ kJ/jam}$$

2. Keluar Tangki Pendingin

Diasumsi $Q_{\text{loss}} = 5\% Q_{\text{input}}$

Keluar Komponen	Massa (kg/jam)	Harga batas integrasi (°C)	$\int C_p dT$ (kJ/kg)	$Q = m \int C_p dT$ (kJ/jam)
Protein	197,83	25-30	10,20	2018,28
Karbohidrat	102,30	25-30	7,99	817,55
Lemak	107,39	25-30	10,11	1085,24
Ash	15,26	25-30	5,71	87,12
Air	501,73	25-30	20,85	10459,97
NaHCO ₃	2,61	25-30	5,25	13,74
Gula	745,31	25-30	7,10	5294,47
Total output				19776,37

$$Q_{\text{input}} = Q_{\text{output}} + Q_{\text{yang diserap refrigeran}} + Q_{\text{loss}}$$

$$79151,48 \text{ kJ/jam} = 19776,37 \text{ kJ/jam} + Q + 75193,91 \text{ kJ/jam}$$

$$Q_{\text{yang diserap refrigeran}} = 55417,54 \text{ kJ/jam}$$

APPENDIX C

PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT

APPENDIX C

PERHITUNGAN SPESIFIKASI ALAT

1. *Warehouse Kedelai (F-111)*

Fungsi : untuk menyimpan bahan baku kacang kedelai selama 20 hari

Perhitungan :

$$\text{Direncanakan waktu tinggal} = 20 \text{ hari}$$

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

$$\begin{aligned} \text{Kedelai yang harus disimpan} &= 754,85 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 20 \text{ hari} \\ &= 362328 \text{ kg} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ kedelai} = 760 \text{ kg/m}^3 [12]$$

$$\text{Volume kedelai} = \frac{362328 \text{ kg}}{760 \text{ kg/m}^3} = 476,7474 \text{ m}^3$$

Ditetapkan :

- jenis karung yang dipakai adalah karung dengan daya tampung 50 kg kedelai

$$- \text{panjang tumpukan} = 9,2 \text{ m (20 karung)}$$

$$- \text{lebar tumpukan} = 11,52 \text{ m (16 karung)}$$

$$- \text{lebar jalan} = 4 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi tumpukan} = \frac{476,7474 \text{ m}^3}{9,2 \text{ m} \times 11,52 \text{ m}} = 4,4983 \text{ m}$$

$$\text{Jumlah karung} = \frac{476,7474 \text{ m}^3}{\frac{50 \text{ kg}}{760 \text{ kg/m}^3}} = 7247 \text{ buah karung}$$

$$\text{Tingkat tumpukan} = \frac{7247 \text{ karung}}{(20 \times 16) \text{ karung}} = 23 \text{ tingkat tumpukan}$$

$$\text{Panjang gudang} = 9,20 \text{ m} + (2 \times 4 \text{ m}) = 17,20 \text{ m} \approx 18 \text{ m}$$

$$\text{Lebar gudang} = 11,52 \text{ m} + (2 \times 4 \text{ m}) = 19,52 \text{ m} \approx 20 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi gudang} = 4,4983 \text{ m} + 4 \text{ m} = 8,4983 \text{ m} \approx 9 \text{ m}$$

Spesifikasi alat :

- Nama = *warehouse* kedelai
- Fungsi = untuk menyimpan bahan baku kacang kedelai selama 20 hari
- Kapasitas = $476,7474 \text{ m}^3$
- Bahan konstruksi = beton
- Panjang tumpukan = $9,20 \text{ m}$
- Lebar tumpukan = $11,52 \text{ m}$
- Tinggi tumpukan = $4,4983 \text{ m}$
- Lebar jalan = 4 m
- Panjang gudang = 18 m
- Lebar gudang = 20 m
- Tinggi gudang = 9 m
- Jumlah = 1 buah

2. NaHCO_3 Silo (F-124)

Fungsi : untuk menyimpan bahan baku NaHCO_3 selama 60 hari

Tipe : *silo* dengan tutup atas *flat* dan tutup bawah konis

Dasar pemilihan : cocok untuk menyimpan padatan, tutup bawah konis pada silo memudahkan pengeluaran padatan NaHCO_3

Perhitungan :

1. Volume Tangki

Direncanakan waktu tinggal selama 60 hari

T operasi = 30°C

sg NaHCO_3 = $2,2$ [33, 7th ed, p.2-23]

NaHCO_3 yang disimpan = $8,41 \text{ kg/jam} \times 24 \text{ jam/hari} \times 60 \text{ hari} = 12110,4 \text{ kg}$

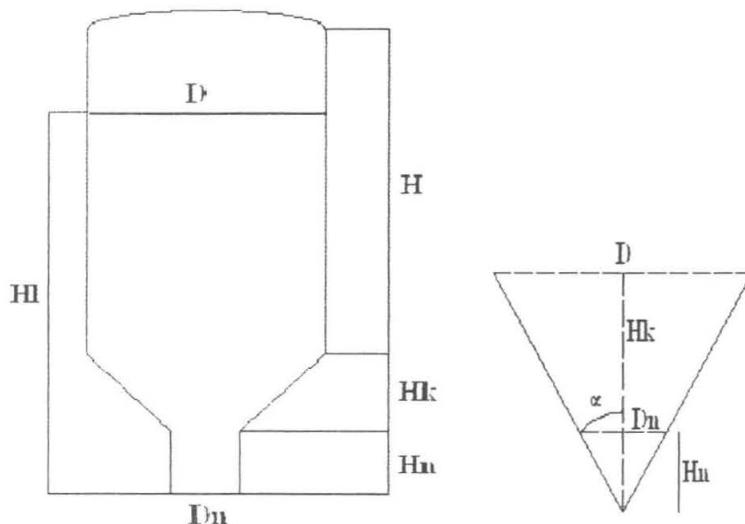
$$\begin{aligned}\rho \text{ NaHCO}_3 &= \text{sg NaHCO}_3 \times \rho \text{ air} (4^\circ\text{C}) \\ &= 2,2 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 2200 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Volume NaHCO}_3 = \frac{12110,4 \text{ kg}}{2200 \text{ kg/m}^3} = 5,5047 \text{ m}^3 = 194,3875 \text{ ft}^3$$

Asumsi volume NaHCO_3 = 90 % dari volume tangki

$$\text{Volume tangki} = \frac{100}{90} \times \text{volume NaHCO}_3 = \frac{100}{90} \times 5,5047 \text{ m}^3 = 6,1163 \text{ m}^3 \\ = 215,9849 \text{ ft}^3$$

2. Dimensi Tangki



Keterangan:

D = diameter shell

H = tinggi shell

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi nozzle

Hl = tinggi padatan

Dn = diameter nozzle

$$Hn = \frac{Dn}{2 \times \operatorname{tg} \alpha}$$

$$Hk = \frac{D_{\text{shell}}}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} - Hn = \frac{D_{\text{shell}}}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} - \frac{Dn}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

$$= \frac{D_{\text{shell}} - Dn}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

$$\frac{H_{\text{shell}}}{D_{\text{shell}}} = 1,5 / 1 \quad [39]$$

Diameter nozzle (D_n) = 8 inc \approx 0,2032 m = 0,6667 ft [37, p. 96]

Ditetapkan : sudut konis = 60°

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Volume shell} &= \frac{\pi}{4} \times D_{\text{shell}}^2 \times H = \frac{\pi}{4} \times D_{\text{shell}}^2 \times 1,5 D_{\text{shell}} \\ &= 1,1775 D_{\text{shell}}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{volume konis} &= \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_k \right] - \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n \right] \\ &= \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{D}{2 \times \tan \alpha} \right] - \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \times \tan \alpha} \right] \\ &= \frac{\pi}{24 \times \tan \alpha} \times (D^3 - D_n^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = $V_{\text{shell}} + V_{\text{konis}}$

$$215,9849 \text{ ft}^3 = 1,1775 \times D_{\text{shell}}^3 + \frac{\pi}{24 \times \tan \alpha} \times (D_{\text{shell}}^3 - D_n^3)$$

$$215,9849 \text{ ft}^3 = 1,1775 D_{\text{shell}}^3 + 0,2266 D_{\text{shell}}^3 - 0,0672$$

$$215,9849 \text{ ft}^3 = 1,4041 D_{\text{shell}}^3 - 0,0672$$

$$D_{\text{shell}} = 5,3593 \text{ ft} = 1,6335 \text{ m} = 64,3116 \text{ in}$$

$$r_{\text{shell}} = 2,6797 \text{ ft} = 0,8168 \text{ m}$$

$$H_{\text{shell}} = 1,5 D = (1,5 \times 5,3593) \text{ ft} = 8,0390 \text{ ft} = 2,4503 \text{ m}$$

$$H_{\text{konis}} = \frac{D_{\text{shell}} - D_n}{2 \times \tan \alpha} = \frac{(5,3593 - 0,6667) \text{ ft}}{2 \times \tan 30^\circ} = 4,0639 \text{ ft} = 1,2387 \text{ m}$$

$$H_{\text{NaHCO}_3 \text{ dalam konis}} = H_{\text{konis}} = 4,0639 \text{ ft} = 1,2387 \text{ m}$$

$$H_{\text{nozzle}} = \frac{D_n}{2 \times \tan \alpha} = \frac{0,6667 \text{ ft}}{2 \times \tan 30^\circ} = 0,5774 \text{ ft} = 0,1760 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume NaHCO}_3 \text{ dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \times \tan 30^\circ} \times (D^3 - D_n^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \times \tan 30^\circ} \times (5,3593^3 - 0,6667^3) \\ &= 34,8150 \text{ ft}^3 = 0,9859 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$V_{\text{NaHCO}_3 \text{ dalam shell}} = V_{\text{NaHCO}_3} - V_{\text{NaHCO}_3 \text{ dalam konis}}$$

$$\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{\text{NaHCO}_3 \text{ dalam shell}} = (194,3875 - 34,8150) \text{ ft}^3$$

$$\frac{\pi}{4} \times (5,3593)^2 \times H_{\text{NaHCO}_3 \text{ dalam shell}} = 159,5725 \text{ ft}^3 = 4,5188 \text{ m}^3$$

$$H_{\text{NaHCO}_3 \text{ dalam shell}} = 7,0774 \text{ ft} = 2,1572 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{NaHCO}_3 \text{ dalam tangki}} &= H_{\text{NaHCO}_3 \text{ dalam shell}} + H_{\text{NaHCO}_3 \text{ dalam konis}} \\ &= (7,0774 + 4,0639) \text{ ft} = 11,1413 \text{ ft} = 3,3959 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{tangki total}} &= H_{\text{shell}} + H_{\text{konis}} \\ &= (8,0390 + 4,0639) \text{ ft} \\ &= 12,1029 \text{ ft} \approx 12 \text{ ft} = 3,6576 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Tebal Shell, dan Konis

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi silo adalah *cast iron* SA-476 [41, 3th ed, p.460]
 - *Allowable stress value* dari *cast iron* SA-476 = 55,2 Mpa = 8006,9808 psi [45, p.230]
 - *Corrosion allowance* (c) adalah 3 mm [41, 3th ed, p.556]
 - Las yang digunakan : *double welded butt joint*, efisiensi 0,85 [37, p.46]
- P operasi untuk solid dihitung dengan persamaan dari 44, 4th ed, p.763 :

$$P_L = K' \times P_B,$$

dimana: P_L = *Lateral pressure at the base*

P_B = *Vertical pressure at the base*

K' = *Ratio of the normal pressure to the applied pressure*

K' dicari dengan persamaan dari 44, 4th ed, p.760 :

$$K' = \frac{1 - \sin \alpha_m}{1 + \sin \alpha_m}$$

dimana : α_m = *angle of internal friction of the material*, dari 44,

4th ed, p.760, untuk granular solid $\alpha_m = 15^\circ$ dan 30°

dambil $\alpha_m = 30^\circ$, sehingga :

$$K' = \frac{1 - \sin 30^\circ}{1 + \sin 30^\circ} = \frac{1 - 0,5}{1 + 0,5} = 0,3333$$

P_B dicari dengan persamaan dari 44, 4th ed, p.762 :

$$P_B = \frac{r \times \rho b \times \left(\frac{g}{gc} \right)}{2 \times \mu' \times K'} \times \left(1 - e^{-2 \mu' K' ZT / r} \right),$$

dimana : g = acceleration of gravity (32,1745 ft/s²)

gc = gravitational conversion factor (32,1740 ft.lbm/lbf.s²)

jadi : g/gc ≈ 1

ρb = densitas solid (lb/ft³)

r = jari-jari silo (ft)

ZT = tinggi solid dalam silo (ft)

μ' = coefficient of friction, dari 44, 4th ed, p.763, untuk
granular solid, $\mu' = 0,35$ sampai $0,55$

dambil $\mu' = 0,5$, sehingga :

$$P_B = \frac{2,6797 \text{ ft} \times 47,4474 \text{ lb/ft}^3 \times 1}{2 \times 0,5 \times 0,3333} \times \left(1 - e^{-2 \times 0,5 \times 0,3333 \times 11,1413 \text{ ft} / 2,6797 \text{ ft}} \right),$$

$$= 286,0525 \text{ lbf/ft}^2 = 1,9857 \text{ lb/in}^2$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi : } P_L &= K' \times P_B = 0,3333 \times 1,9857 \text{ lb/in}^2 \\ &= 0,6618 \text{ lb/in}^2 = 0,6618 \text{ psi (sebagai } P \text{ operasi)} \end{aligned}$$

Ditetapkan : P design = 1,2 x P operasi

$$P \text{ design} = 1,2 \times 0,6618 \text{ psi} = 0,7942 \text{ psi}$$

Tebal shell dihitung dengan persamaan dari 45, p.23 :

$$t_s = \frac{P \times R}{SE - 0,6P} + c \quad (\text{C.1})$$

dimana : t_s = tebal minimum shell, mm, in

P = internal design pressure, kPa, psi (gauge)

R = inside radius dari shell, mm, in

S = allowable stress value, kPa, psi

E = joint efficiency

$C = \text{corrosion allowance, mm}$

$$t_s = \frac{0,7942 \text{ psi} \times 2,6797 \text{ ft}}{((8006,9808 \text{ psi} \times 0,85) - (0,6 \times 0,7942 \text{ psi})) \times 3,2808 \text{ ft/m}} + 3 \text{ mm}$$

$$= 0,0001 \text{ m} + 3 \text{ mm} = (0,1 + 3) \text{ mm} = 3,1 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} "$$

tebal *shell* = tebal *head* = $\frac{3}{16}$ "

Tebal konis dihitung dengan persamaan dari 45, p.34 :

$$t_k = \frac{P \times R}{\cos \alpha (S_E - 0,6P)} + c \quad (\text{C.2})$$

dimana : t_k = tebal minimum konis, mm, in

P = *internal design pressure*, kPa, psi (gauge)

R = *inside radius* dari *shell*, mm, in

α = sudut kemiringan konis

S = *allowable stress value*, kPa, psi

E = *joint efficiency*

c = *corrosion allowance*, mm

$$\text{Jadi, } t_k = \frac{1,9857 \text{ psi} \times 2,6797 \text{ ft}}{\cos 30^\circ ((8006,9808 \text{ psi} \times 0,85) - (0,6 \times 1,9857 \text{ psi})) \times 3,2808 \text{ ft/m}} + 3 \text{ mm}$$

$$= 0,00028 \text{ m} + 3 \text{ mm} = (0,28 + 3) \text{ mm} = 3,28 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} "$$

Tebal konis = $\frac{3}{16}$ "

Spesifikasi alat :

- Nama = NaHCO_3 silo
- Fungsi = untuk menyimpan bahan baku NaHCO_3 selama 60 hari
- Bahan konstruksi = *cast iron* SA-476
- Kapasitas = $6,1163 \text{ m}^3$
- Diameter tangki = $5,3593 \text{ ft}$
- Tinggi *shell* = $8,0390 \text{ ft}$
- Tinggi konis = $4,0639 \text{ ft}$
- Tinggi tangki total = 12 ft
- Tebal *shell* = $\frac{3}{16}$ "

- Tebal konis = $\frac{3}{16}$ "
- Jumlah = 1 buah

3. Bucket Elevator (J-116)

Fungsi : mengangkut kedelai dari *Warehouse* kedelai (F-111)

ke *belt conveyor* (J-112)

Tipe : *Centrifugal discharge bucket on belt*

Dasar pemilihan : cocok untuk mengangkut padatan kecil dan cocok digunakan untuk *vertical lifting*

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

Perhitungan :

Massa kedelai masuk = 754,85 kg/jam = 0,75485 ton/jam

Jarak vertikal = 25 ft = 7,6170 m

Sudut elevasi = 90^0 [33, 7th ed, table 21-8]

Dari 33, 7th ed, tabel 21-8, diperoleh data-data untuk kapasitas 14 ton/jam :

- Ukuran *bucket* = $(6 \times 4 \times 4,25)$ in
- Jarak atau spasi *bucket* = 12 in = 0,3048 m
- Kecepatan *bucket* = 225 ft/menit = 68,5780 m/menit
- Putaran *head shaft* = 43 rpm
- *Shaft diameter* = head : $1\frac{15}{16}$ in; tail : $1\frac{11}{16}$ in
- *Pulleys diameter* = head : 20 in; tail : 14 in
- Lebar *belt* = 7 in = 0,1778 m

Untuk kapasitas 0,75485 ton/jam didapatkan spesifikasi *bucket* sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan } \textit{bucket} = \frac{0,75485 \text{ ton/jam}}{14 \text{ ton/jam}} \times 225 \text{ ft/menit}$$

$$= 12,1315 \text{ ft/min} = 3,6977 \text{ m/menit}$$

$$\text{Putaran } \textit{head shaft} = \frac{0,75485 \text{ ton/jam}}{14 \text{ ton/jam}} \times 43 \text{ rpm} = 2,3185 \text{ rpm}$$

$$\text{Power bucket (hp)} = \frac{\text{TPH} \times L}{500} \quad [33, 7^{\text{th}} \text{ ed, P. 21-14}]$$

dimana : TPH = kapasitas dalam ton/jam = 0,75485 ton/jam

L = tinggi elevasi (diambil = 25 ft = 7,6199 m)

$$\text{hp} = \frac{0,75485 \text{ ton/jam} \times 25 \text{ ft}}{500} = 0,0377 \text{ hp}$$

$$\text{Effisiensi} = 80\% \quad [41, 3^{\text{th}} \text{ ed, p.521}]$$

$$\text{Power motor} = \frac{0,0377 \text{ hp}}{0,8} = 0,0472 \text{ hp} \approx 0,25 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

- Kapasitas = 754,85 kg/jam = 0,75485 ton/jam
- Ukuran bucket = $(6 \times 4 \times 4,25)$ in
- Jarak atau spasi bucket = 0,3048 m
- Kecepatan bucket = 3,6977 m/menit
- Putaran head shaft = 2,3185 rpm
- Sudut elevasi = 90°
- Power motor = 0,25 hp
- Bahan konstruksi = stainless steel
- Jumlah alat = 1 buah

4. Belt Conveyor (J-112)

Fungsi : mengangkut biji kedelai dari *bucket elevator* (J-116) ke *screen I* (H-113)

Dasar pemilihan : harga murah, dan cocok untuk membawa padatan kering

Perhitungan :

Massa biji kedelai = 754,85 kg/jam = 0,75485 ton/jam

Panjang belt = 5 m

Sudut elevasi = 0°

Dari 33, 7th ed, tabel 21-7 diperoleh :

- Lebar belt = 35 cm
- Belt plies = 3 – 5

- Kecepatan *belt* = 30,5 m/menit
- Kapasitas = 32 ton/jam

$$\text{Kecepatan } belt = \frac{0,75485 \text{ ton/jam}}{32 \text{ ton/jam}} \times 30,5 \text{ m/menit} = 0,7195 \text{ m/menit}$$

$$\text{hp} = \text{kapasitas} \times H \times 0,002 \times C \quad [40, 3^{\text{th}} \text{ ed p.1355}]$$

dimana : H = panjang belt conveyor (m)

C = Material factor, dan dari 38, 3th ed, hal 1356 untuk

kedelai harga C = 1

$$= 0,75485 \text{ ton/jam} \times 5 \text{ m} \times 0,002 \times 1 = 7,5485 \cdot 10^{-3} \text{ hp}$$

$$\text{Efisiensi motor} = 80\% \quad [41, 3^{\text{th}} \text{ ed, p.521}]$$

$$\text{Power motor} = \frac{7,5485 \times 10^{-3}}{0,8} \text{ hp} = 0,0094 \text{ hp} \approx 0,25 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

- Kapasitas = 754,85 kg/jam
- Panjang *belt* = 5 m
- Lebar *belt* = 35 cm
- Kecepatan *belt* = 0,7195 m/menit
- Sudut elevasi = 0 °
- Power = 0,25 hp
- Bahan konstruksi = *rubber* dan *stainless steel*
- Jumlah alat = 1 buah

5. Screen I (H-113)

Tipe : *vibrating screen*

Dasar pemilihan : efisiensi tinggi, kapasitas tinggi, *maintenance cost* rendah, ruang yang dibutuhkan kecil. [33, 7th ed, p.19-20]

Fungsi : untuk memisahkan kedelai dari kotoran yang ukurannya lebih besar dari kedelai.

Perhitungan :

Ukuran biji kedelai = 5 mm x 4 mm

Dari 39, p.223 ditetapkan :

- ukuran lubang *screen* = 6 mm
- panjang *screen* = 2 m
- lebar *screen* = 1 m
- luas *screen* = 2 m²

$$\text{Power} = \frac{16000 \times \text{m}}{\text{Dp}} = \frac{16000 \times 754,85 \text{ kg}}{3600 \text{ s} \times 10000 \mu\text{m}} = 0,3355 \text{ kW}$$

[39, p.315]

$$= 0,4499 \text{ hp} \approx 0,5 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

- Nama = *screen I*
- Tipe = *vibrating screen*
- Fungsi = untuk memisahkan kedelai dari kotoran yang ukurannya lebih besar dari kedelai.
- Lubang *screen* = 6 mm
- Panjang *screen* = 2 m
- Lebar *screen* = 1 m
- Luas *screen* = 2 m²
- Power = 0,5 hp
- Bahan = *carbon steel*
- Jumlah = 1 buah

6. *Screen II (H-114)*

Tipe : *vibrating screen*

Dasar pemilihan : efisiensi tinggi, kapasitas tinggi, *maintenance cost* rendah, ruang yang dibutuhkan kecil. [33, 7th ed, p.19-20]

Fungsi : untuk memisahkan kedelai dari kotoran yang ukurannya lebih kecil dari kedelai.

Perhitungan :

Ukuran biji kedelai = 5 mm x 4 mm

Dari 39, p.223 ditetapkan :

- ukuran lubang *screen* = 3,5 mm
- panjang *screen* = 2 m
- lebar *screen* = 1 m
- luas *screen* = 2 m²

$$\text{Power} = \frac{16000 \times \text{m}}{\text{Dp}} = \frac{16000 \times 751,08 \text{ kg}}{3600 \text{ s} \times 1680 \mu\text{m}} = 1,9869 \text{ kW}$$

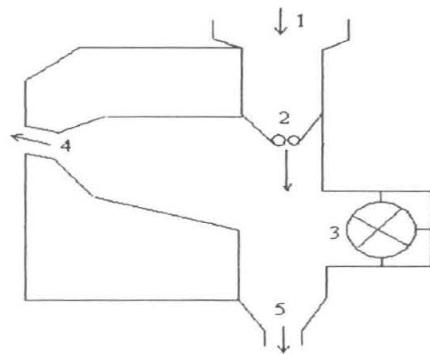
[39, p.315]

$$= 2,6642 \text{ hp} \approx 3 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

- Nama = *screen II*
- Tipe = *vibrating screen*
- Fungsi = untuk memisahkan kedelai dari kotoran yang ukurannya lebih kecil dari kedelai.
- Lubang *screen* = 3,5 mm
- Panjang *screen* = 2 m
- Lebar *screen* = 1 m
- Luas *screen* = 2 m²
- Power = 3 hp
- Bahan = *carbon steel*
- Jumlah = 1 buah

7. Destoner (C-110)



Keterangan :

- 1 = *hopper* tempat masuk kedelai
- 2 = *roll crusher*
- 3 = *centrifugal blower*
- 4 = tempat keluar kulit kedelai
- 5 = tempat keluar biji kedelai

Tipe : *roll crusher* yang dilengkapi dengan *centrifugal blower*

Dasar pemilihan : cocok digunakan untuk *coarse crushing*, biasa digunakan untuk menghancurkan kedelai

Fungsi : untuk memisahkan kedelai dari kulit arinya.

Perhitungan :

$T_{\text{operasi}} = 30^\circ\text{C}$

$\rho_{\text{kedelai}} = 760 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Kapasitas } roll \text{ crusher} = 747,37 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} = \frac{747,37 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}}{760 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0,9834 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 16390 \text{ cm}^3/\text{min}$$

Ukuran biji kedelai = 5 mm x 4 mm

Dari 12, diketahui :

- Diameter *roll* = 25 cm = 0,25 m
- *Reduction ratio* (R) = 3

Dari 43, 6th ed, p.972 didapatkan data – data sebagai berikut :

- kecepatan *roll crusher* berkisar antara (50-300) rpm.
- ukuran maksimum produk sama dengan d, dimana d adalah jarak antara *roll*.
- untuk *reduction ratio* = 3, ukuran diameter maksimum produk = $1/3 \times$ diameter bahan mula – mula.

$$\begin{aligned} \text{Sehingga : ukuran maksimum produk} &= 1/3 \times 5 \text{ mm} \\ &= 1,67 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\text{Jadi jarak antara } roll \text{ (d)} = 1,67 \text{ mm}$$

Ditetapkan :

- kecepatan *roll crusher* = 50 rpm = $\pi \times D_{\text{roll}} \times N = 3,14 \times 0,25 \text{ m} \times 50 \text{ rpm}$
 $= 39,25 \text{ m/menit} = 3925 \text{ cm/menit}$

$$Q = d \times L \times s / 2,96 \quad [33, 7^{\text{th}} \text{ ed, p.20-27}]$$

dimana : Q = kapasitas, cm^3/min

d = jarak antara *roll*, cm

L = panjang *roll*, cm

s = kecepatan peripheral, cm/min

$$L = \frac{16390 \text{ cm}^3/\text{min} \times 2,96}{0,167 \text{ cm} \times 3925 \text{ cm/min}} = 74,0141 \text{ cm} \approx 74 \text{ cm} = 0,74 \text{ m}$$

$$\text{Power } roll = 0,3 \times m \times R \quad [39, \text{ p.76}]$$

dimana : m = massa bahan masuk (kg/s)

R = reduction ratio

$$= 0,3 \times \frac{747,37 \text{ kg/jam}}{3600 \text{ s/jam}} \times 3 = 0,1868 \text{ kW} = 0,2505 \text{ hp}$$

Blower pada *destoner* menyuplai $0,008 \text{ m}^3/\text{min}$ udara dengan tekanan 1 atm, 30°C . Tekanan udara keluar *blower* adalah 2,4 atm ($\Delta P = 1,4 \text{ atm}$). [39, p.120]

$$W_s = \frac{2,3026RT_1}{M} \log \frac{P_2}{P_1} \quad [28, \text{ p.139}]$$

$$= \frac{2,3026 \times 8,314 \text{ J/mol.}^\circ\text{K} \times 303 \text{ K}}{28,97 \text{ gr/mol}} \log \frac{2,4 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 76,1286 \text{ kJ/kg}$$

$$\rho \text{ udara 1 atm} = \frac{P \times BM}{R \times T} = \frac{1 \text{ atm} \times 28,97 \text{ gr/mol}}{0,082 \text{ L.atm/mol.}^\circ\text{K} \times 303 \text{ K}} = 1,1652 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ udara 2,4 atm} = 1,1652 \text{ kg/m}^3 \times \frac{2,4 \text{ atm}}{1 \text{ atm}} = 2,7965 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ average} = \frac{1,1652 + 2,7965}{2} \text{ kg/m}^3 = 1,9808 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Massa udara} = 1,9808 \text{ kg/m}^3 \times 0,008 \text{ m}^3/\text{min} = 0,0158 \text{ kg/min} \\ = 2,6411 \times 10^{-4} \text{ kg/s}$$

$$\text{Power } blower = 76,1286 \text{ kJ/kg} \times 2,6411 \times 10^{-4} \text{ kg/s} = 0,02 \text{ kW}$$

$$\text{Efisiensi blower} = 75\% \quad [39, \text{ p.120}]$$

$$\text{BHP} = \frac{0,02 \text{ kW}}{0,75} = 0,0268 \text{ kW}$$

Efisiensi motor = 80% [41, 3th ed, p.521]

$$\text{Power aktual} = \frac{0,0268 \text{ kW}}{0,8} = 0,0335 \text{ kW} = 0,0449 \text{ hp}$$

Power total yang dibutuhkan = (0,2505 + 0,0449) hp = 0,2954 hp ≈ 0,5 hp

Spesifikasi alat :

- Kapasitas = 747,37 kg/jam
- Diameter *roll* = 0,25 m
- *Reduction ratio* (R) = 3
- Jarak antara *roll* = 1,67 mm
- Panjang *roll* = 0,74 m
- Power = 0,5 hp

8. Belt Conveyor (J-115)

Fungsi : mengangkut biji kedelai dari *destoner* (C-110)
ke *bucket elevator* (J-122)

Dasar pemilihan : harga murah, dan cocok untuk membawa padatan kering

Perhitungan :

Massa biji kedelai = 672,63 kg/jam = 0,67263 ton/jam

Panjang *belt* = 5 m

Sudut elevasi = 0°

Dari 33, 7th ed, tabel 21-7 diperoleh :

- Lebar *belt* = 35 cm = 0,35 m
- *Belt plies* = 3 – 5
- Kecepatan *belt* = 30,5 m/menit
- Kapasitas = 32 ton/jam

$$\text{Kecepatan } belt = \frac{0,67263 \text{ ton/jam}}{32 \text{ ton/jam}} \times 30,5 \text{ m/menit} = 0,6411 \text{ m/menit}$$

$$\text{hp} = \text{kapasitas} \times H \times 0,002 \times C \quad [40, 3^{\text{th}} \text{ ed, p.1355}]$$

$$= 0,67263 \text{ ton/jam} \times 5 \text{ m} \times 0,002 \times 1 = 6,7263 \cdot 10^{-3} \text{ hp}$$

Efisiensi = 80% [41, 3th ed, p.521]

$$\text{Power motor} = \frac{6,7263 \cdot 10^{-3}}{0,8} = 0,0084 \text{ hp} \approx 0,25 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

- Kapasitas = 672,63 kg/jam
- Panjang belt = 5 m
- Lebar belt = 0,35 m
- Kecepatan belt = 0,6411 m/menit
- Sudut elevasi = 0 °
- Power = 0,25 hp
- Bahan konstruksi = rubber dan stainless steel
- Jumlah alat = 1 buah

9. Bucket Elevator (J-122)

Fungsi : mengangkut kedelai dari dari belt conveyor (J-115) ke cooker (M-120)

Tipe : Centrifugal discharge bucket on belt

Dasar pemilihan : cocok untuk mengangkut padatan kecil dan cocok digunakan untuk vertical lifting

Kondisi operasi : T = 30 °C

Perhitungan :

Massa kedelai masuk = 672,63 kg/jam = 0,67263 ton/jam

Jarak vertikal = 2,5 m = 8,2020 ft

Sudut elevasi = 90° [33, 7th ed, table 21-8]

Dari 33, 7th ed, tabel 21-8, diperoleh data-data untuk kapasitas 14 ton/jam :

- Ukuran bucket = $(6 \times 4 \times 4,25)$ in
- Jarak atau spasi bucket = 12 in = 0,3048 m
- Kecepatan bucket = 225 ft/menit = 68,5780 m/menit
- Putaran head shaft = 43 rpm
- Shaft diameter = head : $1\frac{15}{16}$ in; tail : $1\frac{11}{16}$ in
- Pulleys diameter = head : 20 in; tail : 14 in

- Lebar *belt* = 7 in = 0,1778 m

Untuk kapasitas 0,56053 ton/jam didapatkan spesifikasi *bucket* sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan } \textit{bucket} = \frac{0,67263 \text{ ton/jam}}{14 \text{ ton/jam}} \times 225 \text{ ft/menit}$$

$$= 10,8101 \text{ ft/menit} = 3,2949 \text{ m/menit}$$

$$\text{Putaran head shaft} = \frac{0,67263 \text{ ton/jam}}{14 \text{ ton/jam}} \times 43 \text{ rpm} = 2,0659 \text{ rpm}$$

$$\text{Power bucket (hp)} = \frac{\text{TPH} \times L}{500} \quad [33, 7^{\text{th}} \text{ ed, P. 21-14}]$$

dimana : TPH = kapasitas dalam ton/jam = 0,67263 ton/jam

L = tinggi elevasi (diambil = 2,5 m = 8,2020 ft)

$$\text{hp} = \frac{0,67263 \text{ ton/jam} \times 8,2020 \text{ ft}}{500} = 0,0110 \text{ hp}$$

$$\text{Effisiensi} = 80\% \quad [41, 3^{\text{th}} \text{ ed, p-521}]$$

$$\text{Power motor} = \frac{0,0110 \text{ hp}}{0,8} = 0,0138 \approx 0,25 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

- Kapasitas = 672,63 kg/jam = 0,67263 ton/jam
- Ukuran *bucket* = $(6 \times 4 \times 4,25)$ in
- Jarak atau spasi *bucket* = 0,3048 m
- Kecepatan *bucket* = 3,2949 m/min
- Putaran head shaft = 2,0659 rpm
- Sudut elevasi = 90°
- Power motor = 0,25 hp
- Bahan konstruksi = stainless steel
- Jumlah alat = 1 buah

10. Mixer NaHCO₃ (M-121)

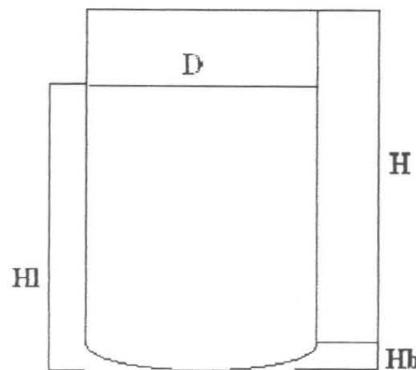
Fungsi : melarutkan NaHCO₃ di dalam air pelarut

Tipe : silinder tegak berpengaduk dengan tutup atas *flat* dan tutup bawah *torispherical*.

Dasar pemilihan : cocok untuk pencampuran *liquid – solid*

Perhitungan :

1. Volume Tangki



Keterangan:

D = diameter *shell*

H = tinggi *shell*

Hb = tinggi *bottom*

Hl = tinggi liquid

Direncanakan waktu tinggal selama 15 menit (0,25 jam).

$$T \text{ operasi} = 67,8689 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Massa alir NaHCO}_3 = 8,41 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ NaHCO}_3 = \text{sg NaHCO}_3 \times \rho \text{ air (4 }^{\circ}\text{C)}$$

$$= 2,2 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$V \text{ NaHCO}_3 = \frac{8,41 \text{ kg/jam}}{2200 \text{ kg/m}^3} \times 0,25 \text{ jam} = 9,5568 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\text{Massa alir air} = 1673,17 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ air} = 997,18 + 3,1439 \times 10^{-3} T - 3,7574 \times 10^{-3} T^2$$

$$\rho_{\text{air}} = 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (67,8689) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (67,8689)^2 \\ = 980,0861 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{air}} = \frac{1673,17 \text{ kg/jam}}{980,0861 \text{ kg/m}^3} \times 0,25 \text{ jam} = 0,4273 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{larutan NaHCO}_3} = V_{\text{NaHCO}_3} + V_{\text{air}} \\ = 9,5568 \times 10^{-4} \text{ m}^3 + 0,4273 \text{ m}^3 = 0,4283 \text{ m}^3 = 15,1246 \text{ ft}^3$$

Asumsi volume larutan NaHCO₃ = 80 % dari volume tangki

$$\text{Volume tangki} = \frac{100}{80} \times \text{volume larutan NaHCO}_3 = \frac{100}{80} \times 0,4283 \text{ m}^3 \\ = 0,5354 \text{ m}^3 = 18,1495 \text{ ft}^3$$

2. Dimensi dan Tebal *Shell*

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi *mixer* adalah *stainless steel* tipe 304 (SA-240 grade S)
- *Allowable stress value* dari SA-240 adalah 17802,1297 psi [45, p.342]
- *Corrosion allowance (c)* adalah 3 mm [41, 3th ed, p.556]
- Las yang digunakan : *double welded butt joint*, efisiensi 0,85 [37, p.46]
- $H_{\text{shell}} / D_{\text{shell}} = 1,5 / 1$

Volume tangki = volume *shell* + volume *bottom*

$$18,1495 \text{ ft}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H \right) + 0,000049 D^3 \\ = \left(\frac{1,5 \times \pi}{4} \times D^3 \right) + (0,000049 D^3)$$

$$D = 2,4886 \text{ ft} \approx 2,5 \text{ ft} = 0,762 \text{ m} = 30 \text{ in}$$

$$H_{\text{shell}} = 1,5 \times 0,762 \text{ m} = 1,143 \text{ m} = 3,750 \text{ ft} \approx 4 \text{ ft}$$

H liquid dalam *shell* dicari dengan persamaan :

Volume *liquid* = volume *shell* + volume *bottom*

$$0,4283 \text{ m}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{\text{liquid}} \right) + 0,000049 D^3$$

$$0,4283 \text{ m}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times (0,762)^2 \times H_{\text{liquid}} \right) + 0,000049 \times (0,762)^3$$

$$H_{\text{liquid}} = 0,9396 \text{ m} = 3,0827 \text{ ft}$$

$$P_{operasi} = \left(\frac{\rho \times H}{144} \right) \text{ lb/in}^2 \quad [37, \text{ pers } 3.17, \text{ hal } 46]$$

$$P_{operasi} = \left(\frac{62,37 \times 3,0827}{144} \right) \text{ lb/in}^2 = 1,3352 \text{ lb/in}^2 = 1,3352 \text{ psi}$$

$$P_{design} = 1,2 \times P_{operasi} = 1,2 \times 1,3352 \text{ psi} = 1,6022 \text{ psi}$$

Dengan menggunakan persamaan C.1, maka :

$$t_s = \frac{P \times R}{SE - 0,6P} + c$$

$$t_s = \frac{1,6022 \text{ psi} \times 1,25 \text{ ft}}{((17802,1297 \text{ psi} \times 0,85) - (0,6 \times 1,6022 \text{ psi})) \times 3,2808 \frac{\text{ft}}{\text{m}}} + 3 \text{ mm}$$

$$= 0,00004097 \text{ m} + 3 \text{ mm} = (0,04097 + 3) \text{ mm} = 3,04097 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} \text{ "}$$

$$OD = ID + (2 \times t_s) = 30 \text{ in} + (2 \times \frac{3}{16}) \text{ in} = 30,375 \text{ in}$$

3. Tebal Head, Bottom dan Tinggi Bottom

$$\text{Tebal head} = t_{shell} = \frac{3}{16} \text{ "}$$

Tebal bottom dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

OD = 30,375 in \approx 30 in (distanarisasi dari 30, p.89), sehingga dari 37, tabel 5.7, hal. 89 didapatkan data $r = 30$ in dan $icr = 1,875$ in. Untuk $t_s = \frac{3}{16}$ ", berdasarkan 37, tabel 5.8, hal.93, didapatkan data $sf = 1,5$ in.

Tebal head maupun bottom dihitung dengan 37, per. 7.77, hal.138 :

$$t_d = \frac{P \times r \times W}{2SE - 0,2P} + c \quad (\text{C.3})$$

dimana : t_d = tebal minimum dish (head bottom), mm, in

P = internal design pressure, kPa, psi (gauge)

r = crown radius / radius of dish, in

$$W = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right)$$

S = allowable stress value, kPa, psi

E = joint efficiency

c = corrosion allowance, mm

$icr = \text{inside corner radius} / \text{knuckle radius, in}$

Dengan menggunakan persamaan C.3, maka :

$$\begin{aligned} W &= \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right) = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{30 \text{ in}}{1,875 \text{ in}}} \right) = 1,75 \\ t_d &= \frac{1,6022 \text{ psi} \times 30 \text{ in} \times 1,75}{(2 \times 17802,1297 \text{ psi} \times 0,85) - (0,2 \times 1,6022 \text{ psi})} + 3 \text{ mm} \\ &= 0,0028 \text{ in} + 3 \text{ mm} = (0,07112 + 3) \text{ mm} = 3,07112 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} \text{"} \end{aligned}$$

Tinggi *head* dan *bottom* dapat dihitung dengan persamaan dari 37, p.87 :

$$OA = t_d + b + sf \quad (\text{C.4})$$

dimana : $OA = \text{tinggi dish (head/bottom), in}$

$t_d = \text{tebal dish, in}$

$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2}$

$AB = \frac{ID}{2} - icr$

$BC = r - icr$

$sf = \text{straight flange, in}$

Dengan menggunakan persamaan C.4, dihitung tinggi *bottom* sebagai berikut :

$$AB = ID/2 - icr = (15 - 1,875) \text{ in} = 13,125 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (30 - 1,875) \text{ in} = 28,125 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = 30 \sqrt{(28,125)^2 - (13,125)^2} = 5,1253 \text{ in}$$

$$OA = t_d + b + sf = (3/16 + 5,1253 + 1,5) \text{ in}$$

$$= 6,8128 \text{ in} = 0,5677 \text{ ft} = 0,1730 \text{ m}$$

$$H \text{ liquid dalam dished head} = (6,8128 - 3/16) \text{ in} = 6,6253 \text{ in} = 0,1683 \text{ m}$$

$$H \text{ liquid total} = (0,1683 + 0,9396) \text{ m} = 1,1079 \text{ m}$$

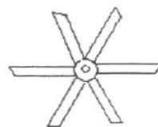
$$H \text{ tangki total} = H \text{ shell} + H \text{ bottom}$$

$$= (4 + 0,5677) \text{ ft} = 4,5677 \text{ ft} \approx 5 \text{ ft} = 1,524 \text{ m}$$

4. Agitator

Ditetapkan :

- Jenis pengaduk yang digunakan adalah 45° pitched six blade turbine.

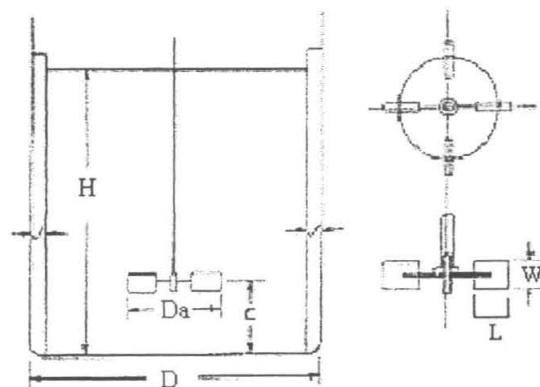


Dasar pemilihan 45° pitched six blade turbine : speednya tinggi, cocok untuk proses pengadukan liquid dengan viskositas rendah dan sedang ($<200 \text{ Pa.s}$)

- Kecepatan agitator adalah 150 rpm

Dasar pemilihan kecepatan 150 rpm : viskositas liquid rendah, alirannya menjadi turbulent, sehingga NaHCO_3 akan larut dengan cepat.

- Untuk mencegah timbulnya vorteks, maka digunakan 4 buah baffles.



Berdasarkan perbandingan sistem agitator standar dari 28, hal.144, Tabel 3.4-1, maka didapatkan nilai-nilai sebagai berikut :

$$Da = 0,4 D = 0,4 \times 0,762 \text{ m} = 0,3048 \text{ m} = 1 \text{ ft}$$

$$W = \frac{1}{5} Da = \frac{1}{5} \times 0,3048 \text{ m} = 0,0610 \text{ m}$$

$$L = \frac{1}{4} Da = \frac{1}{4} \times 0,3048 \text{ m} = 0,0762 \text{ m}$$

$$C = \frac{1}{3} D = \frac{1}{3} \times 0,762 \text{ m} = 0,2540 \text{ m}$$

$$J = \frac{1}{12} D = \frac{1}{12} \times 0,762 \text{ m} = 0,0635 \text{ m}$$

Dimana: Da = diameter pengaduk

D = diameter tangki

L = panjang blade

W = lebar blade

C = jarak dari dasar tangki ke pusat pengaduk

J = lebar *baffle*

ρ campuran dapat dicari dengan persamaan dari 31, p.312–316 sebagai berikut :

$$\rho_{mixed} = \frac{1}{\sum_i \left(\frac{x_m^i}{\rho_i} \right)}$$

dimana : x_m^i = fraksi massa dari tiap komponen

ρ_i = densitas tiap komponen, kg/m³

$$\rho_{air} = 997,18 + 3,1439 \times 10^{-3} T - 3,7574 \times 10^{-3} T^2$$

$$\rho_{karbohidrat} = 1,5991 \times 10^3 - 0,31046 T$$

$$\rho_{protein} = 1,3299 \cdot 10^3 - 5,1840 \cdot 10^{-1} T$$

$$\rho_{lemak} = 9,2559 \cdot 10^2 - 4,1757 \cdot 10^{-1} T$$

$$\rho_{ash} = 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} T \quad (C.5)$$

sehingga didapat :

$$\begin{aligned} \rho_{air}(70^{\circ}\text{C}) &= 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (67,8689) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (67,8689)^2 \\ &= 980,0861 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\rho_{NaHCO_3} = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{mixed} = \frac{1}{(0,005/2200) + (0,995/980,0861)} \text{ kg/m}^3 = 982,8110 \text{ kg/m}^3$$

$$sg = \frac{\rho_{mixed}}{\rho_{air}(4^{\circ}\text{C})} = \frac{982,8110 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,9828$$

$$\text{Jumlah impeler} = \frac{sg \times H}{D} = \frac{0,9828 \times 1,1079}{0,762} = 1,43 \approx 1 \text{ buah}$$

Kecepatan pengadukan = $\pi \cdot Da \cdot N = \pi \times 0,3048 \times 150 = 143,5608 \text{ m/menit}$

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan dari 28, p.155 yakni :

$$N_{Re} = \frac{\rho \times N \times Da^2}{\mu} \quad (C.6)$$

Dimana: Da = diameter impeler, m

N = kecepatan putaran pengaduk, rps

ρ = densitas, kg / m³

μ = viskositas campuran, kg/m.s

Asumsi : μ larutan NaHCO₃ = μ air (67,8689 °C) = 0,4217 kg/m.s [28, p.862]

$$N_{Re} = \frac{(150/60) \text{ putaran/dtk} \times (0,3048)^2 \text{ m}^2 \times 982,8110 \text{ kg/m}^3}{0,4217 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}}$$

$$= 541.297,8993$$

Nilai Np dicari dari 28, grafik 3.4-4, p.145. Untuk $N_{Re} = 541.297,8993$, dan jenis agitator 45° *pitched six blade turbine* (kurva 3), maka didapatkan nilai Np = 1,4.

Power untuk satu buah pengaduk :

$$P = Np \times \rho \times N^3 \times Da^5 \quad [28, \text{p.145}]$$

$$= 1,4 \times 982,8110 \text{ kg/m}^3 \times (150/60)^3 \times (0,3048)^5 \text{ m}^5$$

$$= 56,5578 \text{ W} = 0,0566 \text{ kW} = 0,0758 \text{ hp}$$

Dari 41, 3th ed, fig.14-38, p.521, efisiensi motor = 80 %, maka

$$\text{Power yang dibutuhkan} = \frac{0,0566}{0,8} \text{ kW} = 0,0707 \text{ kW} = 0,0948 \text{ hp} \approx 0,25 \text{ hp}$$

Dari 28, hal 148, power yang dibutuhkan untuk *mild agitation* yaitu 0,1 kW/m³ hingga 0,2 kW/m³

$$\text{Power} = \frac{0,0707 \text{ kW}}{0,4283 \text{ m}^3} = 0,1651 \text{ kW/m}^3 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas mixer NaHCO}_3 &= \frac{\text{volume mixer (m}^3\text{)}}{0,25 \text{ jam}} \\ &= \frac{0,5354 \text{ m}^3}{0,25 \text{ jam}} = 2,1416 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat:

- Nama = *mixer* NaHCO₃
- Fungsi = untuk melarutkan NaHCO₃ dengan air bersuhu 70°C
- Bahan konstruksi = SA 284 - 304, grade S
- Kapasitas = 2,1416 m³/jam
- Diameter = 0,762 m
- Tinggi *shell* = 1,2192 m
- Tinggi tutup bawah = 0,1730 m
- Tinggi tangki total = 1,524 m
- Tebal *shell* = 3/16 in

- Tebal bottom = 3/16 in
- Pengaduk = Jenis : 45° pitched six blade turbine
Diameter : 1 ft
Kecepatan pengadukan : 143,5608 m/menit
Power : 0,25 hp
Jumlah pengaduk : 1 buah
- Jumlah tangki = 2 buah

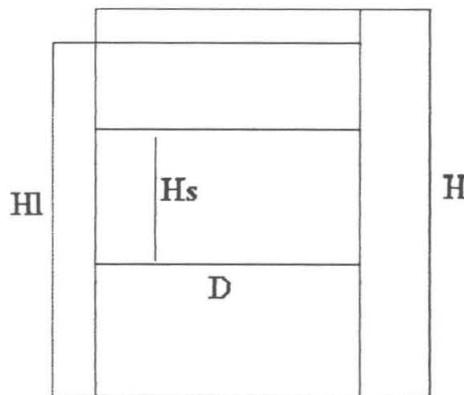
11. Cooker (M-120)

Fungsi : menonaktifkan enzim lipokksigenase
 Tipe : silinder tegak berpengaduk dengan tutup atas dan bawah *flat*.
 Silinder terdiri dari 3 stage untuk menyempurnakan proses penonaktifan enzim. Tiap stage dilengkapi oleh 1 agitator.

Dasar pemilihan : cocok untuk pencampuran *liquid – solid*

Perhitungan :

1. Volume Tangki



Keterangan:

D = diameter shell

H = tinggi shell

Hs = tinggi stage

Hl = tinggi liquid

Direncanakan waktu tinggal selama 20 menit.

T operasi = 70°C

Massa alir campuran biji kedelai dan larutan NaHCO₃ = 2354,22 kg/jam

$$\rho_{\text{NaHCO}_3} = \text{sg NaHCO}_3 \times \rho_{\text{air}} (4^\circ\text{C}) = 2,2 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{kedelai}} = 760 \text{ kg/m}^3$$

ρ_{air} yaitu pada suhu larutan NaHCO₃ keluar *mixer* NaHCO₃ (67,8689 °C)

$$= 997,18 + 3,1439 \times 10^{-3} (67,8689) - 3,7574 \times 10^{-3} (67,8689)^2$$

$$= 980,0861 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned}\rho_{\text{mixed}} &= \frac{\frac{1}{672,63} + \frac{1}{8,41} + \frac{1}{1673,17}}{\frac{2354,22 \times 760}{2354,22 \times 2200} + \frac{2354,22 \times 2200}{2354,22 \times 980,0861}} \text{ kg/m}^3 \\ &= 906,8544 \text{ kg/m}^3\end{aligned}$$

$$V_{\text{campuran}} = \frac{2354,22 \text{ kg/jam} \times 20 / 60 \text{ jam}}{906,8544 \text{ kg/m}^3} = 0,8653 \text{ m}^3 = 30,5564 \text{ ft}^3$$

Asumsi volume campuran = 80 % dari volume tangki

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki} &= \frac{100}{80} \times \text{volume campuran} \\ &= \frac{100}{80} \times 0,8653 \text{ m}^3 \\ &= 1,0817 \text{ m}^3 = 38,1981 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

2. Dimensi dan Tebal *Shell* dan Tutup

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi *cooker* adalah *stainless steel* tipe 304 (SA-240 grade S)
- *Allowable stress value* dari SA-240 adalah 17735 psi [37, p.342]
- *Corrosion allowance (c)* adalah 3 mm [41, 3th ed, p.556]
- Las yang digunakan : *double welded butt joint*, efisiensi 0,85 [37, p.46]
- $H_{\text{shell}} / D_{\text{shell}} = 1,5 / 1$

$$\text{Volume tangki} = \text{volume shell}$$

$$1,0817 \text{ m}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H \right) = \left(\frac{1,5 \times \pi}{4} \times D^3 \right)$$

$$D = 0,9721 \text{ m} = 3,1893 \text{ ft} \approx 3 \text{ ft} = 0,9144 \text{ m} = 36 \text{ in}$$

$$H_{\text{shell}} = 1,5 \times 0,9144 \text{ m} = 1,3716 \text{ m} = 4,5 \text{ ft} \approx 5 \text{ ft}$$

$$H \text{ tiap stage} = \frac{5 \text{ ft}}{3} = 1,6667 \text{ ft} = 0,5080 \text{ m}$$

$$m = 2354,22 \text{ kg/jam} \times \frac{20}{60} \text{ jam} = 784,74 \text{ kg}$$

$$\begin{aligned} P_{\text{operasi}} &= \frac{m \times g}{A} = \frac{784,74 \text{ kg} \times 9,80665 \text{ m/s}^2}{\pi \times (0,4763 \text{ m})^2} \\ &= 108032806 \text{ Pa} = 10,8032 \text{ kPa} \end{aligned}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times P_{\text{operasi}} = 1,2 \times 10,8032 \text{ kPa} = 12,9639 \text{ kPa}$$

Dengan menggunakan 30, pers. 3.16, hal.45, maka :

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{p \times D}{2 \times S \times E} + c = \frac{12,9639 \text{ kPa} \times 3 \text{ ft}}{2 \times (17735 \text{ psi} \times 0,85) \times 3,2808 \frac{\text{ft}}{\text{m}}} + 3 \text{ mm} \\ &= 0,3932 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 3,3932 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} \text{ "} \end{aligned}$$

$$t_{\text{head}} = t_{\text{bottom}} = t_{\text{shell}} = \frac{3}{16} \text{ "}$$

H campuran dalam shell dicari dengan persamaan :

$$\text{Volume campuran} = \text{volume shell} \quad (D = 0,9144 \text{ m})$$

$$0,8653 \text{ m}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H \right)$$

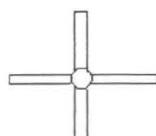
$$H_{\text{campuran}} = 1,3046 \text{ m}$$

$$OD = ID + (2 \times ts) = 36 \text{ in} + (2 \times \frac{3}{16} \text{ "}) = 36,375 \text{ in} \approx 38 \text{ in} = 0,9652 \text{ m}$$

3. Agitator

Ditetapkan :

- Jenis agitator yang digunakan adalah *paddle agitator*



Dasar pemilihan *paddle agitator* : speednya rendah, cocok untuk pengadukan *suspending solid* (campuran dengan ukuran partikel solid yang agak besar).

- Kecepatan pengaduk (N) adalah 20 rpm.

Dasar pemilihan kecepatan 20 rpm : agar waktu kontak antara biji kedelai dengan larutan NaHCO₃ cukup lama, sehingga proses penonaktifan enzim lipokksigenase dan penghilangan bau langus dapat terjadi dengan baik.

$$Da = 0,4 D = 0,4 \times 3 \text{ ft} = 1,2 \text{ ft} = 0,3658 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{5} Da = \frac{1}{5} \times 1,2 \text{ ft} = 0,24 \text{ ft}$$

$$L = \frac{1}{4} Da = \frac{1}{4} \times 1,2 \text{ ft} = 0,3 \text{ ft}$$

$$C = \frac{1}{3} D = \frac{1}{3} \times 3 \text{ ft} = 1 \text{ ft}$$

$$J = \frac{1}{12} D = \frac{1}{12} \times 3 \text{ ft} = 0,25 \text{ ft}$$

Kecepatan pengadukan = $\pi \times Da \times N = \pi \times 0,3658 \text{ m} \times 20 \text{ rpm} = 22,9722 \text{ m/menit}$
 μ campuran dihitung dengan persamaan dari 28, 3th ed, p.820 sebagai berikut :

$$\mu_{mixed} = \frac{\mu}{\psi_p}, \mu = \mu \text{ air pada suhu operasi (kg/m.s)} \quad (C.7)$$

$$\psi_p = \frac{1}{10^{1.82(1-\varepsilon)}}, \quad \psi_p = \text{empirical correction factor}$$

ε = fraksi volume campuran

$$\varepsilon = \frac{\frac{X_{cair}}{\rho_{campuran} cair}}{\frac{X_{cair}}{\rho_{campuran} cair} + \frac{X_{padat}}{\rho_{campuran} padat}}$$

$$X_{cair} = \frac{1750,86 \text{ kg/jam}}{2354,22 \text{ kg/jam}} = 0,7437$$

$$X_{padat} = \frac{603,35 \text{ kg/jam}}{2354,22 \text{ kg/jam}} = 0,2563$$

Data ρ padatan suhu operasi dapat dihitung dengan persamaan C.5 yakni :

$$\rho_{protein} = 1,3299 \cdot 10^3 - 5,1840 \cdot 10^{-1} T$$

$$\rho_{lemak} = 9,2559 \cdot 10^2 - 4,1757 \cdot 10^{-1} T$$

$$\rho_{karbohidrat} = 1,5991 \times 10^3 - 0,31046 T$$

$$\rho_{ash} = 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} T$$

sehingga didapat :

$$\rho_{protein} = 1,3299 \cdot 10^3 - 5,1840 \cdot 10^{-1} (70) = 1293,6120 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{lemak} = 9,2559 \cdot 10^2 - 4,1757 \cdot 10^{-1} (70) = 896,3601 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{karbohidrat} = 1,5991 \cdot 10^3 - 3,1046 \cdot 10^{-1} (70) = 1577,3678 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ash} = 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} (70) = 2404,1559 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{NaHCO_3} = sg_{NaHCO_3} \times \rho_{air}(4^\circ C) = 2,2 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$\sum_i X_i^{m_i} / \rho_i = \frac{0,424}{1293,612} + \frac{0,2169}{896,3601} + \frac{0,2958}{1577,3678} + \frac{0,0493}{2404,1559} + \frac{0,0139}{2200}$$

$$= 7,8410 \times 10^{-4}$$

$$\rho_{padatan} = \frac{1}{7,8410 \times 10^{-4}} = 1275,3556 \text{ kg/m}^3 = 79,2296 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_{air} = 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (70) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (70)^2 = 978,9888 \text{ kg/m}^3$$

$$\varepsilon = \frac{\frac{0,7437}{978,9888}}{\frac{0,7437}{978,9888} + \frac{0,2563}{1275,3556}} = 0,7908$$

$$\mu_{air \text{ pada suhu } 70^\circ C} = 0,4061 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 0,9824 \text{ lb/ft.jam}$$

$$\psi_p = \frac{1}{10^{1,82(1-0,7908)}} = 0,4162$$

$$\mu_{mixed} = \frac{\mu}{\psi_p} = \frac{0,4061 \times 10^{-3}}{0,4162} \text{ kg/m.s} = 0,9757 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$$

Nilai N_{Re} dihitung dengan persamaan C.6 :

$$N_{Re} = \frac{963,6972 \text{ kg/m}^3 \times 20/60 \text{ s} \times (0,3658)^2}{0,9757 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 44054,5166$$

Nilai N_p dapat dicari dari 47, fig.9, p.783. Untuk nilai $N_{Re} = 44054,5166$, dan untuk jenis *paddle agitator*, maka didapatkan nilai $N_p = 8,5$.

Power agitator dihitung dengan persamaan dari 28, p.145 :

$$P = 8,5 \times 963,6972 \text{ kg/m}^3 \times \left(\frac{20}{60}\right)^3 \times (0,3658)^5$$

$$= 1,9871 \text{ W} = 0,00199 \text{ kW}$$

Power untuk tiga buah pengaduk = $3 \times 0,00199 \text{ kW} = 0,00596 \text{ kW} = 0,011 \text{ hp}$
 Efisiensi motor diambil 80 %, maka

$$\text{Power yang dibutuhkan} = \frac{0,011}{0,8} \text{ hp} = 0,014 \text{ hp} \approx 0,25 \text{ hp}$$

4. Jaket Pemanas

Ditetapkan :

- Steam yang digunakan adalah *saturated steam* 4,5 bar dengan suhu 148°C .
- Nilai R_d ditetapkan 0,001. [38, p.845]

Untuk menghitung luas permukaan jaket pemanas yang dibutuhkan, maka digunakan 38, grafik 20.2, p.718. Untuk nilai $N_{Re} = 44054,5166$, maka didapatkan nilai $j = 450$. Koefisien perpindahan panas konveksi di dalam tangki dihitung dengan persamaan dari 38, p.718 sebagai berikut :

$$h_j = \frac{j \times k}{D_j} \times \left(\frac{c_p \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (\text{C.8})$$

dimana : h_j = koefisien perpindahan panas konveksi, $\text{W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$, $\text{btu/hr.ft}^2 \cdot ^{\circ}\text{F}$

k = konduktivitas thermal, $\text{W/m} \cdot ^{\circ}\text{C}$, $\text{btu/hr.ft} \cdot ^{\circ}\text{F}$

c_p = kapasitas panas, $\text{kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$, $\text{btu/lbm} \cdot ^{\circ}\text{F}$

μ = viskositas fluida, kg/m.s , lbm/ft.s

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

D_j = diameter tangki, m, ft

Data C_p pada suhu operasi dapat dihitung dengan persamaan dari 31, p.312–313 sebagai berikut :

$$C_p \text{ mixed} = \sum_i x_m^i \times C_{p,i}$$

dimana : x_m^i = fraksi massa dari tiap komponen

$C_{p,i}$ = kapasitas panas tiap komponen, $\text{kJ/kg} \cdot ^{\circ}\text{K}$

$$C_p \text{ protein} = 2,0082 + 1,2089 \cdot 10^{-3} T - 1,3129 \cdot 10^{-6} T^2$$

$$C_p \text{ lemak} = 1,9842 + 1,4733 \cdot 10^{-3} T - 4,8008 \cdot 10^{-6} T^2$$

$$C_p \text{ karbohidrat} = 1,5488 + 1,9625 \cdot 10^{-3} T - 5,9399 \cdot 10^{-6} T^2$$

$$C_p \text{ ash} = 1,0926 + 1,8896 \cdot 10^{-3} T - 3,6817 \cdot 10^{-6} T^2$$

$$\begin{aligned} Cp \text{ air} &= 4,1762 - 9,0864 \cdot 10^{-5} T + 5,4731 \cdot 10^{-6} T^2 \\ Cp &= 1,0048 + 1,675 \times 10^{-3} T \end{aligned} \quad (C.9)$$

$$Cp \text{ protein kedelai} = 2,0082 + 1,2089 \cdot 10^{-3} (70) - 1,3129 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 2,086 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$Cp \text{ lemak kedelai} = 1,9842 + 1,4733 \cdot 10^{-3} (70) - 4,8008 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 2,063 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} Cp \text{ karbohidrat kedelai} &= 1,5488 + 1,9625 \cdot 10^{-3} (70) - 5,9399 \cdot 10^{-6} (70)^2 \\ &= 1,657 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$Cp \text{ ash kedelai} = 1,0926 + 1,8896 \cdot 10^{-3} (70) - 3,6817 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 1,207 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$Cp \text{ air kedelai} = 4,1762 - 9,0864 \cdot 10^{-5} (70) + 5,4731 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 4,197 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$Cp \text{ NaHCO}_3 = 1,0048 + 1,675 \times 10^{-3} (70) = 1,1221 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} &\left(\frac{255,83}{2354,22} \times 2,086 \right) + \left(\frac{130,89}{2354,22} \times 2,063 \right) + \left(\frac{178,48}{2354,22} \times 1,657 \right) + \\ Cp \text{ mixed} &= \left(\frac{29,75}{2354,22} \times 1,207 \right) + \left(\frac{77,69}{2354,22} \times 4,197 \right) + \left(\frac{1673,17}{2354,22} \times 4,197 \right) \\ &+ \left(\frac{8,41}{2354,22} \times 1,1221 \right) \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \\ &= 3,6076 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} = 0,8617 \text{ btu/lb.}^\circ\text{F} \end{aligned}$$

Data k pada T operasi dapat dihitung dengan persamaan dari 31, p.312–313 sebagai berikut :

$$k \text{ mixed} = \sum_i x_v^i \times k_i$$

$$\text{dimana : } x_v^i = \text{fraksi volume dari tiap komponen} = \frac{X_i''' / \rho_i}{\sum_i X_i''' / \rho_i}$$

k_i = konduktivitas termal tiap komponen, $\text{W/m.}^\circ\text{C}$

ρ_i = densitas tiap komponen, kg/m^3

x_i''' = fraksi massa dari tiap komponen

$$k \text{ protein} = 1,7881 \cdot 10^{-1} + 1,1958 \cdot 10^{-3} T - 2,7178 \cdot 10^{-6} T^2$$

$$k \text{ lemak} = 1,8071 \cdot 10^{-1} - 2,7604 \cdot 10^{-3} T - 1,7749 \cdot 10^{-7} T^2$$

$$k \text{ karbohidrat} = 2,0141 \cdot 10^{-1} + 1,3874 \cdot 10^{-3} T - 4,3312 \cdot 10^{-6} T^2$$

$$k \text{ ash} = 3,2962 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} T - 6,7036 \cdot 10^{-6} T^2$$

$$k \text{ air} = 5,7109 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} T - 6,7036 \cdot 10^{-6} T^2 \quad (C.10)$$

$$k \text{ NaHCO}_3 = k \text{ air}$$

$$\begin{aligned}
 k_{\text{protein}} &= 1,7881 \cdot 10^{-1} + 1,1958 \cdot 10^{-3} (70) - 2,7178 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 0,2492 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\
 k_{\text{lemak}} &= 1,8071 \cdot 10^{-1} - 2,7604 \cdot 10^{-3} (70) - 1,7749 \cdot 10^{-7} (70)^2 = -0,0134 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\
 k_{\text{karbohidrat}} &= 2,0141 \cdot 10^{-1} + 1,3874 \cdot 10^{-3} (70) - 4,3312 \cdot 10^{-6} (70)^2 \\
 &= 0,2773 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\
 k_{\text{ash}} &= 3,2962 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} (70) - 6,7036 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 0,4135 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\
 k_{\text{air}} &= 5,7109 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} (70) - 6,7036 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 0,6616 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\
 k_{\text{NaHCO}_3} &= k_{\text{air}} = 0,6616 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

Data ρ pada suhu operasi dapat dihitung dengan persamaan C.4 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \rho_{\text{air}} &= 997,18 + 3,1439 \times 10^{-3} T - 3,7574 \times 10^{-3} T^2 \\
 \rho_{\text{karbohidrat}} &= 1,5991 \times 10^3 - 0,31046 T \\
 \rho_{\text{protein}} &= 1,3299 \cdot 10^3 - 5,1840 \cdot 10^{-1} T \\
 \rho_{\text{lemak}} &= 9,2559 \cdot 10^2 - 4,1757 \cdot 10^{-1} T \\
 \rho_{\text{ash}} &= 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} T \\
 \rho_{\text{protein}} &= 1,3299 \cdot 10^3 - 5,1840 \cdot 10^{-1} (70) = 1293,6120 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_{\text{lemak}} &= 9,2559 \cdot 10^2 - 4,1757 \cdot 10^{-1} (70) = 896,3601 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_{\text{karbohidrat}} &= 1,5991 \cdot 10^3 - 3,1046 \cdot 10^{-1} (70) = 1577,3678 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_{\text{ash}} &= 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} (70) = 2404,1559 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_{\text{air}} &= 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (70) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (70)^2 = 978,9888 \text{ kg/m}^3 \\
 \rho_{\text{NaHCO}_3} &= \text{sg NaHCO}_3 \times \rho_{\text{air}} (4^{\circ}\text{C}) = 2,2 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 2200 \text{ kg/m}^3
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \sum_i X_i^m / \rho_i &= \frac{\text{Fraksi massa komponen}}{\rho \text{ komponen}} \\
 &= \left(\frac{0,1087}{1293,612} \right) + \left(\frac{0,0556}{896,3601} \right) + \left(\frac{0,0758}{1577,3678} \right) + \left(\frac{0,0126}{2404,1559} \right) + \\
 &\quad \left(\frac{0,0036}{2200} \right) + \left(\frac{0,0330}{978,9888} \right) + \left(\frac{0,7107}{978,9888} \right) \\
 &= 0,00096
 \end{aligned}$$

$$k_{\text{mixed}} = \frac{\sum_i X_i^m / \rho_i}{\sum_i X_i^m / \rho_i} \times k_{\text{komponen}}$$

$$\begin{aligned}
 k_{\text{mixed}} &= \left(\frac{8,4 \times 10^{-5}}{0,00096} \times 0,2492 \right) + \left(\frac{6,2 \times 10^{-5}}{0,00096} \times -0,0134 \right) + \left(\frac{4,8 \times 10^{-5}}{0,00096} \times 0,2773 \right) + \\
 &\quad \left(\frac{5,2 \times 10^{-5}}{0,00096} \times 0,4135 \right) + \left(\frac{1,6 \times 10^{-6}}{0,00096} \times 0,6616 \right) + \left(\frac{3,77 \times 10^{-5}}{0,00096} \times 0,6616 \right) + \\
 &\quad \left(\frac{7,3 \times 10^{-4}}{0,00096} \times 0,6616 \right) \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\
 &= 0,5874 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} = 0,1035 \text{ btu/jam.ft.}^{\circ}\text{F}
 \end{aligned}$$

$\mu_w \approx \mu_{\text{mixed}} = 0,9757 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$ (dari perhitungan agitator)

Sehingga,

$$\begin{aligned}
 h_j &= \frac{j \cdot k}{D_j} \left(\frac{c_p \cdot \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \\
 &= \frac{450 \times 0,5874 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}}{0,9144 \text{ m}} \times \left(\frac{3,6076 \text{ kJ/kg.}^{\circ}\text{C} \times 0,9757 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}}{0,5874 \text{ J/s.m.}^{\circ}\text{C} \times 10^{-3} \text{ kJ/J}} \right)^{\frac{1}{3}} \times 1 \\
 &= 289,9637 \text{ W/m}^2.{}^{\circ}\text{C} = 51,0652 \text{ btu/h.ft}^2.{}^{\circ}\text{F}
 \end{aligned}$$

$h_{\text{steam}} = 1500 \text{ btu/h.ft}^2.{}^{\circ}\text{F}$ [38, p.164]

$$\begin{aligned}
 U_c &= \frac{h_j \times h_{\text{steam}}}{h_j + h_{\text{steam}}} = \frac{51,0652 \times 1500}{51,0652 + 1500} \text{ btu/h.ft}^2.{}^{\circ}\text{F} \\
 &= 49,3840 \text{ btu/h.ft}^2.{}^{\circ}\text{F}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_D &= \frac{1}{\frac{1}{U_c} + R_d} = \frac{1}{\frac{1}{49,3840} + 0,001} \\
 &= 47,060 \text{ btu/h.ft}^2.{}^{\circ}\text{F} = 961,9953 \text{ kJ/h.m}^2.{}^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

Luas permukaan jaket dihitung dari 38, pers.18.5, p.627 sebagai berikut :

$$\ln \left(\frac{T_{\text{steam}} - t_1}{T_{\text{steam}} - t_2} \right) = \frac{U_D \times A \times \theta}{M \times C_p} \quad (\text{C.11})$$

dimana : t_1 = suhu masuk bahan, $^{\circ}\text{C}$

t_2 = suhu keluar bahan, $^{\circ}\text{C}$

U_D = overall heat transfer coefficient, $\text{kJ/h.m}^2.{}^{\circ}\text{C}$

A = luas permukaan jaket, m^2

θ = waktu tinggal, jam

M = massa bahan selama waktu θ , kg

C_p = kapasitas panas bahan, kJ/kg.°C

$$\text{Sehingga, } \ln \left(\frac{148^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C}}{148^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}} \right) = \frac{961,9953 \text{ kJ/h.m}^2 \cdot {}^\circ\text{C} \times A \times 20 \text{ menit}}{2354,22 \text{ kg/jam} \times 20 \text{ menit} \times 3,6076 \text{ kJ/kg.} {}^\circ\text{C}}$$

$$A = 3,6551 \text{ m}^2$$

$$\text{Tinggi jaket} = \frac{A}{\pi \times OD_{shell}} = \frac{3,6551 \text{ m}^2}{\pi \times 0,9652 \text{ m}} = 1,2060 \text{ m}$$

Tinggi jaket (1,2060 m) lebih kecil dari tinggi bahan di *cooker* (1,3046 m) sehingga jaket yang dipakai memenuhi.

Jaket spacing (Js) dihitung dengan cara:

$$A = \pi \times D_s \times H_{liq \text{ dlm shell}}$$

$$3,6551 \text{ m}^2 = 3,14 \times D_s \times 1,3046 \text{ m}$$

$$D_s = 0,8523 \text{ m} \text{ (dimana } D_s = D_{jaket} - OD_{shell})$$

$$\begin{aligned} D_{jaket} &= 0,8523 \text{ m} + 0,9652 \text{ m} \\ &= 1,8175 \text{ m} \end{aligned}$$

$$D_{jaket} = OD_{shell} + 2 Js$$

$$1,8175 \text{ m} = 0,9652 \text{ m} + 2 Js$$

$$Js = 0,4261 \text{ m}$$

Waktu tinggal *steam* di jaket ditentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \lambda 4,5 \text{ bar} &= 2644,71 - 538,09 \text{ kJ/kg} & [28, \text{ p.858}] \\ &= 2106,62 \text{ kJ/kg} \end{aligned}$$

$$\rho \text{ steam 1 atm (148 } {}^\circ\text{C}) = 0,526 \text{ kg/m}^3 \quad [28, \text{ p.863}]$$

$$\rho \text{ steam 4,5 bar} = \frac{4,5 \text{ bar}}{1,01325 \text{ bar}} \times 0,526 \text{ kg/m}^3 = 2,3360 \text{ kg/m}^3$$

Dari neraca panas diketahui panas yang diberikan oleh *steam* = 76421,15 kJ/jam

$$\text{massa steam} = \frac{76421,15 \text{ kJ/jam}}{2106,62 \text{ kJ/kg}} = 35,32 \text{ kg/jam}$$

$$\text{debit steam} = \frac{35,32 \text{ kg/jam}}{2,3360 \text{ kg/m}^3} = 15,1199 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\begin{aligned}\text{volume jaket} &= \frac{\pi}{4} \times (Dj^2 - OD_{shell}^2) \times H_{liquid shell} + \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times (Dj^2 - OD_{shell}^2) \times Js \\ &= \frac{\pi}{4} \times (1,8175^2 - 0,9652^2) \times 1,3046 + \frac{\pi}{12} \times (1,8175^2 - 0,9652^2) \times 0,4261 \\ &= (2,4289 + 0,3431) \text{ m}^3 = 2,7720 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal} = \frac{2,7720 \text{ m}^3}{15,1199 \text{ m}^3/\text{jam}} = 0,1833 \text{ jam} = 11 \text{ menit}$$

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas cooker} &= \frac{\text{volume cooker} (\text{m}^3)}{0,3333 \text{ jam}} \\ &= \frac{1,0817 \text{ m}^3}{0,3333 \text{ jam}} = 3,2454 \text{ m}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

- Nama = *cooker*
- Fungsi = mengontakkan kedelai dengan larutan NaHCO₃ sehingga menonaktifkan enzim lipoksigenase.
- Bahan konstruksi = *stainless steel SA-240 tipe 304*
- Kapasitas = 3,2454 m³/jam
- Diameter = 0,9144 m
- Tinggi *shell* = 1,524 m
- Tebal *shell* = 3/16 in
- Tebal *head* = 3/16 in
- Tebal *bottom* = 3/16 in
- Pengaduk = Jenis : *paddle agitator*
Diameter : 0,3658 m
Kecepatan pengadukan : 22,9722 m/menit
Power : 0,25 hp
Jumlah pengaduk : 3 buah

- Jaket pemanas = Luas permukaan : $3,6551 \text{ m}^2$
Tinggi jaket pemanas : $1,2060 \text{ m}$
Jaket spacing : $0,4261 \text{ m}$
- Jumlah tangki = 1 buah

12. Belt Conveyor (J-123)

Fungsi : meniriskan dan mengangkut biji kedelai yang keluar dari *cooker* (M-120) ke *bucket elevator* (J-211)

Dasar pemilihan : harga murah, dan cocok untuk gabungan proses transportasi dan *screening*

Perhitungan :

Massa campuran biji kedelai dan larutan NaHCO_3 yang keluar dari *cooker* = $2354,22 \text{ kg/jam} = 2,35422 \text{ ton/jam}$

Ukuran lubang pada *belt conveyor* = 1 mm

Panjang *belt* = 5 m

Sudut elevasi = 0°

Dari 33, 7th ed, tabel 21-7 diperoleh :

- Lebar *belt* = $35 \text{ cm} = 0,35 \text{ m}$
- *Belt plies* = 3 – 5
- Kecepatan *belt* = $30,5 \text{ m/menit}$
- Kapasitas = 32 ton/jam

$$\text{Kecepatan } belt = \frac{2,35422 \text{ ton/jam}}{32 \text{ ton/jam}} \times 30,5 \text{ m/menit} = 2,2439 \text{ m/menit}$$

$$hp = \text{kapasitas} \times H \times 0,002 \times C \quad [40, 3^{\text{th}} \text{ ed, hal 1355}]$$

$$= 2,35422 \text{ ton/jam} \times 5 \text{ m} \times 0,002 \times 1 = 0,0235 \text{ hp}$$

$$\text{Efisiensi motor} = 80\% \quad [41, 3^{\text{th}} \text{ ed, p.521}]$$

$$\text{Power motor} = \frac{0,0235}{0,8} \text{ hp} = 0,0294 \text{ hp} \approx 0,25 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

- Kapasitas = 2354,22 kg/jam
- Panjang *belt* = 5 m
- Lebar *belt* = 0,35 m
- Kecepatan *belt* = 2,2439 m/menit
- Sudut elevasi = 0 °
- Power = 0,25 hp
- Bahan konstruksi = *rubber* dan *stainless steel*
- Jumlah alat = 1 buah

13. Bucket Elevator (J-211)

Fungsi : mengangkut biji kedelai dari *belt conveyor* (J-123) ke *mixer I* (M-210)

Tipe : *Centrifugal discharge bucket on belt*

Dasar pemilihan : cocok untuk mengangkut padatan kecil dan cocok digunakan untuk *vertical lifting*

Kondisi operasi : T = 60,9912 °C

Perhitungan :

Massa kedelai masuk = 1345,27 kg/jam = 1,34527 ton/jam

Tinggi elevasi = 9,5 m = 31,1676 ft

Sudut elevasi = 90° [33, 7th ed, table 21-8]

Dari 33, 7th ed, tabel 21-8, diperoleh data-data untuk kapasitas 14 ton/jam :

- Ukuran *bucket* = $(6 \times 4 \times 4,25)$ in
- Jarak atau spasi *bucket* = 12 in = 0,3048 m
- Kecepatan *bucket* = 225 ft/menit = 68,5780 m/menit
- Putaran *head shaft* = 43 rpm
- *Shaft* diameter = *head* : $1\frac{15}{16}$ in; *tail* : $1\frac{11}{16}$ in
- *Pulleys* diameter = *head* : 20 in; *tail* : 14 in
- Lebar *belt* = 7 in = 0,1778 m

Untuk kapasitas 1,34527 ton/jam didapatkan spesifikasi *bucket* sebagai berikut :

$$\text{Kecepatan bucket} = \frac{1,34527 \text{ ton/jam}}{14 \text{ ton/jam}} \times 225 \text{ ft/menit} \\ = 21,6204 \text{ ft/min} = 6,5899 \text{ m/menit}$$

$$\text{Putaran head shaft} = \frac{1,34527 \text{ ton/jam}}{14 \text{ ton/jam}} \times 43 \text{ rpm} = 4,1319 \text{ rpm}$$

$$\text{Power bucket (hp)} = \frac{TPH \times L}{500} \quad [33, 7^{\text{th}} \text{ ed, p. 21-14}]$$

dimana : TPH = kapasitas dalam ton/jam = 1,34527 ton/jam

L = tinggi elevasi (diambil = 9,5 m = 31,1676 ft)

$$\text{hp} = \frac{1,34527 \text{ ton/jam} \times 31,1676 \text{ ft}}{500} = 0,0839 \text{ hp}$$

$$\text{Effisiensi} = 80\% \quad [41, 3^{\text{th}} \text{ ed, p-521}]$$

$$\text{Power motor} = \frac{0,0839 \text{ hp}}{0,8} = 0,1048 \text{ hp} \approx 0,25 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

- Kapasitas = 1345,27 kg/jam = 1,34527 ton/jam
- Ukuran bucket = $(6 \times 4 \times 4,25)$ in
- Jarak atau spasi bucket = 0,3048 m
- Kecepatan bucket = 6,5899 m/menit
- Putaran head shaft = 4,1319 rpm
- Sudut elevasi = 90°
- Power motor = 0,25 hp
- Bahan konstruksi = stainless steel
- Jumlah alat = 1 buah

14. Mixer I (M-210)

Fungsi : untuk mengekstrak biji kedelai

Tipe : silinder vertikal berpengaduk dengan tutup atas *flat* dan tutup bawah konis.

Dasar pemilihan : cocok untuk pencampuran *liquid – solid*

Perhitungan :

1. Volume Tangki

Direncanakan waktu tinggal selama 20 menit (0,3333 jam).

T operasi = 70°C (158°F)

Massa kedelai = 1345,27 kg/jam

ρ kedelai = 760 kg/m³

$$V \text{ kedelai} = \frac{1345,27 \text{ kg/jam}}{760 \text{ kg/m}^3} = 1,7701 \text{ m}^3/\text{jam} \times 0,3333 \text{ jam} = 0,5899 \text{ m}^3$$

Massa air = 5978,96 kg/jam

ρ air = $9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (70) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (70)^2$

= 978,9888 kg/m³

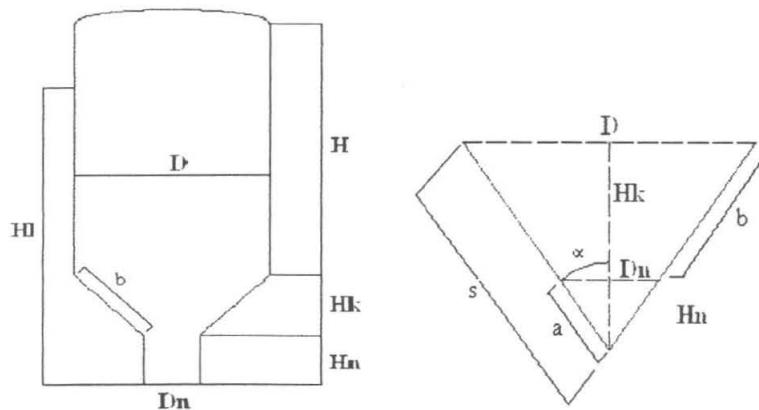
$$V \text{ air} = \frac{5978,96 \text{ kg/jam}}{978,9888 \text{ kg/m}^3} = 6,1073 \text{ m}^3/\text{jam} \times 0,3333 \text{ jam} = 2,0356 \text{ m}^3$$

V total = $(0,5899 + 2,0356) \text{ m}^3 = 2,6256 \text{ m}^3 = 92,7178 \text{ ft}^3$

Asumsi volume campuran = 80 % dari volume tangki

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{100}{80} \times \text{volume campuran} = \frac{100}{80} \times 2,6256 \text{ m}^3 \\ &= 3,2819 \text{ m}^3 = 115,8937 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

2. Dimensi Tangki



$$H_n = \frac{D_n}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha}$$

$$\begin{aligned} H_k &= \frac{D_{\text{shell}}}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} - H_n = \frac{D_{\text{shell}}}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} - \frac{D_n}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \\ &= \frac{D_{\text{shell}} - D_n}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \end{aligned}$$

$$\frac{H_{\text{shell}}}{D_{\text{shell}}} = 1,5 / 1 \quad [39]$$

Diameter nozzle (D_n) = 8 inc $\approx 0,2032$ m = 0,6667 ft [37, p. 96]

Ditetapkan : sudut konis = 60°

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Volume shell} &= \frac{\pi}{4} \times D_{\text{shell}}^2 \times H = \frac{\pi}{4} \times D_{\text{shell}}^2 \times 1,5 D_{\text{shell}} \\ &= 1,1775 D_{\text{shell}}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{volume konis} &= \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_k \right] - \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n \right] \\ &= \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D^2 \times \frac{D}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \right] - \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} \right] \\ &= \frac{\pi}{24 \times \operatorname{tg} \alpha} \times (D^3 - D_n^3) \end{aligned}$$

Volume tangki = $V_{\text{shell}} + V_{\text{konis}}$

$$115,8937 \text{ ft}^3 = 1,1775 \times D_{\text{shell}}^3 + \frac{\pi}{24 \times \operatorname{tg} \alpha} \times (D_{\text{shell}}^3 - D_n^3)$$

$$115,8937 \text{ ft}^3 = 1,1775 D_{\text{shell}}^3 + 0,2266 D_{\text{shell}}^3 - 0,0672$$

$$115,8937 \text{ ft}^3 = 1,4041 D_{\text{shell}}^3 - 0,0672$$

$$D_{\text{shell}} = 4,2977 \text{ ft} = 1,3099 \text{ m} = 51,5724 \text{ in}$$

$$H_{\text{shell}} = 1,5 D = (1,5 \times 4,2977) \text{ ft} = 6,4466 \text{ ft} = 1,8288 \text{ m}$$

$$H_{\text{konis}} = \frac{D_{\text{shell}} - D_n}{2 \times \operatorname{tg} \alpha} = \frac{(4,2977 - 0,6667) \text{ ft}}{2 \times \operatorname{tg} 30^\circ} = 3,1445 \text{ ft}$$

$$H_{\text{campuran dalam konis}} = H_{\text{konis}} = 3,1445 \text{ ft}$$

$$H_{\text{nozzle}} = \frac{D_n}{2 \times \operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,6667 \text{ ft}}{2 \times \operatorname{tg} 30^\circ} = 0,5774 \text{ ft}$$

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

$$= 0,0413 \text{ m}$$

$$s = \sqrt{\left(\frac{D_{\text{shell}}}{2}\right)^2 + Hk^2} = \sqrt{\left(\frac{1,3099}{2}\right)^2 + 0,9584^2}$$

$$= 1,3475 \text{ m}$$

$$b = s - a$$

$$= (1,3475 - 0,0413) \text{ m} = 1,3062 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume campuran dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \times \tan 30^\circ} \times (D^3 - Dn^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \times \tan 30^\circ} \times (4,2977^3 - 0,6667^3) \\ &= 17,9210 \text{ ft}^3 = 0,5075 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Volume campuran dalam shell} = V_{\text{campuran}} - V_{\text{campuran dalam konis}}$$

$$\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{\text{campuran dalam shell}} = (92,7178 - 17,9210) \text{ ft}^3$$

$$\frac{\pi}{4} \times (4,2977)^2 \times H_{\text{campuran dalam shell}} = 74,7968 \text{ ft}^3$$

$$H_{\text{campuran dalam shell}} = 4,9100 \text{ ft} = 1,4966 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{campuran total}} &= H_{\text{campuran dalam shell}} + H_{\text{campuran dalam konis}} \\ &= (4,9100 + 3,1445) \text{ ft} = 8,0545 \text{ ft} = 2,4550 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} H_{\text{tangki total}} &= H_{\text{shell}} + H_{\text{konis}} \\ &= (6,4466 + 3,1445) \text{ ft} \\ &= 9,5911 \text{ ft} \approx 10 \text{ ft} = 3,0480 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Tebal Shell, dan Konis

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi *mixer* adalah *stainless steel* tipe 304 (SA-240 grade S)
- *Allowable stress value* dari SA-240 adalah 17532 psi [37, p.342]
- *Corrosion allowance (c)* adalah 3 mm [41, p.556]

- Las yang digunakan : *double welded butt joint*, efisiensi 0,85 [37, p.46]

$$P_{operasi} = \rho \frac{(H)}{144} = \frac{62,37 \text{ lb/ft}^3 \times 4,9100 \text{ ft}}{144} = 2,1266 \text{ psi}$$

$$P_{design} = 1,2 \times P_{operasi} = 1,2 \times 2,1266 \text{ psi} = 2,5519 \text{ psi}$$

Dengan menggunakan persamaan C.1, maka :

$$t_s = \frac{P \times R}{SE - 0,6P} + c$$

$$t_s = \frac{2,5519 \text{ psi} \times 2,1489 \text{ ft}}{((17532 \text{ psi} \times 0,85) - (0,6 \times 2,5519 \text{ psi})) \times 3,2808 \text{ ft/m}} + 3 \text{ mm}$$

$$= 0,0522 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 3,0522 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} \text{ "}$$

$$OD = ID + (2 \times t_s) = (51,5724 \text{ in}) + (2 \times \frac{3}{16} \text{ "}) = 51,9474 \text{ in} \approx 54 \text{ in}$$

(distanarisasi dari 37, p.90). Berdasarkan 37, tabel 5.7, p.90, untuk OD = 54 in, maka t_s paling kecil adalah $\frac{3}{16}$ ", maka tebal *shell* yang digunakan adalah $\frac{3}{16}$ "

tebal *shell* = tebal *head* = $\frac{3}{16}$ "

Tebal konis dihitung dengan persamaan C.2 :

$$t_k = \frac{P \times R}{\cos \alpha (SE - 0,6P)} + c$$

$$P_{operasi} = \rho \times H = \frac{62,37 \text{ lb/ft}^3 \times 8,0545 \text{ ft}}{144} = 3,4886 \text{ psi}$$

$$P_{design} = 1,2 \times P_{operasi} = 1,2 \times 3,4886 \text{ psi} = 4,1863 \text{ psi}$$

$$\text{Jadi, } t_k = \frac{4,1863 \text{ psi} \times 2,1489 \text{ ft}}{\cos 60^\circ ((17532 \text{ psi} \times 0,85) - (0,6 \times 4,1863 \text{ psi})) \times 3,2808 \text{ ft/m}} + 3 \text{ mm}$$

$$= (0,3681 + 3) \text{ mm} = 3,3861 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} \text{ "}$$

Tebal konis = $\frac{3}{16}$ "

4. Agitator

Ditetapkan :

- Jenis pengaduk yang digunakan adalah 45° pitched six blade turbine
Dasar pemilihan 45° pitched six blade turbine : speednya tinggi, cocok untuk proses pengadukan liquid dengan viskositas rendah dan sedang (<200 Pa.s).
- Kecepatan agitator adalah 210 rpm
Dasar pemilihan kecepatan 210 rpm : viskositas campuran rendah, alirannya menjadi turbulent, sehingga proses ekstraksi komponen susu kedelai dari biji kedelai terjadi dengan cepat dan terbentuk slurry kedelai yang baik.
- Untuk mencegah timbulnya vorteks, maka digunakan 4 buah baffles.

$$Da = 0,4 D = 0,4 \times 4,2977 \text{ ft} = 1,7191 \text{ ft} = 0,5240 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{5} Da = \frac{1}{5} \times 1,7191 \text{ ft} = 0,3438 \text{ ft}$$

$$L = \frac{1}{4} Da = \frac{1}{4} \times 1,7191 \text{ ft} = 0,4298 \text{ ft}$$

$$C = \frac{1}{3} D = \frac{1}{3} \times 4,2977 = 1,4326 \text{ ft}$$

$$J = \frac{1}{12} D = \frac{1}{12} \times 4,2977 \text{ ft} = 0,3581 \text{ ft}$$

Berdasarkan persamaan D.5 dapat dihitung ρ campuran sebagai berikut :

$$\rho_{\text{protein}} = 1,3299 \cdot 10^3 - 5,1840 \cdot 10^{-1} (70) = 1293,6120 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{lemak}} = 9,2559 \cdot 10^2 - 4,1757 \cdot 10^{-1} (70) = 896,3601 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{karbohidrat}} = 1,5991 \cdot 10^3 - 3,1046 \cdot 10^{-1} (70) = 1577,3678 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{ash}} = 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} (70) = 2404,1559 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{air}} = 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (70) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (70)^2 = 978,9888 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{NaHCO}_3} = \text{sg NaHCO}_3 \times \rho_{\text{air}} (4^\circ\text{C}) = 2,2 \times 1000 \text{ kg/m}^3 = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$\sum_i X_i^m / \rho_i = \frac{\text{Fraksi massa komponen}}{\rho_{\text{komponen}}}$$

$$\begin{aligned} \sum_i X_i^m / \rho_i &= \left(\frac{0,0349}{1293,612} \right) + \left(\frac{0,0179}{896,3601} \right) + \left(\frac{0,0244}{1577,3678} \right) + \left(\frac{0,0041}{2404,1559} \right) + \\ &\quad \left(\frac{0,00046}{2200} \right) + \left(\frac{0,0912}{978,9888} \right) + \left(\frac{0,8163}{978,9888} \right) \\ &= 1,00113 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\rho_{mixed} = \frac{1}{1,00113 \cdot 10^{-3}} = 998,8697 \text{ kg/m}^3 = 62,3645 \text{ lb/ft}^3$$

$$sg = \frac{\rho_{mixed}}{\rho_{air}(4^\circ\text{C})} = \frac{998,8697 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,9989$$

$$\text{Jumlah impeler} = \frac{sg \times H}{D} = \frac{0,9989 \times 8,0545 \text{ ft}}{4,2977 \text{ ft}} = 1,8721 \approx 2 \text{ buah}$$

Kecepatan pengaduk = $\pi \cdot Da \cdot N = \pi \times 0,5240 \times 210 = 345,5256 \text{ m/menit}$

μ_{mixed} dihitung dengan persamaan C.6 sebagai berikut :

$$X_{cair} = \frac{6725,92 \text{ kg/jam}}{7324,23 \text{ kg/jam}} = 0,9183 \text{ (fraksi cairan dalam campuran)}$$

$$X_{padatan} = \frac{598,31 \text{ kg/jam}}{7324,23 \text{ kg/jam}} = 0,0817 \text{ (fraksi padatan dalam campuran)}$$

$\rho_{padatan}$ dalam campuran dicari dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sum_i X_i^m / \rho_i &= \frac{0,4276}{1294,7818} + \frac{0,2188}{897,3024} + \frac{0,2983}{1578,0684} + \frac{0,0497}{2404,7892} + \frac{0,0056}{2200} \\ &= 7,8633 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\rho_{padatan} = \frac{1}{7,8633 \times 10^{-4}} = 1271,7278 \text{ kg/m}^3 = 79,0042 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_{air} = 978,9888 \text{ kg/m}^3$$

$$\varepsilon = \frac{\frac{0,9183}{978,9888}}{\frac{0,9183}{978,9888} + \frac{0,0817}{1271,7278}} = 0,9358$$

$$\mu_{air} \text{ pada suhu } 67,7434^\circ\text{C} = 0,4223 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$$

$$\psi_p = \frac{1}{10^{1,82(1-0,9358)}} = 0,7641$$

$$\mu_{mixed} = \frac{\mu}{\psi_p} = \frac{0,4223 \times 10^{-3}}{0,7641} \text{ kg/m.s} = 0,5527 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}$$

Nilai N_{Re} dicari dengan persamaan C.6 :

$$N_{Re} = \frac{998,8697 \text{ kg/m}^3 \times 210/60 \text{ s} \times (0,5240)^2}{0,5527 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 1736800,73$$

Nilai N_p dapat dicari dari 28, grafik 3.4-4, p.145. Untuk nilai $N_{Re} = 1736800,73$, dan untuk jenis agitator 45° pitched six blade turbine (kurva 3), maka didapatkan nilai $N_p = 1,2$

Power agitator dihitung dengan persamaan dari 28, p.145 :

$$\begin{aligned} P &= 1,2 \times 998,8697 \text{ kg/m}^3 \times (210/60)^3 \times (0,5240)^5 \\ &= 2030,2553 \text{ W} = 2,03 \text{ kW} \end{aligned}$$

Power untuk dua buah pengaduk = $2 \times 2,03 \text{ kW} = 4,06 \text{ kW}$

Dari 41, fig 14-38, hal. 521, efisiensi motor = 80 %

$$\text{Power yang dibutuhkan} = \frac{4,06}{0,8} \text{ kW} = 5,065 \text{ kW} = 6,8 \text{ hp} \approx 7 \text{ hp}$$

Dari 28, p.148, power yang dibutuhkan untuk intense agitation berkisar antara $(0,8 - 2,0) \text{ kW/m}^3$

$$\text{Power} = \frac{5,065 \text{ kW}}{2,5235 \text{ m}^3} = 2 \text{ kW/m}^3 \text{ (memenuhi)}$$

5. Jaket Pemanas

Ditetapkan :

- Steam yang digunakan adalah saturated steam 4,5 bar dengan suhu 148°C .
- Nilai R_d ditetapkan 0,001. [38, p.845]

Data C_p pada suhu operasi dapat dihitung dengan persamaan D.9 yakni :

$$C_p \text{ protein} = 2,0082 + 1,2089 \cdot 10^{-3} (70) - 1,3129 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 2,0863 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ lemak} = 1,9842 + 1,4733 \cdot 10^{-3} (70) - 4,8008 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 2,0638 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ karbohidrat} = 1,5488 + 1,9625 \cdot 10^{-3} (70) - 5,9399 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 1,6571 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ ash} = 1,0926 + 1,8896 \cdot 10^{-3} (70) - 3,6817 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 1,2068 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$C_p \text{ air} = 4,1762 - 9,0864 \cdot 10^{-5} (70) + 5,4731 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 4,1967 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$\text{NaHCO}_3 = 1,0048 + 1,675 \times 10^{-3} (70) = 1,1221 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$C_p \text{ mixed} = \text{Fraksi massa komponen} \times C_p \text{ komponen}$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{255,85}{7324,33} \times 2,086 \right) + \left(\frac{130,89}{7324,33} \times 2,063 \right) + \left(\frac{178,48}{7324,33} \times 1,657 \right) + \\
 &= \left(\frac{29,75}{7324,33} \times 1,207 \right) + \left(\frac{3,36}{7324,33} \times 1,1221 \right) + \left(\frac{6725,92}{7324,33} \times 4,197 \right) \text{ kJ/kg.}^{\circ}\text{C} \\
 &= 4,0096 \text{ kJ/kg.}^{\circ}\text{C} = 0,9577 \text{ btu/lb.}^{\circ}\text{F}
 \end{aligned}$$

Data k pada suhu operasi dapat dihitung dengan persamaan C.10 sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 k \text{ protein} &= 1,7881 \cdot 10^{-1} + 1,1958 \cdot 10^{-3} (70) - 2,7178 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 0,2492 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\
 k \text{ lemak} &= 1,8071 \cdot 10^{-1} - 2,7604 \cdot 10^{-3} (70) - 1,7749 \cdot 10^{-7} (70)^2 = -0,0134 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\
 k \text{ ash} &= 3,2962 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} (70) - 6,7036 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 0,4135 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\
 k \text{ air} &= 5,7109 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} (70) - 6,7036 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 0,6616 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\
 k \text{ karbohidrat} &= 2,0141 \cdot 10^{-1} + 1,3874 \cdot 10^{-3} (70) - 4,3312 \cdot 10^{-6} (70)^2 \\
 &= 0,2773 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

$$k \text{ NaHCO}_3 = k \text{ air} = 0,6616 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$$

$$k \text{ mixed} = \frac{\sum_i X_i / \rho_i}{\sum_i X_i / \rho_i} \times k \text{ komponen}$$

$$\sum_i X_i / \rho_i = 1,00113 \times 10^{-3} = 0,001$$

$$\begin{aligned}
 &= \left(\frac{2,7 \times 10^{-5}}{0,001} \times 0,2492 \right) + \left(\frac{2 \times 10^{-5}}{0,001} \times -0,0134 \right) + \left(\frac{1,6 \times 10^{-5}}{0,001} \times 0,2773 \right) + \\
 &= \left(\frac{1,7 \times 10^{-6}}{0,001} \times 0,4135 \right) + \left(\frac{2 \times 10^{-7}}{0,001} \times 0,6616 \right) + \left(\frac{9,4 \times 10^{-4}}{0,001} \times 0,6616 \right) \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

$$k \text{ mixed} = 0,6336 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} = 0,1116 \text{ btu/jam.ft.}^{\circ}\text{F}$$

Untuk nilai $N_{Re} = 1736800,73$, maka dari 38, grafik 20.2, p.718. didapatkan nilai $j = 1420$. Dengan persamaan C.7, dihitung nilai h_j sebagai berikut :

$$\mu_{\text{mixed}} = \mu_w = 0,5527 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 1,3370 \text{ lb/ft.jam} \text{ (dari perhitungan agitator)}$$

$$h_j = \frac{1420 \times 0,1116}{4,2977} \times \left(\frac{0,9577 \times 1,3370}{0,1116} \right)^{1/3} \times (1)^{0,14} = 83,1598 \text{ btu/jam.ft}^2.{}^{\circ}\text{F}$$

$$h \text{ steam} = 1500 \text{ btu/jam.ft}^2.{}^{\circ}\text{F} \quad [38, \text{p.164}]$$

$$U_c = \frac{83,1598 \times 1500}{83,1598 + 1500} = 78,7915 \text{ btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_c + R_d}} = \frac{1}{\frac{1}{74,2246 + 0,001}} \text{ btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

$$= 73,0368 \text{ btu/jam.ft}^2.\text{°F} = 1493,0101 \text{ kJ/h.m}^2.\text{°C}$$

Dengan persamaan C.11, dapat dihitung luas permukaan jaket sebagai berikut :

$$\ln \left(\frac{148^\circ\text{C} - 60,9912^\circ\text{C}}{148^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}} \right) = \frac{1493,0101 \text{ kJ/h.m}^2.\text{°C} \times A \times 20 \text{ menit}}{7324,23 \text{ kg/jam} \times 20 \text{ menit} \times 4,0096 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}}$$

$$A = 3,63 \text{ m}^2$$

$$\text{Tinggi jaket} = \frac{A}{\pi \times OD_{shell}} = \frac{3,63 \text{ m}^2}{3,14 \times 1,3195 \text{ m}} = 0,8762 \text{ m}$$

Tinggi jaket (0,8762 m) lebih kecil dari tinggi *liquid* di *mixer* I (2,4550 m) jadi jaket yang dipakai memenuhi.

Jaket *spacing* (Js) dihitung dengan cara:

$$A = \pi \times D_s \times H_{liq \text{ dlm shell}} + \pi \times D_s \times b$$

$$2,6300 \text{ m}^2 = 3,14 \times D_s \times 1,4966 \text{ m} + 3,14 \times D_s \times 1,3062$$

$$D_s = 0,2988 \text{ m} \text{ (dimana } D_s = D_{jaket} - OD_{shell})$$

$$D_{jaket} = 0,2988 \text{ m} + 1,3195 \text{ m} = 1,6183 \text{ m}$$

$$D_{jaket} = OD_{shell} + 2 Js$$

$$1,6183 \text{ m} = 1,3195 \text{ m} + 2 Js$$

$$Js = 0,1494 \text{ m}$$

Waktu tinggal *steam* dalam jaket dihitung sebagai berikut :

$$\lambda 4,5 \text{ bar} = 2644,71 - 538,09 \text{ kJ/kg} \quad [28, \text{ p.858}]$$

$$= 2106,62 \text{ kJ/kg}$$

$$\rho \text{ steam 1 atm (148 }^\circ\text{C}) = 0,526 \text{ kg/m}^3 \quad [28, \text{ p.863}]$$

$$\rho \text{ steam 4,5 bar} = \frac{4,5 \text{ bar}}{1,01325 \text{ bar}} \times 0,526 \text{ kg/m}^3 = 2,3360 \text{ kg/m}^3$$

Q steam dari perhitungan neraca panas di mixer = 40150,14 kJ/jam.

$$\text{massa steam} = \frac{40150,14 \text{ kJ/jam}}{2106,62 \text{ kJ/kg}} = 19,0590 \text{ kg/jam}$$

$$\text{debit steam} = \frac{19,0590 \text{ kg/jam}}{2,3360 \text{ kg/m}^3} = 8,1588 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\begin{aligned}\text{volume jaket} &= \frac{\pi}{4} \times (\text{Dj}^2 - \text{OD}_{shell}^2) \times H_{liq \ dim shell} + \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times (\text{Dj}^2 - \text{OD}_{shell}^2) \times J_s \\ &= \frac{\pi}{4} \times (1,6183^2 - 1,3195^2) \times 1,4966 + \frac{\pi}{12} \times (1,6183^2 - 1,3195^2) \times 0,1494 \\ &= 1,0656 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal steam} = \frac{1,0656 \text{ m}^3}{8,1588 \text{ m}^3/\text{jam}} = 0,13 \text{ jam} = 7,84 \text{ menit}$$

$$\begin{aligned}\text{Kapasitas mixer I} &= \frac{\text{volume tangki (m}^3\text{)}}{0,3333 \text{ jam}} \\ &= \frac{3,2819 \text{ m}^3}{0,3333 \text{ jam}} = 9,8467 \text{ m}^3/\text{jam}\end{aligned}$$

Spesifikasi alat:

- Nama = *mixer I*
- Fungsi = untuk mengekstrak biji kedelai
- Bahan konstruksi = *stainless steel* SA-240 tipe 304, grade S
- Kapasitas = 9,8467 m³/jam
- Diameter = 1,3099 m
- Tinggi *shell* = 1,9649 m
- Tinggi tutup bawah = 0,9585 m
- Tinggi tangki total = 3,0480 m
- Tebal *shell* = 3/16 in
- Tebal *bottom* = 3/16 in
- Pengaduk = Jenis : 45° pitched six blade turbine
Diameter : 0,5240 m
Kecepatan pengadukan : 345,5256 m/menit
Power : 7 hp
Jumlah pengaduk : 2 buah
- Jaket pemanas = Luas permukaan : 2,6300 m²
Tinggi jaket pemanas : 0,8762 m

Jaket spacing : 0,1494 m
 - Jumlah tangki = 1 buah

15. Holding Tank I (F-212)

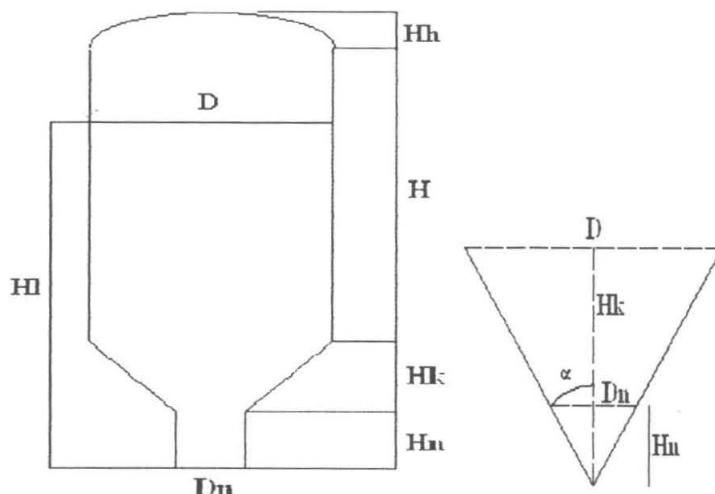
Fungsi : menampung *slurry* kedelai yang keluar dari *Mixer I* (M-210) sebelum masuk *plate and frame filter press* (H-220)

Tipe : silinder tegak berpengaduk dengan tutup atas *torispherical* dan tutup bawah konis

Dasar pemilihan : tutup torispherical memiliki harga yang lebih murah, dan cocok untuk menyimpan *liquid*. Tutup konis memudahkan proses pengeluaran *slurry* kedelai yang mengandung padatan. Pengadukan dilakukan untuk menjaga agar padatan tercampur homogen dalam *slurry*.

Perhitungan :

1. Volume Tangki



Keterangan:

D = diameter shell

H = tinggi shell

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi nozzle

Hl = tinggi padatan

Hh = tinggi head

Dn = diameter nozzle

Direncanakan waktu tinggal selama 2 jam

T operasi = 65,4879 °C

Slurry kedelai yang disimpan = 7324,23 kg/jam × 2 jam = 14648,46 kg

Berdasarkan persamaan D.5 dapat dihitung ρ_{slurry} sebagai berikut :

$$\rho_{protein} = 1,3299 \cdot 10^3 - 5,1840 \cdot 10^{-1} (65,4879) = 1295,9511 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{lemak} = 9,2559 \cdot 10^2 - 4,1757 \cdot 10^{-1} (65,4879) = 898,2442 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{karbohidrat} = 1,5991 \cdot 10^3 - 3,1046 \cdot 10^{-1} (65,4879) = 1578,7686 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{ash} = 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} (65,4879) = 2405,4221 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \rho_{air} &= 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (65,4879) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (65,4879)^2 \\ &= 997,1398 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\rho_{NaHCO_3} = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \sum_i X_i^m / \rho_i &= \frac{0,0349}{1295,9511} + \frac{0,0179}{898,2442} + \frac{0,0243}{1578,7686} + \frac{0,0041}{2405,4221} + \frac{0,0005}{2200} + \frac{0,9183}{997,1398} \\ &= 1,00113 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\rho_{slurry} = \frac{1}{1,00113 \cdot 10^{-3}} = 998,8697 \text{ kg/m}^3 = 62,3645 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Volume } slurry = \frac{14648,46 \text{ kg}}{998,8697 \text{ kg/m}^3} = 14,6650 \text{ m}^3 = 517,8652 \text{ ft}^3$$

Asumsi volume *slurry* = 90 % dari volume tangki

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{100}{90} \times \text{volume } slurry = \frac{100}{90} \times 14,6650 \text{ m}^3 \\ &= 16,2945 \text{ m}^3 = 575,4077 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

2. Dimensi tangki

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi tangki adalah *stainless steel* tipe 304 (SA-240 grade S)
- *Allowable stress value* dari SA-240 adalah 17806,0833 psi [37, p.342]
- *Corrosion allowance (c)* adalah 3 mm [41, p.556]
- Las yang digunakan : *double welded butt joint*, efisiensi 0,85 [37, p.46]

$$\frac{H_{shell}}{D_{shell}} = \frac{1,5}{1}$$

Ditetapkan : sudut konis = 60°

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\text{Volume shell} = \frac{\pi}{4} \times D_{shell}^2 \times H = \frac{\pi}{4} \times D_{shell}^2 \times 1,5 D_{shell}$$

$$= 1,1775 D_{shell}^3$$

$$\text{volume konis} = \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_{shell}^2 \times H_k \right] - \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times H_n \right]$$

$$= \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_{shell}^2 \times \frac{D_{shell}}{2 \times \tan \alpha} \right] - \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_n^2 \times \frac{D_n}{2 \times \tan \alpha} \right]$$

$$= \frac{\pi}{24 \times \tan \alpha} \times (D_{shell}^3 - D_n^3)$$

$$\text{Volume disk head} = 0,000049 \times D_{shell}^3 \rightarrow \text{dimana D dalam inchi}$$

$$= 0,0847 \times D_{shell}^3 \rightarrow \text{dimana D dalam feet (ft)}$$

[37, eq. 5.11, p.88]

$$\text{Diameter nozzle (Dn)} = 8 \text{ inc} \approx 0,2032 \text{ m} = 0,6667 \text{ ft} \quad [37, \text{p. 96}]$$

$$\text{Volume tangki} = V_{shell} + V_{konis} + V_{dish head}$$

$$575,4077 \text{ ft}^3 = 1,1775 \times D_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \times \tan \alpha} \times (D_{shell}^3 - D_n^3) + 0,0847 \times D_{shell}^3$$

$$575,4077 \text{ ft}^3 = 1,1775 \times D_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \times \tan 30^\circ} \times (D_{shell}^3 - 0,6667^3) + 0,0847 \times D_{shell}^3$$

$$575,4077 \text{ ft}^3 = 1,1775 D_{shell}^3 + 0,2266 D_{shell}^3 - 0,0672 + 0,0847 \times D_{shell}^3$$

$$575,4077 \text{ ft}^3 = 1,4888 \times D_{shell}^3 - 0,0672$$

$$D_{shell} = 7,2845 \text{ ft} = 2,2203 \text{ m} = 87,4140 \text{ in}$$

$$H_{shell} = 1,5 \times D_{shell} = (1,5 \times 7,2845) \text{ ft} = 10,9268 \text{ ft} = 3,3305 \text{ m}$$

$$H_{konis} = \frac{D_{shell} - D_n}{2 \cdot \tan \alpha}$$

$$= \frac{7,2845 \text{ ft} - 0,6667 \text{ ft}}{2 \times \tan 30^\circ} = 5,7312 \text{ ft} = 1,7469 \text{ m}$$

$$H_{slurry} \text{ dalam konis} = H_{konis} = 5,7312 \text{ ft} = 1,7469 \text{ m}$$

$$H_{nozzle} = \frac{Dn}{2 \cdot \operatorname{tg} \alpha} = \frac{0,6667 \text{ ft}}{2 \times \operatorname{tg} 30^\circ} = 0,5774 \text{ ft} = 0,1760 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume slurry dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \times \operatorname{tg} 30^\circ} \times (D^3 - Dn^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \times \operatorname{tg} 30^\circ} \times (7,2845^3 - 0,6667^3) \\ &= 87,5276 \text{ ft}^3 = 2,4786 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$V_{slurry \text{ dalam shell}} = V_{slurry} - V_{slurry \text{ dalam konis}}$$

$$\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{slurry \text{ dalam shell}} = (517,8652 - 87,5276) \text{ ft}^3$$

$$\frac{\pi}{4} \times (7,2845)^2 \times H_{slurry \text{ dalam shell}} = 430,3376 \text{ ft}^3$$

$$H_{slurry \text{ dalam shell}} = 10,3309 \text{ ft} = 3,1489 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_{slurry \text{ dalam tangki}} &= H_{slurry \text{ dalam shell}} + H_{slurry \text{ dalam konis}} \\ &= (10,3309 + 5,7312) \text{ ft} = 16,0622 \text{ ft} = 4,8958 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Tebal Shell, Dish head dan Konis

$$P_{operasi} = \frac{\rho \times H}{144} = \frac{62,37 \text{ lb/ft}^3 \times 10,3309 \text{ ft}}{144} = 4,4746 \text{ psi}$$

$$P_{design} = 1,2 \times P_{operasi}$$

$$P_{design} = 1,2 \times 4,4746 \text{ psi} = 5,3695 \text{ psi}$$

Tebal shell dihitung dengan persamaan D.1 :

$$t_s = \frac{P \times R}{SE - 0,6P} + c$$

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{5,3695 \text{ psi} \times 3,6423 \text{ ft}}{((17806,0833 \times 0,85) - (0,6 \times 5,3695 \text{ psi})) \times 3,2808 \text{ ft/m}} + 3 \text{ mm} \\ &= (0,3939 + 3) \text{ mm} = 3,3939 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} \text{ "} \end{aligned}$$

$$OD_{shell} = 2 \times t_s + D = 2 \times \frac{3}{16} \text{ in} + (7,2845 \times 12) \text{ in} = 87,7890 \text{ in} \approx 90 \text{ in}$$

(distanarisasi dari 37, p.90).

Berdasarkan 37, tabel 5.7, p.91, untuk OD = 90 in, maka t_s paling kecil adalah $\frac{5}{16}$ ", maka tebal shell yang digunakan adalah $\frac{5}{16}$ "

Tebal *dish head* (td) dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

OD = 90 in, sehingga dari 37, tabel 5.7, hal. 90 didapatkan data r = 90 in dan icr = 5,5 in. Untuk $t_s = \frac{5}{16}$ ", berdasarkan 37, tabel 5.8, p.93, didapatkan sf = 2 in.

$$W = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right) = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{90 \text{ in}}{5,5 \text{ in}}} \right) = 1,7613$$

Tebal *dish head* (td) dapat dicari dengan persamaan D.3 :

$$t_d = \frac{P \times r \times W}{2SE - 0,2P} + c$$

$$P_{\text{operasi}} = \frac{\rho \times H}{144} = \frac{62,37 \text{ lb/ft}^3 \times 16,0622 \text{ ft}}{144} = 6,9569 \text{ psi}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times P_{\text{operasi}}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times 6,9569 \text{ psi} = 8,3483 \text{ psi}$$

$$t_d = \frac{8,3483 \text{ psi} \times 90 \text{ in} \times 1,7613}{(2 \times 17806,0833 \text{ psi} \times 0,85) - (0,2 \times 8,3483 \text{ psi})} + 3 \text{ mm}$$

$$= 0,0437 \text{ in} + 3 \text{ mm} = (1,11 + 3) \text{ mm} = 4,11 \text{ mm} = 0,1618 \text{ in} \approx \frac{3}{16} "$$

Tebal *dish head* (td) = $\frac{3}{16}$ "

Tinggi *head* dan *bottom* dapat dihitung dengan persamaan C.4 :

$$OA = t_d + b + sf$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \left(\frac{87,4140}{2} - 5,5 \right) \text{ in} = 38,2070 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (90 - 5,5) \text{ in} = 84,5 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = 90 - \sqrt{(84,5)^2 - (38,2070)^2} \\ = 14,6311 \text{ in}$$

$$OA = t_d + b + sf = (3/16 + 14,6311 + 2) \text{ in} \\ = 16,8186 \text{ in} = 1,4015 \text{ ft} = 0,4272 \text{ m}$$

Tebal konis dihitung dengan persamaan D.2 :

$$\text{Jadi, } t_k = \frac{8,3483 \text{ psi} \times 3,6423 \text{ ft}}{\cos 30^\circ ((17806,0833 \times 0,85) - (0,6 \times 8,3483 \text{ psi})) \times 3,2808 \frac{\text{ft}}{\text{m}}} + 3 \text{ mm} \\ = 0,00071 \text{ m} + 3 \text{ mm} = (0,71 + 3) \text{ mm} = 3,71 \text{ mm} = 0,147 \text{ in} \approx \frac{3}{16} "$$

Tebal konis = $\frac{3}{16}$ "

Tebal shell ($\frac{5}{16}$ ") lebih besar dari tebal dish ($\frac{3}{16}$ ") dan tebal konis ($\frac{3}{16}$ "), maka digunakan tebal shell yaitu $\frac{5}{16}$ " sebagai tebal tangki.

$$\begin{aligned} H \text{ tangki total} &= H_{\text{shell}} + H_{\text{konis}} + OA \\ &= (10,9268 + 5,7312 + 1,4015) \text{ ft} \\ &= 18,0595 \text{ ft} \approx 18 \text{ ft} = 5,4864 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Agitator

Ditetapkan :

- Jenis agitator yang digunakan adalah 45° pitched six blade turbine
Dasar pemilihan 45° pitched six blade turbine : speednya tinggi, cocok untuk proses pengadukan liquid dengan viskositas rendah dan sedang (<200 Pa.s)
- Kecepatan pengaduk (N) adalah 50 rpm.
Dasar pemilihan kecepatan 50 rpm : viskositas slurry rendah, alirannya menjadi turbulent, sehingga slurry kedelai akan homogen (tercampur merata).
- Untuk mencegah timbulnya vorteks, maka digunakan 4 buah baffles.

$$Da = 0,4 D = 0,4 \times 7,2845 \text{ ft} = 2,9138 \text{ ft} = 0,8881 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{5} Da = \frac{1}{5} \times 2,9138 \text{ ft} = 0,5828 \text{ ft}$$

$$L = \frac{1}{4} Da = \frac{1}{4} \times 2,9138 \text{ ft} = 0,7285 \text{ ft}$$

$$C = \frac{1}{3} D = \frac{1}{3} \times 7,2845 \text{ ft} = 2,4282 \text{ ft}$$

$$J = \frac{1}{12} D = \frac{1}{12} \times 7,2845 \text{ ft} = 0,6070 \text{ ft}$$

$$sg = \frac{\rho_{\text{mixed}}}{\rho_{\text{air}} (4^\circ C)} = \frac{998,8697 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 0,9989$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{sg \times H}{D} = \frac{0,9989 \times 16,0622 \text{ ft}}{7,2845 \text{ ft}} = 2,45 \approx 3 \text{ buah}$$

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan pengaduk} &= \pi \cdot Da \cdot N = \pi \times 0,8881 \times 50 = 139,4317 \text{ m/menit} \\ \mu_{\text{slurry}} &= 0,5527 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} \text{ (dari perhitungan di mixer I)} \end{aligned}$$

Nilai N_{Re} dihitung dengan persamaan C.6 :

$$N_{Re} = \frac{998,8697 \text{ kg/m}^3 \times 50/60_s \times (0,8881)^2}{0,5527 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 1442571,359$$

Nilai N_p dapat dicari dari 28, grafik 3.4-4, p.145. Untuk nilai $N_{Re} = 1442571,359$, dan jenis agitator 45° pitched six blade turbine (kurva 3), maka didapatkan nilai $N_p = 1,5$

Power agitator dihitung dengan persamaan dari 28, p.145 :

$$\begin{aligned} P &= 1,5 \times 998,8697 \text{ kg/m}^3 \times \left(\frac{50}{60}\right)^3 \times (0,8881)^5 \\ &= 480 \text{ W} = 0,480 \text{ kW} = 0,6440 \text{ hp} \end{aligned}$$

Power untuk tiga buah pengaduk = $3 \times 0,480 \text{ kW} = 1,440 \text{ kW}$

Efisiensi motor diambil 80 %, maka

$$\text{Power yang dibutuhkan} = \frac{1,440}{0,8} \text{ kW} = 1,8 \text{ kW} = 2,4138 \text{ hp} \approx 3 \text{ hp}$$

Dari 28, p.148, power yang dibutuhkan untuk *mild agitation* : $0,1 \text{ kW/m}^3$ hingga $0,2 \text{ kW/m}^3$

$$\text{Power} = \frac{1,8 \text{ kW}}{14,6650 \text{ m}^3} = 0,1227 \text{ kW/m}^3 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas holding tank I} &= \frac{\text{volume tangki (m}^3\text{)}}{2 \text{ jam}} \\ &= \frac{16,2945 \text{ m}^3}{2 \text{ jam}} = 8,1473 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

- Nama = *holding tank I*
- Fungsi = untuk menampung *slurry* kedelai sebelum masuk *plate and frame filter press*
- Bahan konstruksi = *stainless steel* SA-240 tipe 304
- Kapasitas = $8,1473 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Diameter tangki = $2,2203 \text{ m}$
- Tinggi *shell* = $3,3305 \text{ m}$
- Tinggi *dish* = $0,4272 \text{ m}$

- Tinggi konis = 1,7469 m
- Tinggi tangki total = 5,4864 m
- Tebal shell = $\frac{5}{16}$ "
- Tebal dish = $\frac{5}{16}$ "
- Tebal konis = $\frac{5}{16}$ "
- Agitator = Jenis : 45° pitch blade turbine
Diameter : 0,8881 m
Kecepatan pengadukan : 139,4317 m/menit
Power : 3 hp
Jumlah pengaduk : 3 buah
- Jumlah tangki = 1 buah

16. Pompa (L-221)

Fungsi : mengalirkan *slurry* kedelai dari *holding tank* I (F-212) ke *Filter Press* (H-220)

Tipe : *centrifugal pump*

Dasar pemilihan : ekonomis dan efektif untuk mengalirkan liquid berviskositas rendah dengan kapasitas besar.

Perhitungan :

$$T = 65,4879 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Massa *slurry* kedelai masuk = 7324,23 kg/jam = 2,0345 kg/s

$$\rho_{\text{protein}} = 1,3299 \cdot 10^3 - 5,1840 \cdot 10^{-1} (65,4879) = 1295,9511 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{lemak}} = 9,2559 \cdot 10^2 - 4,1757 \cdot 10^{-1} (65,4879) = 898,2442 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{karbohidrat}} = 1,5991 \cdot 10^3 - 3,1046 \cdot 10^{-1} (65,4879) = 1578,7686 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{ash}} = 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} (65,4879) = 2405,4221 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{air}} &= 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (65,4879) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (65,4879)^2 \\ &= 997,1398 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{NaHCO}_3} = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$\Sigma_i X_i^m / \rho_i = \frac{0,0349}{1295,9511} + \frac{0,0179}{898,2442} + \frac{0,0243}{1578,7686} + \frac{0,0041}{2405,4221} + \frac{0,0005}{2200} + \frac{0,9183}{997,1398}$$

$$= 1,00113 \times 10^{-3}$$

$$\rho_{slurry} = \frac{1}{1,00113 \cdot 10^{-3}} = 998,8697 \text{ kg/m}^3 = 62,3645 \text{ lb/ft}^3$$

$$\text{Debit slurry kedelai masuk} = \frac{\frac{7324,23 \text{ kg/jam}}{998,8697 \text{ kg/m}^3}}{\text{m}^3} = 7,3325 \text{ m}^3/\text{jam} = 0,0719 \text{ ft}^3/\text{s}$$

Dari 41, hal. 496 dan 888 didapat :

$$ID_{opt} = 3,9 \times Q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} = 3,9 \times (0,0719)^{0,45} \times (62,3645)^{0,13} = 2,0414 \text{ in}$$

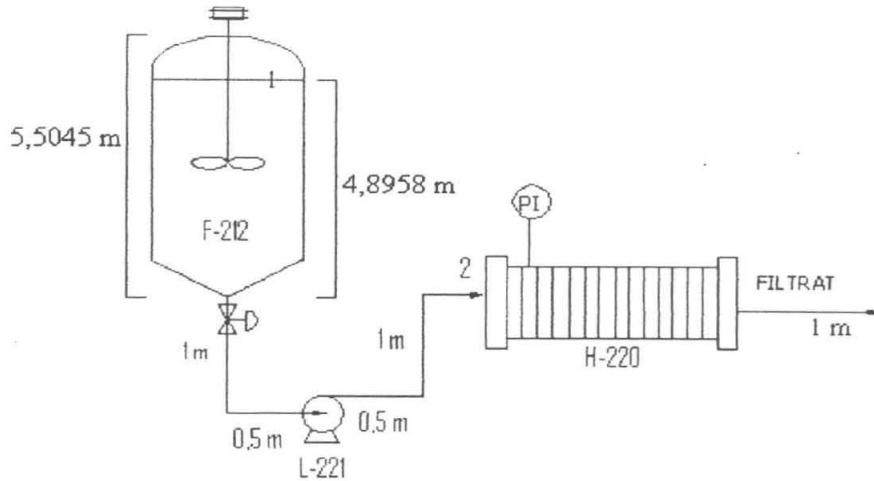
Dipilih *steel pipe* (IPS) berukuran 2,5 in, schedule 40, dan dari 28, appendix A.5 diperoleh :

$$ID = 2,469 \text{ in} = 0,2058 \text{ ft}; OD = 2,875 \text{ in}; A = 0,03322 \text{ ft}^2$$

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{0,0719 \text{ ft}^3/\text{detik}}{0,03322 \text{ ft}^2} = 2,1644 \text{ ft/s} = 0,6597 \text{ m/s}$$

$$\mu_{camp} = 0,5527 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 3,714 \times 10^{-4} \text{ lbm/ft.s} \text{ (dari perhitungan Mixer I)}$$

$$N_{Re} = \frac{D \times v \times \rho}{\mu} = \frac{0,2058 \times 2,1644 \times 62,3645}{3,714 \cdot 10^{-4}} = 74794,5887 \text{ (turbulen)}$$



Dari 28, pers. 2.7-28 :

$$\frac{1}{2 \alpha g_c} \times (v_2^2 - v_1^2) + \frac{g}{g_c} \times (z_2 - z_1) + \frac{p_2 - p_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0$$

dimana : $\Delta Z = Z_2 - Z_1 = 4,8958 \text{ m}$ (tinggi larutan dalam tangki)

$$v_1 = 0$$

$$v_2 = 2,1644 \text{ ft/s}$$

Untuk menghitung ΔP_{pompa} pada pompa *slurry* ke *filter press*, diambil dari data praktikum filtrasi dengan menggunakan *Plate and Frame Filter Press* pada praktikum Teknik Kimia III (dengan bahan : *slurry CaCO₃*). Asumsi yang digunakan adalah : *slurry CaCO₃* = *slurry kedelai*. Pada praktikum Teknik Kimia III, harga ΔP_{pompa} diukur pada alat pengukur tekanan dan didapatkan harga ΔP_{pompa} yang berbeda – beda untuk konsentrasi *slurry* yang berbeda. Untuk ΔP_{pompa} pada perancangan tugas akhir "Susu Kedelai Kental Manis" diambil konsentrasi *slurry CaCO₃* dari data praktikum Teknik Kimia III = 20 kg/m³.

$$Cs = 20 \text{ kg/m}^3 \text{ (diambil dari data praktikum Teknik Kimia III)}$$

$$\Delta P = 111125 \text{ N/m}^2 = 1,0967 \text{ atm} = 2320,8674 \text{ lbf/ft}^2 \text{ (dari praktikum Teknik Kimia III untuk } Cs = 20 \text{ kg/m}^3)$$

Perhitungan ΣF :

1. Friksi karena kontraksi dari tangki ke pipa :

$$Kc = 0,55 (1 - (A_{\text{pipa}}/A_{\text{tangki}})) \quad [28, \text{ pers.2.10-16, hal 93}]$$

$A_{\text{pipa}}/A_{\text{tangki}} = 0$; karena A_{tangki} jauh lebih besar dibanding A_{pipa} sehingga :

$$Kc = 0,55$$

$$hc = Kc \times \frac{v_2^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} = 0,55 \times \frac{2,1644^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,0728 \text{ ft.lbf/lbm}$$

2. *Losses* karena friksi pada pipa lurus, *fitting* dan *valve*

$$\text{Panjang pipa lurus} = 3,5 \text{ m} = 11,4828 \text{ ft}$$

Dalam sistem digunakan 3 buah *elbow* 90° dengan Le/D = 35, dan 1 buah *gate valve* dengan Le/D = 9 [28, tabel 2.10-1]

$$Le = ((3 \times 35) + (1 \times 9)) \times 0,2058 \text{ ft} = 114 \times 0,2058 \text{ ft} = 23,4612 \text{ ft}$$

$$\Delta L = \text{panjang total} = 11,4828 + 23,4612 \text{ ft} = 34,944 \text{ ft}$$

$$\text{Commercial steel : } E = 4,6 \times 10^{-5} \text{ m} = 0,00015 \text{ ft}$$

$$\frac{E}{D} = \frac{0,00015}{0,2058} = 7,2886 \cdot 10^{-4} \rightarrow f = 0,006 \quad [28, \text{ fig.2.10-3, hal 88}]$$

$$F_f = \frac{4 \times f \times \Delta L \times v^2}{D \times 2g_c} = \frac{4 \times 0,006 \times 34,944 \times 2,1644^2}{0,2058 \times 2,32,174} = 0,2967 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Sigma F = hc + F_f = (0,0728 + 0,2967) \text{ ft.lbf/lbm} = 0,3695 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Sehingga :

$$\frac{1}{2 \times 1 \times 32,174} \times (2,1644^2 - 0) + \frac{32,174}{32,174} \times 4,8958 + \frac{2320,8674}{62,3645} + 0,3965 + W_s = 0$$

$$-W_s = 42,5797 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Efisiensi pompa (η) = 50%

[41, fig 14-37, p.520]

$$\text{brake hp} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 550} \quad [28]$$

$$= \frac{42,5797 \times 4,4840}{0,5 \times 550} = 0,6943 \text{ hp}$$

Dari 41, fig.14-38, p.521, untuk BHP = 3 hp, didapatkan efisiensi motor = 82%.

Sehingga dipakai pompa dengan motor = 0,6943/0,82 hp = 0,8679 hp \approx 1 hp

Spesifikasi alat :

- Fungsi : mengalirkan *slurry* ke *filter press*
- Tipe : *centrifugal pump*
- Rate aliran pompa : 7,3325 m³/jam
- Ukuran pipa : 2,5 in sch 40
- Power motor : 1 hp
- Bahan konstruksi : *carbon steel*
- Jumlah : 1 buah

17. Plate and Frame Filter Press (H-220)

Fungsi : untuk memisahkan filtrat (susu kedelai) dan *cake*

Dasar pemilihan : mudah dioperasikan dan dibersihkan, serta efektif untuk proses pemisahan filtrat dan *cake*.

Perhitungan :

Ditetapkan : waktu operasi = 1 jam

T operasi = 63,4876 °C

Waktu pembersihan = waktu pembongkaran + pengambilan *cake* + pencucian

plate and frame + pemasangan

$$= (15 + 15 + 15 + 15) \text{ menit} = 60 \text{ menit} = 1 \text{ jam}$$

Waktu untuk 1 siklus operasi = 2 jam (1 jam bongkar pasang + 1 jam operasi)

Kapasitas filtrat / siklus = $5654,82 \text{ kg/jam} \times 1 \text{ jam} = 5654,82 \text{ kg/siklus}$

ρ komponen dihitung dengan persamaan D.5 yakni :

$$\rho_{\text{protein}} = 1,3299 \cdot 10^3 - 5,1840 \cdot 10^{-1} (63,4876) = 1296,9880 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{lemak}} = 9,2559 \cdot 10^2 - 4,1757 \cdot 10^{-1} (63,4876) = 899,0795 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{karbohidrat}} = 1,5991 \cdot 10^3 - 3,1046 \cdot 10^{-1} (63,4876) = 1579,3896 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{ash}} = 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} (63,4876) = 2405,9835 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{air}} &= 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (63,4876) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (63,4876)^2 \\ &= 997,1411 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{NaHCO}_3} = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$\begin{aligned} \Sigma_i X_i^m / \rho_i &= \frac{0,0350}{1296,9880} + \frac{0,0190}{899,0795} + \frac{0,0181}{1579,3896} + \frac{0,0027}{2405,9835} + \frac{0,0005}{2200} + \frac{0,9252}{997,1411} \\ &= 1,0041 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{filtrat}} = \frac{1}{1,0041 \times 10^{-3}} = 996,1152 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{filtrat per siklus}} = \frac{5654,82 \text{ kg/siklus}}{996,1152 \text{ kg/m}^3} = 5,6768 \text{ m}^3/\text{siklus}$$

Massa cake = 1669,40 kg/jam (dari perhitungan neraca massa)

Massa cake untuk 1 siklus = $1669,40 \text{ kg/jam} \times 1 \text{ jam} = 1669,40 \text{ kg/siklus}$

$$\begin{aligned} \Sigma_i X_i^m / \rho_i &= \frac{0,0347}{1296,9880} + \frac{0,0141}{899,0795} + \frac{0,0456}{1579,3896} + \frac{0,0087}{2405,9835} + \frac{0,0005}{2200} + \frac{0,8964}{997,1411} \\ &= 9,8876 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{cake}} = \frac{1}{9,8876 \times 10^{-4}} = 1011,3648 \text{ kg/m}^3$$

$$V_{\text{cake}} = \frac{1669,40 \text{ kg/siklus}}{1011,3648 \text{ kg/m}^3} = 1,6506 \text{ m}^3/\text{siklus} = 58,2876 \text{ ft}^3/\text{siklus}$$

Dari 33, 7th ed, tabel 19-17, didapatkan :

- Ukuran *plate and frame* = 30 x 30 in
- Luas efektif = $10,5 \text{ ft}^2 = 0,9755 \text{ m}^2$
- Kapasitas *cake* = $0,44 \text{ ft}^3/\text{in tebal}$

Dari 33, 7th ed, tabel 19-66, tebal *frame* = (0,125-8) in, diambil tebal *frame* = 4 in = 0,1016 m

$V \text{ cake tiap } frame = 0,44 \text{ ft}^3/\text{in} \times 4 \text{ in} = 1,76 \text{ ft}^3$

$$\text{Jumlah } frame = \frac{V \text{ cake}}{V \text{ cake tiap frame}} = \frac{58,2876}{1,76} = 33,1179 \approx 33 \text{ buah}$$

Jumlah *plate and frame* = $(33 \times 2) - 1 = 65$ buah

Berdasarkan 39, tabel 4-23, panjang *plate and frame filter press* berkisar antara 0,5 m – 20 m.

Panjang alat = (*jumlah plate and frame* × tebal *frame*) + spasi penambahan *frame*
 $= (65 \times 4) \text{ in} + (33 \times 4) \text{ in} = 392 \text{ in} = 9,9568 \text{ m}$ (memenuhi)

Spesifikasi alat :

- Nama = *Plate and Frame Filter Press*
- Tebal tiap *frame* = 0,1016 m
- Jumlah *plate dan frame* = 65 buah
- Panjang alat = 9,9568 m
- Bahan konstruksi = metal
- Jumlah alat = 2 buah

18. Belt Conveyor (J-224)

Fungsi : mengangkut *cake* kedelai dari filter press (H-220) ke unit pengarungan

Dasar pemilihan : harga murah, dan cocok untuk membawa padatan

Perhitungan :

Massa *cake* = 1669,40 kg/jam = 1,6694 ton/jam

Panjang *belt* = 4 m

Sudut elevasi = 0°

Dari 33, 7th ed, tabel 21-7 diperoleh :

- Lebar *belt* = 35 cm = 0,35 m

- *Belt plies* = 3 – 5
- Kecepatan *belt* = 30,5 m/menit
- Kapasitas = 32 ton/jam

$$\text{Kecepatan } belt = \frac{1,6694 \text{ ton/jam}}{32 \text{ ton/jam}} \times 30,5 \text{ m/menit} = 1,5912 \text{ m/menit}$$

$$\begin{aligned} hp &= \text{kapasitas} \times H \times 0,002 \times C & [40, 3^{\text{th}} \text{ ed, hal 1355}] \\ &= 1,5912 \text{ ton/jam} \times 4 \text{ m} \times 0,002 \times 1 = 0,0127 \text{ hp} \end{aligned}$$

$$\text{Efisiensi} = 80\% \quad [41, 3^{\text{th}} \text{ ed, p.521}]$$

$$\text{Power motor} = \frac{0,0127}{0,8} \text{ hp} = 0,0159 \text{ hp} \approx 0,25 \text{ hp}$$

Spesifikasi alat :

- Kapasitas = 1669,40 kg/jam
- Panjang *belt* = 4 m
- Lebar *belt* = 0,35 m
- Kecepatan *belt* = 1,5912 m/menit
- Sudut elevasi = 0 °
- Power = 0,25 hp
- Bahan konstruksi = *rubber* dan *stainless steel*
- Jumlah alat = 1 buah

19. Holding Tank II (F-222)

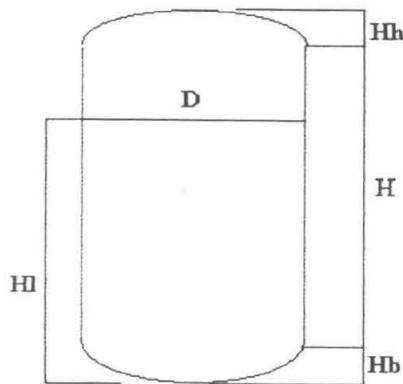
Fungsi : menampung susu kedelai keluar *plate and frame filter press* (H-220)

Tipe : silinder tegak dengan tutup atas dan tutup bawah *torispherical*

Dasar pemilihan : tutup torispherical memiliki harga yang lebih murah, dan cocok untuk menyimpan *liquid*.

Perhitungan :

1. Volume Tangki



Keterangan :

D = diameter *shell*

H = tinggi *shell*

Hb = tinggi *bottom*

Hl = tinggi padatan

Hh = tinggi *head*

Direncanakan waktu tinggal selama 1 jam.

T operasi = 59,6234 °C

Susu kedelai yang disimpan = 5654,82 kg/jam × 1 jam = 5654,82 kg

ρ susu kedelai = 1036 kg/m³ (dari hasil percobaan)

$$\text{Volume susu kedelai} = \frac{5654,82 \text{ kg}}{1036 \text{ kg/m}^3} = 5,4558 \text{ m}^3 = 192,6607 \text{ ft}^3$$

Asumsi volume susu kedelai = 90 % dari volume tangki

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{100}{90} \times \text{volume susu kedelai} = \frac{100}{90} \times 5,4558 \text{ m}^3 = 6,0620 \text{ m}^3 \\ &= 214,0674 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

2. Dimensi dan Tebal *Shell*

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi tangki adalah *stainless steel* tipe 304 (SA-240 grade S)
- *Allowable stress value* dari SA-240 adalah 17937,8408 psi [37, p.342]
- *Corrosion allowance (c)* adalah 3 mm [41, p.556]

- Las yang digunakan : *double welded butt joint*, efisiensi 0,85 [37, p.46]
- $H_{shell}/D_{shell} = 1,5/1$

Volume tangki = volume *shell* + volume *head* + volume *bottom*

$$\begin{aligned} 6,0620 \text{ m}^3 &= \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H \right) + 0,000049D^3 + 0,000049D^3 \\ &= \left(\frac{1,5 \times \pi}{4} \times D^3 \right) + (2 \times 0,000049D^3) \end{aligned}$$

$$D = 1,7267 \text{ m} = 5,6650 \text{ ft} \approx 6 \text{ ft} = 72 \text{ in}$$

$$H_{shell} = 1,5 \times 1,7267 \text{ m} = 2,5900 \text{ m} \approx 9 \text{ ft}$$

H_{liquid} dalam *shell* dicari dengan persamaan :

Volume *liquid* = volume *shell* + volume *bottom*

$$192,6607 \text{ m}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{liquid} \right) + 0,000049 D^3$$

$$192,6607 \text{ m}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times (6)^2 \times H_{liquid} \right) + 0,000049 (6)^3$$

$$H_{liquid} = 6,8149 \text{ ft} = 2,0772 \text{ m}$$

$$P_{operasi} = \frac{\rho \times H}{144} = \frac{62,37 \text{ lb/ft}^3 \times 6,8149 \text{ ft}}{144} = 2,9517 \text{ psi}$$

$$P_{design} = 1,2 \times P_{operasi} = 1,2 \times 2,9517 \text{ psi} = 3,5420 \text{ psi}$$

Dengan menggunakan persamaan C.1, maka :

$$t_s = \frac{P \times R}{SE - 0,6P} + c$$

$$\begin{aligned} t_s &= \frac{3,5420 \text{ psi} \times 3 \text{ ft}}{((17937,8408 \text{ psi} \times 0,85) - (0,6 \times 3,5420 \text{ psi})) \times 3,2808 \frac{\text{ft}}{\text{m}}} + 3 \text{ mm} \\ &= 0,2125 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 3,2125 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} \text{ "} \end{aligned}$$

OD = ID + (2 × t_s) = 72 in + (2 × $\frac{3}{16}$ ") = 72,375 in ≈ 72 in (distanarisasi dari 37, p.91). Berdasarkan 37, tabel 5.7, p.91, untuk OD = 72 in, t_s paling kecil adalah $\frac{1}{4}$ ", maka tebal *shell* yang digunakan adalah $\frac{1}{4}$ "

3. Tinggi dan Tebal Head dan Bottom

Tebal *head* dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

OD = 72 in, sehingga dari 37, tabel 5.7, p.91, didapatkan data icr = 4,375 in, dan rc = 72 in. Untuk $t_s = \frac{1}{4}$ ", dari 37, tabel 5.8, p.93, didapatkan data sf = 2 in.

Dengan menggunakan persamaan C.3, maka :

$$t_d = \frac{P \times r \times W}{2SE - 0,2P} + c$$

$$W = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} \right) = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{72}{4,375}} \right) = 1,7642$$

$$t_d = \frac{3,5420 \text{ psi} \times 72 \text{ in} \times 1,7642}{(2 \times 17937,8408 \text{ psi} \times 0,85) - (0,2 \times 3,5420 \text{ psi})} + 3 \text{ mm}$$

$$= 0,0148 \text{ in} + 3 \text{ mm} = (0,3759 + 3) \text{ mm} = 3,3759 \text{ mm} \approx \frac{3}{16}"$$

Tebal *shell* ($\frac{1}{4}$ ") lebih besar dari tebal *dish* ($\frac{3}{16}$ ") maka digunakan tebal *shell* yaitu $\frac{1}{4}$ " sebagai tebal tangki.

Tinggi *head* dan *bottom* dapat dihitung dengan persamaan C.4 :

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \left(\frac{72}{2} - 4,375 \right) \text{ in} = 31,625 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (72 - 4,375) \text{ in} = 67,625 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = 72 \sqrt{(67,625)^2 - (31,625)^2}$$

$$= 12,2254 \text{ in}$$

$$OA = td + b + sf = (1/4 + 12,2254 + 2) \text{ in}$$

$$= 14,4754 \text{ in} = 1,2063 \text{ ft} = 0,3677 \text{ m}$$

$$H_{liquid\ total} = (6,8149 + 1,2063) \text{ ft} = 8,0212 \text{ ft} = 2,4449 \text{ m}$$

$$H_{tangki\ total} = H_{shell} + H_{head} + H_{bottom}$$

$$= 9 \text{ ft} + (2 \times 1,2063 \text{ ft}) = 11,4126 \text{ ft} \approx 11 \text{ ft} = 3,3528 \text{ m}$$

$$\text{Kapasitas holding tank II} = \frac{volume\ tangki\ (m^3)}{1\ jam}$$

$$= \frac{6,0620\ m^3}{1\ jam} = 6,0620\ m^3/jam$$

Spesifikasi alat :

- Nama = *holding tank II*
- Fungsi = untuk menampung susu kedelai yang keluar dari *plate and frame filter press*
- Bahan konstruksi = *stainless steel SA-240 tipe 304*
- Kapasitas = $6,0620 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Diameter tangki = $1,8288 \text{ m}$
- Tinggi *shell* = $2,7432 \text{ m}$
- Tinggi *dish* = $0,3677 \text{ m}$
- Tinggi tangki total = $3,3528 \text{ m}$
- Tebal *shell* = $\frac{1}{4}''$
- Tebal *dish* = $\frac{1}{4}''$

20. Pompa (L-232)

Fungsi : mengalirkan susu kedelai dari *holding tank II* (F-222) ke *mixer II* (M-230)

Tipe : *centrifugal pump*

Dasar pemilihan : ekonomis dan efektif untuk mengalirkan liquid berviskositas rendah dengan kapasitas besar.

Perhitungan :

$$T \text{ operasi} = 59,6234 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\text{Susu kedelai} = 5654,82 \text{ kg/jam}$$

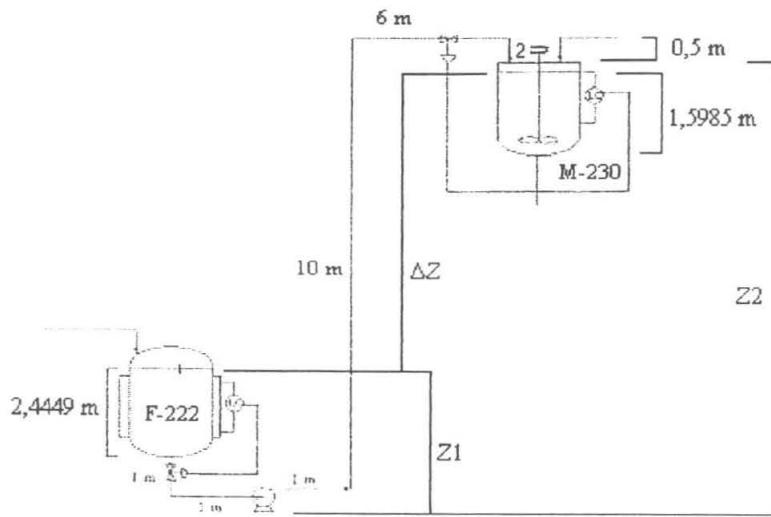
$$\rho \text{ susu kedelai} = 1036 \text{ kg/m}^3 \quad (\text{dari hasil percobaan})$$

$$\begin{aligned} \text{Debit susu kedelai masuk pompa} &= \frac{5654,82 \text{ kg/jam}}{1036 \text{ kg/m}^3} = 5,6768 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 0,0557 \text{ ft}^3/\text{s} = 24,9210 \text{ gal/menit} \end{aligned}$$

Dari 41, p. 496 dan 888 didapat :

$$ID_{\text{opt}} = 3,9 \times Q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} = 3,9 \times (0,0557)^{0,45} \times (62,1882)^{0,13} = 1,8192 \text{ in}$$

Dipilih *steel pipe* (IPS) berukuran 2 in sch 40, dan dari 28, appendix A.5 diperoleh : ID = 2,067 in = 0,1722 ft; OD = 2,375 in; A = 0,0233 ft²



$$\text{Kecepatan linear} = \frac{0,0557 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0233 \text{ ft}^2} = 2,39 \text{ ft/s}$$

$$N_{Re} = \frac{\rho \times ID \times v}{\mu} = \frac{62,1882 \times 0,1722 \times 2,39}{3,71 \cdot 10^{-4}} = 68986,6609 \text{ (turbulen)}$$

Persamaan Bernoulli :

$$\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{g}{g_c} (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [28]$$

Perhitungan ΣF :

1. Losses karena kontraksi, hc dan hex

$$Kc = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

Karena $A_1 \gg A_2$ maka (A_2/A_1) diabaikan, sehingga :

$$Kc = 0,55 \times (1-0) = 0,55$$

$$hc = Kc \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc}$$

$$= 0,55 \times \frac{2,39^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,0488 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\begin{aligned} \text{hex } &= \frac{v^2}{2\alpha.gc} \\ &= \frac{2,39^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,0887 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

2. Losses karena friksi pada pipa lurus, F_f

Digunakan pipa *commercial steel*, pada 28, fig.2.10-3, didapat :

$$\epsilon = 0,00015 \text{ ft}$$

$$\epsilon/\text{ID} = 0,00015/0,1722 = 0,000871$$

$$f = 0,006$$

Penafsiran panjang pipa lurus = 19,5 m = 63,9756 ft

$$4 \text{ buah } elbow \ 90^\circ; \ Le/D = 35 \quad [28]$$

$$Le = 4 \text{ buah} \times 35 \times 0,1722 \text{ ft} = 24,108 \text{ ft}$$

$$2 \text{ buah } gate \ valve; \ Le/D = 9$$

$$Le = 2 \times 9 \times 0,1722 \text{ ft} = 3,0996 \text{ ft}$$

$$\Delta L = \text{panjang total} = (63,9756 + 24,108 + 3,0996) \text{ ft} = 91,1832 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2g_c} \\ &= 4 \times 0,006 \times \frac{91,1832}{0,1722} \times \frac{2,39^2}{2 \times 32,174} = 1,1281 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

$$\Sigma F = 0,0488 + 0,0887 + 1,1281 = 1,2656 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = (10 - 0,5) \text{ m} - (2,4449 + 1) \text{ m} = 7,0551 \text{ m} = 8,0216 \text{ ft}$$

$$\Delta P_{\text{pompa}} = 0$$

$$\begin{aligned} \frac{(2,39 \text{ ft/s})^2}{2 \times 1 \times 32,174 \text{ lbm.ft/lbf.s}^2} + \frac{32,174 \text{ ft/s}^2}{32,174 \text{ lbm.ft/lbf.s}^2} \times 23,1467 \text{ ft} \\ + 0 + 1,2656 \text{ ft.lbf/lbm} = -Ws \end{aligned}$$

$$-Ws = 26,4670 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Dari 41, fig.14-37, p.520, untuk laju volumetrik air sebesar 24,9210 gal/menit didapatkan harga : Efisiensi pompa (η) = 50%

$$\text{Brake hp} = \frac{-w_s \times m}{\eta \times 550} = \frac{26,4670 \times 3,4639}{0,5 \times 550} = 0,3334 \text{ hp} \quad [28]$$

Dari 41, fig.14-38, p.521, untuk BHP = 0,3334 Hp, Efisiensi motor = 80%.

Sehingga dipakai pompa dengan motor = $0,3334/0,80$ hp = 0,4167 hp \approx 0,4 hp

Spesifikasi alat :

- Fungsi : mengalirkan susu kedelai ke *Mixer II*
- Tipe : *centrifugal pump*
- Rate aliran pompa : $5,6768 \text{ m}^3/\text{jam}$
- Power motor : 0,4 hp
- Bahan konstruksi : *carbon steel*
- Jumlah : 1 buah

21. Mixer II (M-230)

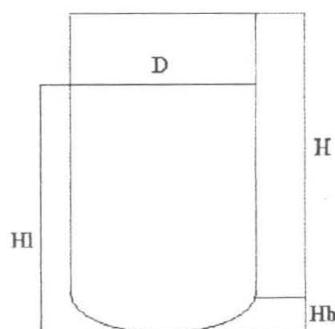
Fungsi : untuk mencampur larutan gula dengan susu kedelai

Tipe : silinder tegak berpengaduk dengan tutup atas *flat* dan tutup bawah *torispherical*.

Dasar pemilihan : cocok untuk pencampuran *liquid – liquid*

Perhitungan :

1. Volume Tangki



Keterangan:

D = diameter *shell*

H = tinggi *shell*

Hb = tinggi *bottom*

Hl = tinggi padatan

Direncanakan waktu tinggal di *mixer II* adalah 15 menit (0,25 jam).

$$T \text{ operasi} = 70 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Massa larutan gula} = 1089,24 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Massa gula} = 745,31 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Massa air} = 343,93 \text{ kg/jam}$$

$$\rho \text{ gula} = 1588 \text{ kg/m}^3$$

[18, p.153]

$$\rho \text{ air} = 997,18 + 3,1439 \times 10^{-3} (70) - 3,7574 \times 10^{-3} (70)^2$$

$$= 978,9888 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ larutan gula} = \left(\frac{1}{\frac{0,6842}{1588} + \frac{0,3157}{978,9888}} \right) \text{ kg/m}^3 = 1327,4359 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Massa susu} = 5654,82 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Massa susu + massa larutan gula} = (1089,24 + 5654,82) \text{ kg/jam}$$

$$= 6744,06 \text{ kg/jam.}$$

$$\rho \text{ susu kedelai} = 1036 \text{ kg/m}^3 \text{ (dari hasil percobaan)}$$

$$\rho \text{ NaHCO}_3 = 2200 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho \text{ mixed} = \left(\frac{1}{\frac{0,1615}{1327,4359} + \frac{0,8385}{1036} + \frac{0,0004}{2200}} \right) \text{ kg/m}^3 = 1068,4644 \text{ kg/m}^3$$

$$V \text{ campuran} = \frac{6744,06 \text{ kg/jam}}{1068,4644 \text{ kg/m}^3} \times 0,25 \text{ jam} = 1,5779 \text{ m}^3 = 55,7205 \text{ ft}^3$$

Asumsi volume campuran = 80 % dari volume tangki

$$\begin{aligned} \text{Volume tangki} &= \frac{100}{80} \times \text{volume campuran} = \frac{100}{80} \times 1,5779 \text{ m}^3 \\ &= 1,9724 \text{ m}^3 = 69,6515 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

2. Dimensi dan Tebal *Shell*

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi *mixer* adalah *stainless steel* tipe 304 (SA-240 grade S)
- *Allowable stress value* dari SA-240 adalah 17749,9 psi [37, p.342]
- *Corrosion allowance (c)* adalah 3 mm [41, p.556]

- Las yang digunakan : *double welded butt joint*, efisiensi 0,85 [37, p.46]
- $H_{shell}/D_{shell} = 1,5/1$

Volume tangki = volume *shell* + volume *bottom*

$$69,6515 \text{ ft}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H \right) + 0,000049 D^3$$

$$= \left(\frac{1,5 \times \pi}{4} \times D^3 \right) + (0,000049 D^3)$$

$$D = 3,8963 \text{ ft} \approx 4 \text{ ft} = 1,2192 \text{ m} = 48 \text{ in}$$

$$H_{shell} = 1,5 \times 1,2192 \text{ m} = 1,8288 \text{ m} = 6 \text{ ft}$$

H liquid dalam *shell* dicari dengan persamaan :

Volume *liquid* = volume *shell* + volume *bottom*

$$1,5779 \text{ m}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{liquid} \right) + 0,000049 D^3$$

$$1,5779 \text{ m}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times \left(\frac{4}{3,2808} \right)^2 \times H_{liquid} \right) + 0,000049 \left(\frac{4}{3,2808} \right)^3$$

$$H_{liquid} = 1,3521 \text{ m} = 4,4360 \text{ ft}$$

$$P_{operasi} = \left(\frac{62,37 \times 4,4360}{144} \right) \text{ lb/in}^2 = 1,9213 \text{ lb/in}^2 = 1,9213 \text{ psi}$$

$$P_{design} = 1,2 \times 1,9213 \text{ psi} = 2,3056 \text{ psi}$$

Dengan menggunakan persamaan C.1, dapat dihitung tebal *shell* sebagai berikut :

$$t_s = \frac{P \times R}{SE - 0,6P} + c$$

$$t_s = \frac{2,3056 \text{ psi} \times 4 \text{ ft}}{((17749,9 \text{ psi} \times 0,85) - (0,6 \times 2,3056 \text{ psi})) \times 3,2808 \text{ ft/m}} + 3 \text{ mm}$$

$$= 0,1874 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 3,1874 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} \text{ in}$$

$$\text{tebal head} = t_{shell} = \frac{3}{16} \text{ in}$$

3. Tinggi dan Tebal Bottom

Tebal bottom dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

$OD = ID + 2.t_{shell} = 48 + (2 \times 3/16) \text{ in} = 48,375 \text{ in} \approx 48 \text{ in}$ (distanarisasi dari 37, p.90), sehingga dari 37, tabel 5.7, hal. 90, didapatkan data $r = 48 \text{ in}$ dan $icr = 3 \text{ in}$.

Untuk $t_s = 3/16''$, berdasarkan 37, tabel 5.8, p.93, didapatkan data $sf = 1,5 \text{ in}$.

Dengan menggunakan persamaan C.3, maka :

$$t_d = \frac{P \times r \times W}{2SE - 0,2P} + c$$

$$W = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right) = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{48 \text{ in}}{3 \text{ in}}} \right) = 1,75$$

$$t_d = \frac{2,3056 \text{ psi} \times 48 \text{ in} \times 1,75}{(2 \times 17749,9 \text{ psi} \times 0,85) - (0,2 \times 2,3056 \text{ psi})} + 3 \text{ mm}$$

$$= 0,1626 \text{ mm} + 3 \text{ mm} = 3,1626 \text{ mm} \approx 3/16''$$

Dengan menggunakan persamaan C.4, dihitung tinggi bottom sebagai berikut :

$$AB = ID/2 - icr = (24 - 3) \text{ in} = 21 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (48 - 3) \text{ in} = 45 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = 48 - \sqrt{(45)^2 - (21)^2}$$

$$= 8,2005 \text{ in}$$

$$OA = td + b + sf = 3/16 \text{ in} + 8,2005 \text{ in} + 1,5 \text{ in}$$

$$= 9,8880 \text{ in} = 0,2510 \text{ m} = 0,8235 \text{ ft}$$

$$H_{liquid} \text{ dalam dished head} = 9,8880 \text{ in} - 3/16 \text{ in} = 9,7005 \text{ in} = 0,2464 \text{ m}$$

$$H_{liquid \ total} = (0,2464 + 1,3521) \text{ m} = 1,5985 \text{ m} = 5,2444 \text{ ft}$$

$$H_{tangki \ total} = H_{shell} + H_{bottom}$$

$$= (1,8288 + 0,2510) \text{ m} = 2,0798 \text{ m} = 6,8234 \text{ ft} \approx 7 \text{ ft} = 2,1336 \text{ m}$$

4. Agitator

Ditetapkan :

- Jenis pengaduk yang digunakan adalah 45° pitched six blade turbine
Dasar pemilihan 45° pitched six blade turbine : speednya tinggi, cocok untuk proses pengadukan liquid dengan viskositas rendah dan sedang (<200 Pa.s).
- Kecepatan agitator adalah 150 rpm

Dasar pemilihan kecepatan 150 rpm : viskositas campuran rendah, alirannya menjadi turbulent, sehingga proses pencampuran susu kedelai dengan larutan gula terjadi dengan cepat.

- Untuk menghindari terjadinya vorteks, digunakan 4 buah baffles

$$Da = 0,4 D = 0,4 \times 1,2192 \text{ m} = 0,4877 \text{ m} = 1,6001 \text{ ft}$$

$$W = \frac{1}{5} Da = \frac{1}{5} \times 0,4877 \text{ m} = 0,0975 \text{ m}$$

$$L = \frac{1}{4} Da = \frac{1}{4} \times 0,4877 \text{ m} = 0,1219 \text{ m}$$

$$C = \frac{1}{3} D = \frac{1}{3} \times 1,2192 \text{ m} = 0,4064 \text{ m}$$

$$J = \frac{1}{12} D = \frac{1}{12} \times 1,2192 \text{ m} = 0,1016 \text{ m}$$

$$\rho_{mixed} = 1068,4644 \text{ kg/m}^3$$

$$sg = \frac{\rho_{mixed}}{\rho_{air(4^\circ C)}} = \frac{1068,4644 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 1,0685$$

$$\text{Jumlah impeler} = \frac{sg \times H}{D} = \frac{1,0685 \times 1,5985}{1,2192} = 1,401 \approx 1 \text{ buah}$$

$$\mu_{mixed} = \mu_{air(\text{suhu } 70^\circ C)} = 0,4061 \cdot 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 0,9824 \text{ lb/ft.jam} [28, p.862]$$

$$\text{Kecepatan pengadukan} = \pi \times Da \times N = 3,14 \times 0,4877 \times 150 = 229,7067 \text{ m/menit}$$

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan dari 28, p.145 :

$$N_{Re} = \frac{(150/60) \text{ putaran/dtk} \times (0,4877)^2 \text{ m}^2 \times 1068,4644 \text{ kg/m}^3}{0,4061 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 1564489,263$$

Nilai N_p dapat dicari dari 28, grafik 3.4-4, p.145. Untuk nilai $N_{Re} = 1564489,263$, dan jenis agitator 45° pitched six blade turbine (kurva 3), maka didapatkan nilai $N_p = 1,2$.

Power untuk 1 buah pengaduk :

$$\begin{aligned} P &= 1,2 \times 1068,4644 \times (150/60)^3 \times 0,4877^5 \\ &= 552,7454 \text{ W} = 0,5527 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari 41, fig.14-38, p.521, efisiensi motor = 80 %

$$\text{Power yang dibutuhkan} = \frac{0,5527}{0,8} \text{ kW} = 0,6909 \text{ kW} = 0,9270 \text{ hp} \approx 1 \text{ hp}$$

Dari 28, p.148, power yang dibutuhkan untuk *vigorous agitation* : (0,4 – 0,6) kW/m³.

$$\text{Power} = \frac{0,6909 \text{ kW}}{1,5779 \text{ m}^3} = 0,4379 \text{ kW/m}^3 \text{ (memenuhi)}$$

5. Jaket Pemanas

Ditetapkan :

- Steam yang digunakan adalah *saturated steam* 4,5 bar dengan suhu 148°C.
- Nilai Rd ditetapkan 0,001. [38, p.845]

Koefisien perpindahan panas konveksi di dalam *mixer II* dihitung dengan persamaan D.8 yakni sebagai berikut :

$$h_j = \frac{j \times k}{D_j} \times \left(\frac{c_p \times \mu}{k} \right)^{\frac{1}{3}} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

Data Cp pada suhu operasi dapat dihitung dengan persamaan C.9 yakni :

$$Cp \text{ protein} = 2,0082 + 1,2089 \cdot 10^{-3} (70) - 1,3129 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 2,0863 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$Cp \text{ lemak} = 1,9842 + 1,4733 \cdot 10^{-3} (70) - 4,8008 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 2,0638 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$Cp \text{ karbohidrat} = 1,5488 + 1,9625 \cdot 10^{-3} (70) - 5,9399 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 1,6571 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$Cp \text{ ash} = 1,0926 + 1,8896 \cdot 10^{-3} (70) - 3,6817 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 1,2068 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$Cp \text{ air} = 4,1762 - 9,0864 \cdot 10^{-5} (70) + 5,4731 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 4,1967 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$NaHCO_3 = 1,0048 + 1,675 \times 10^{-3} (70) = 1,1221 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$Cp \text{ larutan gula} = Cp \text{ air} = 4,1967 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}$$

$$Cp \text{ mixed} = Fraksi massa komponen \times Cp \text{ komponen}$$

$$\begin{aligned} & \left(\frac{197,83}{6744,06} \times 2,086 \right) + \left(\frac{107,39}{6744,06} \times 2,063 \right) + \left(\frac{102,3}{6744,06} \times 1,657 \right) + \\ & = \left(\frac{15,26}{6744,06} \times 1,207 \right) + \left(\frac{2,61}{6744,06} \times 1,1221 \right) + \left(\frac{5229,42}{6744,06} \times 4,197 \right) \\ & + \left(\frac{1089,24}{6744,06} \times 4,197 \right) \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$= 4,0546 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C} = 0,9685 \text{ btu/lb.}^\circ\text{F}$$

Data k pada suhu operasi dapat dihitung dengan persamaan C.10 sebagai berikut :

$$k \text{ protein} = 1,7881 \cdot 10^{-1} + 1,1958 \cdot 10^{-3} (70) - 2,7178 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 0,2492 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$k \text{ lemak} = 1,8071 \cdot 10^{-1} - 2,7604 \cdot 10^{-3} (70) - 1,7749 \cdot 10^{-7} (70)^2 = -0,0134 \text{ W/m.}^\circ\text{C}$$

$$\begin{aligned} k_{ash} &= 3,2962 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} (70) - 6,7036 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 0,4135 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\ k_{air} &= 5,7109 \cdot 10^{-1} + 1,7625 \cdot 10^{-3} (70) - 6,7036 \cdot 10^{-6} (70)^2 = 0,6616 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \\ k_{karbohidrat} &= 2,0141 \cdot 10^{-1} + 1,3874 \cdot 10^{-3} (70) - 4,3312 \cdot 10^{-6} (70)^2 \\ &= 0,2773 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$k_{NaHCO_3} = k_{air} = 0,6616 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$$

$$k_{larutan\ gula} = k_{air} = 0,6616 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C}$$

$$k_{mixed} = \frac{\sum_i X_i^m / \rho_i}{\sum_i X_i^m / \rho_i} \times k_{komponen}$$

ρ komponen dihitung dengan persamaan D.5 yakni :

$$\begin{aligned} \rho_{protein} &= 1,3299 \cdot 10^3 - 5,1840 \cdot 10^{-1} (70) = 1293,6120 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{lemak} &= 9,2559 \cdot 10^2 - 4,1757 \cdot 10^{-1} (70) = 896,3601 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{karbohidrat} &= 1,5991 \cdot 10^3 - 3,1046 \cdot 10^{-1} (70) = 1577,3678 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{ash} &= 2,4238 \cdot 10^3 - 2,8063 \cdot 10^{-1} (70) = 2404,1559 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{NaHCO_3} &= 2200 \text{ kg/m}^3 \\ \rho_{larutan\ gula} &= 1327,4359 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sum_i X_i^m / \rho_i &= \frac{0,0293}{1293,612} + \frac{0,0159}{896,3601} + \frac{0,0152}{1577,3678} + \frac{0,0023}{2404,1559} \\ &\quad + \frac{0,0004}{2200} + \frac{0,7754}{978,9888} + \frac{0,1615}{1327,4359} \\ &= 9,4 \times 10^{-4} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\left(\frac{2,3 \times 10^{-5}}{0,00094} \times 0,2492 \right) + \left(\frac{1,8 \times 10^{-5}}{0,00094} \times -0,0134 \right) + \left(\frac{9,6 \times 10^{-6}}{0,00094} \times 0,2773 \right) + \\ &= \left(\frac{9,6 \times 10^{-7}}{0,00094} \times 0,4135 \right) + \left(\frac{1,8 \times 10^{-7}}{0,00094} \times 0,6616 \right) + \left(\frac{7,9 \times 10^{-4}}{0,00094} \times 0,6616 \right) + \\ &\quad \left(\frac{1,22 \times 10^{-4}}{0,00094} \times 0,6616 \right) \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$k_{mixed} = 0,6511 \text{ W/m.}^{\circ}\text{C} = 0,1147 \text{ btu/jam.ft.}^{\circ}\text{F}$$

Untuk nilai $N_{Re} = 1564489,263$, maka dari 38, grafik 20.2, p.718. didapatkan $j = 1420$. Dengan persamaan C.8, dihitung nilai h_j sebagai berikut :

$$\mu_{mixed} = \mu_w = 0,4061 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 0,9824 \text{ lb/ft.jam} \quad [28, \text{ p.862}]$$

$$h_j = \frac{1420 \times 0,1147}{4} \times \left(\frac{0,9685 \times 0,9824}{0,1147} \right)^{\frac{1}{3}} \times (1)^{0,14} = 82,4206 \text{ btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

$$h_{steam} = 1500 \text{ btu/jam.ft}^2.\text{°F} \quad [38, \text{ p.164}]$$

$$U_c = \frac{82,4206 \times 1500}{82,4206 + 1500} = 78,1278 \text{ btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_c} + Rd} = \frac{1}{\frac{1}{78,1278} + 0,001} \text{ btu/jam.ft}^2.\text{°F}$$

$$= 72,4661 \text{ btu/jam.ft}^2.\text{°F} = 1481,3439 \text{ kJ/h.m}^2.\text{°C}$$

Dengan persamaan C.11, dapat dihitung luas permukaan jaket sebagai berikut :

$$\ln \left(\frac{148^\circ\text{C} - 59,6234^\circ\text{C}}{148^\circ\text{C} - 70^\circ\text{C}} \right) = \frac{1481,3439 \text{ kJ/h.m}^2.\text{°C} \times A \times 15 \text{ menit}}{6744,06 \text{ kg/jam} \times 15 \text{ menit} \times 4,0546 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{C}}$$

$$A = 2,3056 \text{ m}^2$$

$$\text{Tinggi jaket} = \frac{A}{\pi \times OD_{shell}} = \frac{2,3056 \text{ m}^2}{3,14 \times 1,2192 \text{ m}} = 0,6022 \text{ m}$$

Tinggi jaket (0,6022 m) lebih kecil dari tinggi *liquid* di *mixer I* (1,5985 m) jadi jaket yang dipakai memenuhi.

Jaket *spacing* (Js) dihitung dengan cara:

$$2,3056 \text{ m}^2 = \pi \times D_s \times H_{liq \text{ dlm shell}}$$

$$2,3056 \text{ m}^2 = 3,14 \times D_s \times 1,3521 \text{ m}$$

$$D_s = 0,5431 \text{ m} \text{ (dimana } D_s = D_{jaket} - OD_{shell})$$

$$D_{jaket} = 0,5431 \text{ m} + 1,2192 \text{ m}$$

$$= 1,7623 \text{ m}$$

$$D_{jaket} = OD_{shell} + 2 Js$$

$$1,7623 \text{ m} = 1,2192 \text{ m} + 2 Js$$

$$Js = 0,2715 \text{ m}$$

Waktu tinggal *steam* dalam jaket dihitung sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \lambda 4,5 \text{ bar} &= 2644,71 - 538,09 \text{ kJ/kg} \\ &= 2106,62 \text{ kJ/kg} \end{aligned} \quad [28, \text{ p.858}]$$

$$\rho_{steam \text{ 1 atm}} (148^\circ\text{C}) = 0,526 \text{ kg/m}^3 \quad [28, \text{ p.863}]$$

$$\rho_{steam} \text{ 4,5 bar} = \frac{4,5 \text{ bar}}{1,01325 \text{ bar}} \times 0,526 \text{ kg/m}^3 = 2,3360 \text{ kg/m}^3$$

Q_{steam} dari perhitungan neraca panas di mixer II = 257195,26 kJ/jam.

$$\text{massa steam} = \frac{257195,26 \text{ kJ/jam}}{2106,62 \text{ kJ/kg}} = 122,0891 \text{ kg/jam}$$

$$\text{debit steam} = \frac{122,0891 \text{ kg/jam}}{2,3360 \text{ kg/m}^3} = 52,2642 \text{ m}^3/\text{jam Js}$$

$$\begin{aligned} \text{volume jaket} &= \frac{\pi}{4} \times \left(D_j^2 - O D_{shell}^2 \right) \times H_{liq\,dlm\,shell} + \frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times \left(D_j^2 - O D_{shell}^2 \right) \times J_s \\ &= \frac{\pi}{4} \times (1,7623^2 - 1,2192^2) \times 1,3521 + \frac{\pi}{12} \times (1,7623^2 - 1,2192^2) \times 0,2715 \\ &= (2,0023 + 0,1150) \text{ m}^3 = 2,1173 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\text{Waktu tinggal steam} = \frac{2,1173 \text{ m}^3}{52,2642 \text{ m}^3/\text{jam}} = 0,0405 \text{ jam} = 2,4307 \text{ menit} \quad \text{volume tangki}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas mixer I} &= \frac{\text{volume tangki (m}^3\text{)}}{0,25 \text{ jam}} \\ &= \frac{1,9724 \text{ m}^3}{0,25 \text{ jam}} = 7,8896 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat:

- Nama = mixer II
- Fungsi = untuk mencampur larutan gula dengan susu kedelai
- Bahan konstruksi = SA-240 tipe 304, grade S
- Kapasitas = 7,8896 m³/jam
- Diameter = 1,2192 m
- Tinggi shell = 1,8288 m
- Tinggi tutup bawah = 0,2510 m
- Tinggi tangki total = 2,1336 m
- Tebal shell = 3/16 in
- Tebal bottom = 3/16 in
- Pengaduk = Jenis : 45° pitched six blade turbine

	Diameter	: 0,4877 m
	Kecepatan pengadukan	: 229,7067 m/menit
	Power	: 1 hp
	Jumlah pengaduk	: 1 buah
- Jaket pemanas	= Luas permukaan	: 2,3056 m ²
	Tinggi jaket pemanas	: 0,6022 m
	Jaket spacing	: 0,2715 m
- Jumlah tangki	= 1 buah	

22. Tangki pelarutan gula (M-231)

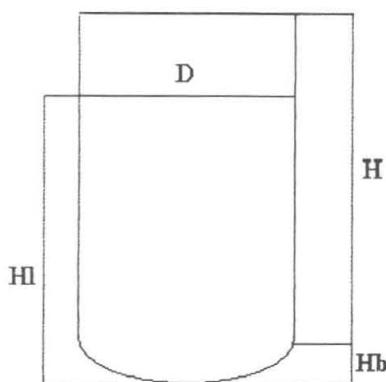
Fungsi : untuk melarutkan gula di dalam air pelarut

Tipe : silinder tegak berpengaduk dengan tutup atas *flat* dan tutup bawah *torispherical*.

Dasar pemilihan : cocok untuk pencampuran *liquid – solid*

Perhitungan :

1. Volume Tangki



Keterangan:

D = diameter *shell*

H = tinggi *shell*

Hb = tinggi *bottom*

Hl = tinggi padatan

Direncanakan waktu tinggal selama 10 menit (0,1667 jam).

T operasi = 30 °C

$$\begin{aligned}\text{Massa alir gula} &= 745,31 \text{ kg/jam} \\ \rho \text{ gula} &= 1588 \text{ kg/m}^3 \\ V \text{ gula} &= \frac{745,31 \text{ kg/jam}}{1588 \text{ kg/m}^3} \times 0,1677 \text{ jam} = 0,0787 \text{ m}^3\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{Massa alir air} &= 343,93 \text{ kg/jam} \\ \rho \text{ air} &= 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (30) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (30)^2 \\ &= 993,8926 \text{ kg/m}^3 \\ V \text{ air} &= \frac{343,93 \text{ kg/jam}}{993,8926 \text{ kg/m}^3} \times 0,1667 \text{ jam} = 0,0577 \text{ m}^3 \\ V \text{ larutan gula} &= V \text{ gula} + V \text{ air} \\ &= (0,0787 + 0,0577) \text{ m}^3 = 0,1364 \text{ m}^3 = 4,8167 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

Asumsi volume larutan gula = 80 % dari volume tangki

$$\begin{aligned}\text{Volume tangki} &= \frac{100}{80} \times \text{volume larutan gula} = \frac{100}{80} \times 0,1364 \text{ m}^3 \\ &= 0,1705 \text{ m}^3 = 6,0209 \text{ ft}^3\end{aligned}$$

2. Dimensi dan Tebal *Shell*

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi *mixer* adalah *stainless steel* tipe 304 (SA-240 grade S)
- *Allowable stress value* dari SA-240 adalah 18750 psi [37, p.342]
- *Corrosion allowance (c)* adalah 3 mm [41, p.556]
- Las yang digunakan : *double welded butt joint*, efisiensi 0,85 [37, p.46]
- $\frac{H_{shell}}{D_{shell}} = \frac{1,5}{1}$

Volume tangki = volume *shell* + volume *bottom*

$$\begin{aligned}6,0209 \text{ ft}^3 &= \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H \right) + 0,000049 D^3 \\ &= \left(\frac{1,5 \times \pi}{4} \times D^3 \right) + (0,000049 D^3)\end{aligned}$$

$$D = 1,7227 \text{ ft} \approx 2 \text{ ft} = 0,6096 \text{ m} = 24 \text{ in}$$

$$H_{shell} = 1,5 \times 0,6096 \text{ m} = 0,9144 \text{ m} \approx 3 \text{ ft}$$

H_{liquid} dalam *shell* dicari dengan persamaan :

$$\text{Volume } liquid = \text{volume } shell + \text{volume } bottom$$

$$0,1364 \text{ m}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{liquid} \right) + 0,000049 D^3$$

$$0,1364 \text{ m}^3 = \left(\frac{\pi}{4} \times (0,6096)^2 \times H_{liquid} \right) + 0,000049 (0,6096)^3$$

$$H_{liquid} = 0,4676 \text{ m} = 1,5341 \text{ ft}$$

$$P_{operasi} = \left(\frac{62,37 \times 1,5341}{144} \right) \text{ lb/in}^2 = 0,6645 \text{ lb/in}^2 = 0,6645 \text{ psi}$$

$$P_{design} = 1,2 \times P_{operasi} = 1,2 \times 0,6645 \text{ psi} = 0,7974 \text{ psi}$$

Dengan menggunakan persamaan C.1, maka :

$$t_s = \frac{P \times R}{SE - 0,6P} + c$$

$$t_s = \frac{0,7974 \text{ psi} \times 1 \text{ ft}}{((18750 \text{ psi} \times 0,85) - (0,6 \times 0,7974 \text{ psi})) \times 3,2808 \text{ ft/m}} + 3 \text{ mm}$$

$$= 0,0000153 \text{ m} + 3 \text{ mm} = (0,0153 + 3) \text{ mm} = 3,0153 \approx \frac{3}{16} \text{ "}$$

$$OD = ID + (2 \times t_s) = 24 \text{ in} + (2 \times \frac{3}{16}) \text{ in} = 24,375 \text{ in}$$

3. Tebal Head, Bottom dan Tinggi Bottom

$$\text{Tebal head} = t_{shell} = \frac{3}{16} \text{ "}$$

Tebal *bottom* dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

OD = 24,375 in \approx 24 in (distanarisasi dari 37, p.89), sehingga dari 37, tabel 5.7,

hal. 90 didapatkan data $r = 24$ in dan $icr = 1,5$ in. Untuk $t_s = \frac{3}{16}$ ", berdasarkan 37,

tabel 5.8, p.93, didapatkan data $sf = 1,5$ in.

Dengan menggunakan persamaan C.3, maka :

$$t_d = \frac{P \times r \times W}{2SE - 0,2P} + c$$

$$W = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right) = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{24 \text{ in}}{1,5 \text{ in}}} \right) = 1,75$$

$$t_d = \frac{0,7974 \text{ psi} \times 24 \text{ in} \times 1,75}{(2 \times 18750 \text{ psi} \times 0,85) - (0,2 \times 0,7974 \text{ psi})} + 3 \text{ mm}$$

$$= 0,00105 \text{ in} + 3 \text{ mm} = (0,0267 + 3) \text{ mm} = 3,0267 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} "$$

Dengan menggunakan persamaan C.4, dihitung tinggi *bottom* sebagai berikut :

$$AB = ID/2 - icr = (12 - 1,5) \text{ in} = 10,5 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (24 - 1,5) \text{ in} = 22,5 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = 24 - \sqrt{(22,5)^2 - (10,5)^2} = 4,1003 \text{ in}$$

$$OA = td + b + sf = (3/16 + 4,1003 + 1,5) \text{ in}$$

$$= 5,7878 \text{ in} = 0,4823 \text{ ft} = 0,1470 \text{ m}$$

$$H_{liquid} \text{ dalam dished head} = (5,7878 - 3/16) \text{ in} = 5,6003 \text{ in} = 0,1423 \text{ m}$$

$$H_{liquid total} = (0,1423 + 0,4676) \text{ m} = 0,6099 \text{ m}$$

$$H \text{ tangki total} = H \text{ shell} + H \text{ bottom}$$

$$= (3 + 0,4823) \text{ ft} = 3,4823 \text{ ft} \approx 4 \text{ ft} = 1,2192 \text{ m}$$

4. Agitator

Ditetapkan :

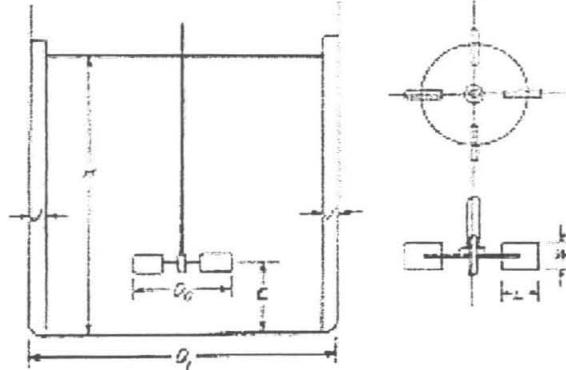
- Jenis pengaduk yang digunakan adalah 45° pitched six blade turbine

Dasar pemilihan 45° pitched six blade turbine : speednya tinggi, cocok untuk proses pengadukan liquid dengan viskositas rendah dan sedang (<200 Pa.s).

- Kecepatan agitator adalah 150 rpm

Dasar pemilihan kecepatan 150 rpm : viskositas larutan rendah, alirannya menjadi turbulent, sehingga gula akan cepat larut.

- Untuk mencegah timbulnya vorteks, maka digunakan 4 buah baffles.



Berdasarkan perbandingan sistem agitator standar dari 28, tabel 3.4-1, p.144 maka didapatkan nilai-nilai sebagai berikut :

$$Da = 0,4 D = 0,4 \times 0,6096 \text{ m} = 0,2438 \text{ m} = 0,7999 \text{ ft}$$

$$W = \frac{1}{5} Da = \frac{1}{5} \times 0,2438 \text{ m} = 0,0488 \text{ m}$$

$$L = \frac{1}{4} Da = \frac{1}{4} \times 0,2438 \text{ m} = 0,0610 \text{ m}$$

$$C = \frac{1}{3} D = \frac{1}{3} \times 0,6096 \text{ m} = 0,2032 \text{ m}$$

$$J = \frac{1}{12} D = \frac{1}{12} \times 0,6096 \text{ m} = 0,0508 \text{ m}$$

Berdasarkan persamaan C.5 dapat dihitung ρ larutan gula sebagai berikut :

$$\rho_{\text{gula}} = 1588 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{air}} = 9,9718 \cdot 10^2 + 3,1439 \cdot 10^{-3} (30) - 3,7574 \cdot 10^{-3} (30)^2$$

$$= 993,8926 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_{\text{mixed}} = \frac{1}{(0,6842/1588) + (0,3158/993,8926)} = 1335,8323 \text{ kg/m}^3$$

$$sg = \frac{\rho_{\text{mixed}}}{\rho_{\text{air}} (4^\circ \text{C})} = \frac{1335,8323 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 1,3358$$

$$\text{Jumlah impeler} = \frac{sg \times H}{D} = \frac{1,3358 \times 0,6099}{0,6096} = 1,3365 \approx 1 \text{ buah}$$

$$\text{Kecepatan pengadukan} = \pi \cdot Da \cdot N = \pi \times 0,2438 \times 150 = 114,8298 \text{ m/menit}$$

Power yang dibutuhkan dihitung dengan persamaan dari 28, p.145 :

$$\mu_{\text{larutan gula}} = 34,01 \text{ cp} = 0,03401 \text{ kg/m.s} \quad [33, 7^{\text{th}} \text{ed}, \text{table. 2-366, p.2-324}]$$

Nilai N_{Re} dihitung dengan persamaan C.6 :

$$N_{\text{Re}} = \frac{(150 / 60) \text{ putaran/dt} \ k \times (0,2438)^2 \text{ m}^2 \times 1335,8323 \text{ kg/m}^3}{0,03401 \text{ kg/m.s}}$$

$$N_{\text{Re}} = 5836,50310$$

Nilai N_p dapat dicari dari 28, grafik 3.4-4, p.145. Untuk nilai $N_{\text{Re}} = 5836,50310$, dan jenis agitator 45° pitched six blade turbine (kurva 3), maka didapatkan nilai $N_p = 1,2$

Power agitator dihitung dengan persamaan dari 28, p.145 :

$$\begin{aligned} P &= Np \times \rho \times N^3 \times Da^5 \\ &= 1,2 \times 1335,8323 \text{ kg/m}^3 \times (150/60)^3 \times (0,2438)^5 \text{ m}^5 \\ &= 21,5736 \text{ W} = 0,0216 \text{ kW} \end{aligned}$$

Dari 41, fig 14-38, hal. 521, efisiensi motor = 80 %, maka

$$\text{Power yang dibutuhkan} = \frac{0,0216}{0,8} \text{ kW} = 0,0269 \text{ kW} = 0,0361 \text{ hp} \approx 0,25 \text{ hp}$$

Dari 28, p.148, power yang dibutuhkan untuk *mild agitation* : (0,1 - 0,2) kW/m³

$$\text{Power} = \frac{0,0269 \text{ kW}}{0,1364 \text{ m}^3} = 0,1972 \text{ kW/m}^3 \text{ (memenuhi)}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas tangki pelarutan gula} &= \frac{\text{volume tangki (m}^3\text{)}}{0,167 \text{ jam}} \\ &= \frac{0,1705 \text{ m}^3}{0,167 \text{ jam}} = 1,0210 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

Spesifikasi alat:

- Nama = tangki pelarutan gula
- Fungsi = untuk melarutkan gula dengan air bersuhu 30°C
- Bahan konstruksi = SA-240 tipe 304, grade S
- Kapasitas = 1,0210 m³/jam
- Diameter = 0,6096 m
- Tinggi *shell* = 0,9144 m
- Tinggi tutup bawah = 0,1470 m
- Tinggi tangki total = 1,2192 m
- Tebal *shell* = 3/16 in
- Tebal *bottom* = 3/16 in
- Pengaduk = Jenis : 45° pitched six blade turbine
Diameter : 0,2438 m
Kecepatan pengadukan : 114,8928 m/menit
Power : 0,25 hp
Jumlah pengaduk : 1 buah
- Jumlah tangki = 1 buah

23. Heat Exchanger I (E-223)

Fungsi : memanaskan air sebelum masuk *Mixer NaHCO₃* (M-121), dan *Mixer I* (M-210) dengan media pemanas *steam*.

Tipe : *Plate Heat Exchanger*

Dasar pemilihan : luas permukaan perpindahan panas tinggi, *maintenance* mudah, banyak digunakan di industri makanan, membutuhkan *space* yang kecil serta harganya murah.

Perhitungan :

1. Data (*physical properties*) dari fluida panas dan fluida dingin

- Fluida panas (*steam*)

Steam yang digunakan adalah *saturated steam* 4,5 bar dengan T = 148°C

- Fluida dingin (air dari unit utilitas)

$$\text{Massa alir (m}_2\text{)} = 7652,13 \text{ kg/jam} = 16869,88 \text{ lb/hr}$$

$$\text{Suhu masuk (t}_1\text{)} = 30^\circ\text{C}$$

$$\text{Suhu keluar (t}_2\text{)} = 70^\circ\text{C}$$

$$\text{Suhu rata-rata (t}_{\text{ave}}\text{)} = 50^\circ\text{C}$$

$$Cp_2 = 4,183 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{K} = 0,9991 \text{ btu/lb.}^\circ\text{F}$$

$$\mu_2 = 0,5494 \text{ cp} = 1,3291 \text{ lb/ft.h}$$

$$k_2 = 0,3696 \text{ btu/h.ft.}^\circ\text{F}$$

$$\rho_2 = 988,07 \text{ kg/m}^3$$

2. Perhitungan *Overall Heat Transfer Coefficient*

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi untuk *plate heat exchanger* adalah *stainless steel* tipe 316
- As (luas perpindahan panas per *plate*) = 0,0733 m² = 0,7887 ft²
- W (lebar *plate*) = 178 mm
- L (panjang *plate*) = 735 mm
- d *port* = 79 mm
- δ (tebal dinding *plate*) = 0,8 mm = 0,0026 ft
- b (spasi *plate* rata-rata) = 4 mm
- φ = 1,17

- $\Delta P = 0,1 \text{ psi}$ [48]

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} = \frac{(148 - 30)^\circ\text{C} - (148 - 70)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{(148 - 30)^\circ\text{C}}{(148 - 70)^\circ\text{C}}\right)}$$

$$= 97,56^\circ\text{C}$$

$$d_e (\text{hydraulic diameter}) = \frac{2b}{\phi} = \frac{2 \times 4 \text{ mm}}{1,17} = 6,8376 \text{ mm} = 0,0224 \text{ ft}$$

FLUIDA PANAS	FLUIDA DINGIN
$h_{steam} = 1500 \text{ btu/hr.ft}^2.\text{ }^\circ\text{F}$ (Kern, p.164)	$J_1 = \frac{2,5 \times (\mu_2)^{0,3}}{2 \times \Delta P} = \frac{2,5 \cdot (1,3291)^{0,3}}{2,0,1} = 13,614$ $J_2 = 0,28 \cdot \left(\frac{Cp_2 \cdot \mu_2}{k_2} \right)^{0,4} \cdot k_2 \cdot (\mu_2)^{-0,65}$ $= 0,28 \cdot \left(\frac{0,9991 \cdot 1,3291}{0,3696} \right)^{0,4} \cdot 0,3696 \cdot (1,3291)^{-0,65}$ $= 0,1435$ $h_2 = \frac{J_2}{J_1^{0,241}} \times \frac{m_2}{As} \times d_e^{-0,28}$ $= \frac{0,1435}{(13,614)^{0,241}} \cdot \frac{16869,88}{0,7887} \cdot (0,0224)^{-0,28}$ $= 4737,99 \text{ btu/h.ft}^2.\text{ }^\circ\text{F}$

$$T_w = \frac{T_{steam} + T_{ave}}{2} = \frac{148^\circ\text{C} + 50^\circ\text{C}}{2} = 99^\circ\text{C} = 372^\circ\text{K}$$

$$k \logam pada T_w = 14,69 \text{ W/m.K} = 8,49 \text{ btu/h.ft. }^\circ\text{F}$$
 [49]

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{\delta}{k} = \frac{1}{1500} + \frac{1}{4737,99} + \frac{0,0026}{8,49} = 0,0012$$

$$U = 844,62 \text{ btu/h.ft}^2.\text{ }^\circ\text{F}$$

Asumsi : U_{design} lebih besar daripada U_{clean} yakni sebesar 10%

$$U_{design} = 1,1 \times 844,62 \text{ btu/h.ft}^2.\text{ }^\circ\text{F} = 929,08 \text{ btu/h.ft}^2.\text{ }^\circ\text{F}$$

$$= 18992,10 \text{ kJ/jam.m}^2.\text{ }^\circ\text{C}$$

3. Perhitungan Jumlah Plate

$$A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{1339123,55 \text{ kJ/jam}}{18992,10 \text{ kJ/jam.m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 96,62 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0,73 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah plate} = \frac{A}{A_s} = \frac{0,73 \text{ m}^2}{0,0733 \text{ m}^2} = 9,96 \approx 10 \text{ buah}$$

4. Pengecekan Pressure Drop

ΔP dalam channel	ΔP dalam port
$N_p = 1$ $N_c = 7,5$ $S_c = W.b = 178 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm}$ $= 0,000712 \text{ m}^2$ $G = \frac{M}{N_c \times S_c} = \frac{7652,13}{7,5 \times 0,00071} = 404,87 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ $N_{Re} = \frac{G \times de}{\mu} = \frac{404,87 \times 6,8376 \text{ mm}}{0,5494 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 5038,90$ $f = \frac{1,17}{N_{Re}^{0,27}} = \frac{1,17}{(5038,90)^{0,27}} = 0,12$ $\Delta P = \frac{2f \times G \times L}{\rho \times de}$ $= \frac{2 \times 0,12 \times 404,87 \times 0,735}{988,07 \times 0,0068376} = 10,32 \text{ Pa}$	$D_{port} = 79 \text{ mm}$ $A_{port} = \frac{\pi}{4} \times (79)^2 = 0,0049 \text{ m}^2$ $G' = \frac{M}{A_{port}} = \frac{7652,13}{0,0049} = 433,79 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$ $N_{Re} = \frac{G' \times de}{\mu} = \frac{433,79 \times 6,8376 \text{ mm}}{0,5494 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s}} = 5398,82$ $f = \frac{1,17}{N_{Re}^{0,27}} = \frac{1,17}{(5398,82)^{0,27}} = 0,11$ $\Delta P = \frac{2f \times G \times L}{\rho \times de}$ $= \frac{2 \times 0,11 \times 433,79 \times 0,735}{988,07 \times 0,0068376} = 10,85 \text{ Pa}$

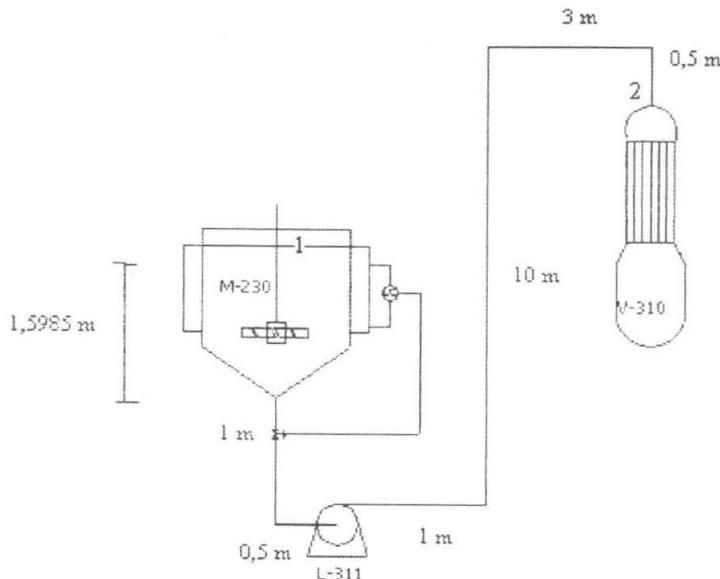
$$\Delta P_{total} = \Delta P \text{ dalam channel} + \Delta P \text{ dalam port} = (10,32 + 10,85) \text{ Pa}$$

$$= 21,16 \text{ Pa} = 0,003 \text{ psi}$$

Spesifikasi alat :

- Tipe = Plate Heat Exchanger
- Operasi = kontinu
- Luas perpindahan panas per plate = $0,0733 \text{ m}^2$
- Lebar plate = 178 mm
- Panjang plate = 735 mm
- Jumlah plate = 10 buah
- Bahan konstruksi = Stainless steel 316
- Jumlah alat = 1 buah

24. Pompa (L-311)



Fungsi : mengalirkan susu kedelai dari *mixer II* (M-230) ke *evaporator* (V-310)

Perhitungan :

$$\rho_{mixed} = 1068,4644 \text{ kg/m}^3 = 66,7038 \text{ lbm/ft}^3 \quad (\text{dari perhitungan di } Mixer II)$$

$$\text{Rate volumetrik} = \frac{6744,06 \text{ kg/jam}}{1068,4644 \text{ kg/m}^3} = 6,3119 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 0,0619 \text{ ft}^3/\text{s} = 27,7844 \text{ gal/menit}$$

$$\mu \text{ susu kedelai} = 0,4061 \times 10^{-3} \text{ kg/m.s} = 2,73 \cdot 10^{-4} \text{ lbm/ft.s}$$

Trial : aliran turbulent sehingga :

$$D_{i,opt} = 3,9 \times Q_f^{0,45} \times \rho^{0,13} \quad [41]$$

$$= 3,9 \times 0,0619^{0,45} \times 66,7038^{0,13}$$

$$= 1,9244 \text{ in}$$

Dipilih steel pipe (IPS) berukuran 2 in sch 40 :

$$ID = 2,067 \text{ in} = 0,1722 \text{ ft}$$

$$OD = 2,375 \text{ in}$$

$$A = 0,0233 \text{ ft}^2 \quad [28]$$

$$\text{Kecepatan linear} = \frac{0,0619 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,0233 \text{ ft}^2} = 2,6566 \text{ ft/s}$$

$$N_{Re} = \frac{\rho \times ID \times v}{\mu} = \frac{66,7038 \times 0,1722 \times 2,6566}{2,7 \times 10^{-4}} = 113162,25 \text{ (turbulent)}$$

Persamaan Bernoulli :

$$\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{g}{g_c} (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 \quad [28]$$

Perhitungan ΣF :

1. Losses karena kontraksi, hc, hex

$$Kc = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

Karena $A_1 \gg A_2$ maka (A_2/A_1) diabaikan, sehingga :

$$Kc = 0,55 \times (1-0) = 0,55$$

$$hc = Kc \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc}$$

$$= 0,55 \times \frac{2,66^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,06 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$hex = \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot gc}$$

$$hex = \frac{2,66^2}{2 \times 1 \times 32,174} = 0,1099 \text{ ft.lbf/lbm}$$

2. Losses karena friksi pada pipa lurus, F_f

Digunakan pipa *commercial steel*, dari 26, fig.2.10-3 :

$$\epsilon = 0,00015 \text{ ft},$$

$$\epsilon/ID = 0,00015/0,1722 = 0,00087$$

$$f = 0,0065$$

Penafsiran panjang pipa lurus = 13 m = 42,6504 ft

$$4 \text{ buah } elbow 90^\circ ; Le/D = 35 \quad [28]$$

$$Le = 4 \text{ buah} \times 35 \times 0,1722 \text{ ft} = 24,108 \text{ ft}$$

$$2 \text{ buah } gate valve ; Le/D = 9$$

$$Le = 2 \times 9 \times 0,1722 \text{ ft} = 3,0996 \text{ ft}$$

$$\Delta L = \text{panjang total} = (42,6504 + 24,108 + 3,0996) \text{ ft} = 69,858 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \cdot g_c} \\ &= 4 \times 0,0065 \times \frac{69,858}{0,1722} \times \frac{2,66^2}{2 \cdot 32,174} = 1,1598 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

$$\Sigma F = 1,1598 + 0,06 + 0,1099 = 1,3297 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Delta Z = Z2 - Z1 = (10 - 0,5 \text{ m}) - (1,5985 + 1 \text{ m}) = 6,9015 \text{ m} = 22,6424 \text{ ft}$$

$$P_1 = 1 \text{ atm} = 2116,2281 \text{ lbf/ft}^2$$

$$P_2 = 0,3 \text{ atm}$$

$$\Delta P_{\text{pompa}} = 0,7 \text{ atm} = 1481,3597 \text{ lbf/ft}^2$$

$$\begin{aligned} &\frac{(2,66 \text{ ft/s})^2}{2 \times 1 \times 32,174 \text{ lbm.ft}} + \frac{32,174 \text{ ft/s}^2}{32,174 \text{ lbm.ft}} \times 22,6424 \text{ ft} \\ &+ \frac{1481,3597 \text{ lbf/ft}^2}{66,7038 \text{ lbm/ft}^3} + 1,3297 \text{ ft.lbf/lbm} = -W_s \end{aligned}$$

$$-W_s = 46,29 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Dari 41, fig.14-37, p.520, untuk laju volumetrik air sebesar = 27,7844 gal/menit didapatkan harga : Efisiensi pompa (η) = 52 %

$$\begin{aligned} \text{brake hp} &= \frac{-W_s \times m}{\eta \times 550} & [28] \\ &= \frac{46,29 \times 4,1289}{0,52 \times 550} \\ &= 0,6683 \text{ hp} \end{aligned}$$

Dari 41, fig.14-38, p.521, untuk BHP = 0,66683 hp didapat : Efisiensi motor = 80%

Sehingga dipakai pompa dengan motor = $0,6683 / 0,80 \text{ hp} = 0,8353 \text{ hp} \approx 1 \text{ hp}$

Spesifikasi Alat :

Fungsi : mengalirkan susu kedelai dari mixer II (M-230) ke evaporator (V-310)

Tipe : *centrifugal pump*

Laju aliran pompa : $6,3119 \text{ m}^3/\text{jam}$

Ukuran pipa : 2 in sch 40

Panjang pipa total : 13 m

Fitting : 4 buah *elbow 90°* dan 2 buah *gate valve*

Δz : 7,1479 m

ΔP : 0,7 atm

Power motor : 1 Hp

Bahan konstruksi : *carbon steel*

Jumlah : 1 buah

25. Evaporator (V-310)

Perancangan evaporator dilihat pada tugas khusus appendix E

26. Surface Condenser (E-311)

Fungsi : untuk mengkondensasi uap dari evaporator

Type : *cross flow*

Rate uap = 19901,65 lb/jam

Suhu uap = $95^{\circ}\text{C} = 203^{\circ}\text{F}$

$T_2 = 45^{\circ}\text{C} = 113^{\circ}\text{F}$, $T_1 = 30^{\circ}\text{C} = 86^{\circ}\text{F}$

Kebutuhan air pendingin :

$$G_o = \frac{Q}{500(t_2 - t_1)} = \frac{19901,65 \text{ lb/jam} \times 950 \text{ Btu/lb}}{500 \times (203 - 86)} = 299,3 \text{ gpm}$$

$$A = \frac{500 \times G_o (t_2 - t_1)}{U \times \ln \frac{(T_s - t_1)}{(T_s - t_2)}}$$

$$U = C_{cl} \times C_T \times C_L \times C_t \sqrt{V}$$

Panjang pipa 8 ft dengan ukuran 1 in OD, 1 $\frac{1}{4}$ in triangular pitch

Dari 38, p.307 didapatkan data : $C_{cl} = 0,85$; $C_L = 1$; $C_t = 251$; $C_T = 1$

$$U = 0,85 \cdot 1,1 \cdot 251 \sqrt{8} = 632,3$$

$$A = \frac{500 \times 299,3 (113 - 86)}{632,3 \times \frac{(113 - 86)}{\ln (203 - 86) / (203 - 113)}} = 355,01 \text{ ft}^2 = 32,99 \text{ m}^2$$

$$A = Nt \times \pi \times D \times L$$

$$Nt = \frac{355,01 \text{ ft}^2}{\pi \times 8 \text{ ft} \times (1/12)} = 12 = 14; \text{ Dari 38, tabel 9 diperoleh ID} = 8 \text{ in}$$

$$\Delta P_t = 0,0067 \cdot \frac{V^{1,84}}{d^{1,16}} = 0,0067 \cdot \frac{8^{1,84}}{8^{1,16}} = 0,03 \text{ psi}$$

Spesifikasi alat :

Fungsi : untuk mengkondensasi uap dari evaporator

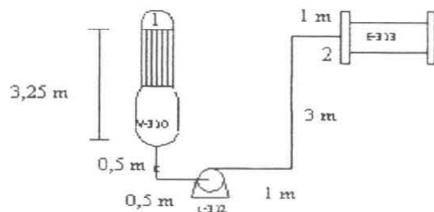
Type : cross flow

ΔP_t : 0,03 psi

Jumlah tube : 14 buah

A : 32,99 m²

27. Pompa (L-312)



Fungsi : mengalirkan susu kental manis dari evaporator (V-310) ke *Plate Heat Exchanger* (E-313) untuk sterilisasi

Perhitungan :

$$\rho \text{ susu kental manis} = 1300 \text{ kg/m}^3 = 81,16 \text{ lbm/ft}^3 \quad [6]$$

$$\text{Massa susu kental manis} = 1672,44 \text{ kg/jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Rate volumetrik} &= \frac{1672,44 \text{ kg/jam}}{1300 \text{ kg/m}^3} = 1,5653 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 0,0154 \text{ ft}^3/\text{s} = 6,8902 \text{ gal/menit} \end{aligned}$$

$$\mu \text{ susu kental manis} = 4,325 \times 10^{-2} \text{ kg/m.s} = 0,0291 \text{ lbm/ft.s} \quad [6]$$

Trial : aliran viscous, sehingga :

$$\begin{aligned} D_{\text{opt}} &= 3 \times Q_f^{0,36} \times \mu^{0,18} & [41] \\ &= 3 \times 0,0154^{0,36} \times 0,0291^{0,18} \\ &= 0,3533 \text{ in} \end{aligned}$$

Dipilih steel pipe (IPS) berukuran $\frac{1}{2}$ in sch 40 :

$$\begin{aligned} \text{ID} &= 0,622 \text{ in} = 0,0518 \text{ ft} \\ \text{OD} &= 0,840 \text{ in} \\ A &= 0,00211 \text{ ft}^2 & [28] \end{aligned}$$

$$\text{Kecepatan linear} = \frac{0,0154 \text{ ft}^3/\text{s}}{0,00211 \text{ ft}^2} = 7,2985 \text{ ft/s}$$

$$N_{\text{Re}} = \frac{\rho \times \text{ID} \times v}{\mu} = \frac{81,16 \times 0,0518 \times 7,2985}{0,0291} = 1055,08 \text{ (laminar)}$$

Persamaan Bernoulli :

$$\frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2 \times \alpha \times g_c} + \frac{g}{g_c} (z_2 - z_1) + \frac{P_2 - P_1}{\rho} + \sum F + W_s = 0 & [28]$$

Perhitungan ΣF :

1. Losses karena kontraksi , hc

$$Kc = 0,55 \times \left(1 - \frac{A_2}{A_1}\right)$$

Dimana : A_1 = luas penampang tangki

A_2 = luas penampang pipa

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

$$Kc = 0,55 \times (1-0) = 0,55$$

$$\begin{aligned} Hc &= Kc \times \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c} \\ &= 0,55 \times \frac{7,2985^2}{2 \times 0,5 \times 32,174} = 0,9106 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

$$\text{hex} = \frac{v^2}{2 \cdot \alpha \cdot g_c}$$

$$\text{hex} = \frac{7,2985^2}{2 \times 0,5 \times 32,174} = 1,6556 \text{ ft.lbf/lbm}$$

2. Losses karena friksi pada pipa lurus, F_f

pada fig.2.10-3 pada Gean didapatkan $f = 0,015$

Penafsiran panjang pipa lurus = 6 m = 19,6848 ft

3 buah *elbow* 90° ; $Le/D = 35$

[28]

$$Le = 3 \text{ buah} \times 35 \times 0,0518 \text{ ft} = 5,439 \text{ ft}$$

2 buah *gate valve*; $Le/D = 9$

$$Le = 2 \times 9 \times 0,0518 \text{ ft} = 0,9324 \text{ ft}$$

$$\Delta L = \text{panjang total} = (19,6848 + 5,439 + 0,9324) \text{ ft} = 26,0562 \text{ ft}$$

$$\begin{aligned} F_f &= 4f \times \frac{\Delta L}{D} \times \frac{v^2}{2 \times g_c} \\ &= 4 \times 0,015 \times \frac{26,0562}{0,0518} \times \frac{7,2985^2}{2 \times 32,174} = 24,9841 \text{ ft.lbf/lbm} \end{aligned}$$

$$\Sigma F = 24,9841 + 1,6556 + 0,9106 = 27,5504 \text{ ft.lbf/lbm}$$

$$\Delta Z = Z_2 - Z_1 = (3,25 + 0,5\text{m}) - (3\text{m}) = 0,75 \text{ m} = 2,4606 \text{ ft}$$

$$\Delta P_{\text{pompa}} = \Delta P \text{ total pada UHT} = 1,36 \times 10^{-4} \text{ atm} = 0,2878 \text{ lbf/ft}^2$$

Sehingga :

$$\begin{aligned} &\frac{(7,2985 \text{ ft/s})^2}{2 \times 1 \times 32,174 \text{ lbm.ft/lbf.s}^2} + \frac{32,174 \text{ ft/s}^2}{32,174 \text{ lbm.ft/lbf.s}^2} \times 2,4606 \text{ ft} \\ &+ \frac{0,2878 \text{ lbf/ft}^2}{81,16 \text{ lbm/ft}^3} + 27,5504 \text{ ft.lbf/lbm} = -W_s \end{aligned}$$

$$-W_s = 31,6701 \text{ ft.lbf/lbm}$$

Dari 41, fig.14-37, p.520, untuk laju volumetrik air sebesar 6,8902 gal/menit didapatkan harga : Efisiensi pompa (η) = 45 %

$$\begin{aligned} \text{brake hp} &= \frac{-W_s \times m}{\eta \times 550} \\ &= \frac{31,6701 \times 1,2498}{0,45 \times 550} \\ &= 0,1599 \text{ hp} \end{aligned} \quad [28]$$

Dari 41, fig.14-38, p.521, untuk BHP = 0,1599 hp didapat : Efisiensi motor = 80%

Sehingga dipakai pompa dengan motor = $0,1599/0,80 \text{ hp} = 0,1999 \text{ hp} \approx 0,25 \text{ hp}$

Spesifikasi Alat :

Fungsi	: mengalirkan susu kental manis dari evaporator (V-310) ke <i>plate exchanger</i> (E-313) untuk sterilisasi
Tipe	: <i>centrifugal pump</i>
Laju aliran pompa	: $1,5653 \text{ m}^3/\text{jam}$
Ukuran pipa	: $\frac{1}{2}$ in sch 40
Panjang pipa total	: 6 m
<i>Fitting</i>	: 3 buah <i>elbow</i> 90° dan 2 buah <i>gate valve</i>
Δz	: 0,75 m
ΔP	: $0,2878 \text{ lbf}/\text{ft}^2$
<i>Power</i> motor	: 0,25 Hp
Bahan konstruksi	: <i>carbon steel</i>
Jumlah	: 1 buah

28. Sterilisator (UHT) (E-313)

Fungsi : memanaskan susu kedelai kental manis dari *evaporator* (V-310) dengan tujuan untuk sterilisasi.

Tipe : *Plate Heat Exchanger*

Dasar pemilihan : luas permukaan perpindahan panas tinggi, *maintenance* mudah, banyak digunakan di industri makanan, membutuhkan *space* yang kecil serta harganya murah.

Perhitungan :

1. Data (*physical properties*) dari fluida panas dan fluida dingin

- Fluida panas (*steam*)

Steam yang digunakan adalah *saturated steam* 4,5 bar dengan $T = 148^\circ\text{C}$

- Fluida dingin (susu kedelai kental manis dari *evaporator*)

Massa alir (m_2) = $1672,44 \text{ kg}/\text{jam} = 3687,06 \text{ lb}/\text{hr}$

Suhu masuk (t_1) = $74,2^\circ\text{C}$

Suhu keluar (t_2) = 140°C

Suhu rata-rata (t_{ave}) = $107,01^\circ\text{C}$

$Cp_2 = 3,85 \text{ kJ}/\text{kg} \cdot \text{K} = 0,92 \text{ btu}/\text{lb} \cdot ^\circ\text{F}$

$$\mu_2 = 4,328 \cdot 10^{-2} \text{ kg/m.s} = 104,69 \text{ lb/ft.h}$$

$$k_2 = 0,538 \text{ W/m}^0\text{K} = 0,31 \text{ btu/h.ft.}^{\circ}\text{F}$$

$$\rho_2 = 1300 \text{ kg/m}^3$$

2. Perhitungan Overall Heat Transfer Coefficient

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi untuk *plate heat exchanger* adalah *stainless steel* tipe 316
- As (luas perpindahan panas per *plate*) = $0,0733 \text{ m}^2 = 0,7887 \text{ ft}^2$
- W (lebar plate) = 178 mm
- L (panjang plate) = 735 mm
- d port = 79 mm
- δ (tebal dinding *plate*) = 0,8 mm = 0,0026 ft
- b (spasi *plate* rata-rata) = 4 mm
- ϕ = 1,17
- ΔP = 0,1 psi

[48]

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} = \frac{(148 - 74,2)^{\circ}\text{C} - (148 - 140)^{\circ}\text{C}}{\ln\left(\frac{(148 - 74,2)^{\circ}\text{C}}{(148 - 140)^{\circ}\text{C}}\right)} = 29,62^{\circ}\text{C}$$

$$d_e \text{ (hydraulic diameter)} = \frac{2b}{\phi} = \frac{2.4 \text{ mm}}{1,17} = 6,8376 \text{ mm} = 0,0224 \text{ ft}$$

FLUIDA PANAS	FLUIDA DINGIN
$h_{steam} = 1500 \text{ btu/hr.ft}^2.{}^{\circ}\text{F}$ [<i>Kern, p.164</i>]	$J_1 = \frac{2,5 \times (\mu_2)^{0,3}}{2 \times \Delta P} = \frac{2,5 \times (104,69)^{0,3}}{2 \times 0,1} = 50,45$ $J_2 = 0,28 \times \left(\frac{Cp_2 \times \mu_2}{k_2} \right)^{0,4} \times k_2 \times (\mu_2)^{-0,65}$ $= 0,28 \times \left(\frac{0,92 \times 104,69}{0,31} \right)^{0,4} \times 0,31 \times (104,69)^{-0,65}$ $= 0,04$ $h_2 = \frac{J_2}{J_1^{0,241}} \times \frac{m_2}{As} \times d_e^{-0,28}$ $= \frac{0,04}{(50,45)^{0,241}} \times \frac{3687,06}{0,7887} \times (0,0224)^{-0,28}$ $= 220,71 \text{ btu/h.ft}^2.{}^{\circ}\text{F}$

$$T_w = \frac{T_{steam} + t_{ave}}{2} = \frac{148^\circ\text{C} + 107,01^\circ\text{C}}{2} = 127,51^\circ\text{C} = 400,51^\circ\text{K}$$

$$k \logam pada T_w = 15,2 \text{ W/m.}^\circ\text{K} = 8,78 \text{ btu/h.ft.}^\circ\text{F} \quad [49]$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{\delta}{k} = \frac{1}{1500} + \frac{1}{220,71} + \frac{0,0026}{8,78} = 0,0055$$

$$U = 182,03 \text{ btu/h.ft}^2.^\circ\text{F}$$

Asumsi : U_{design} lebih besar daripada U_{clean} sebesar 10%

$$U_{design} = 1,1 \times 182,03 \text{ btu/h.ft}^2.^\circ\text{F} = 200,23 \text{ btu/h.ft}^2.^\circ\text{F}$$

$$= 4093,09 \text{ kJ/jam.m}^2.^\circ\text{C}$$

3. Perhitungan Jumlah Plate

$$A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{273974,52 \text{ kJ/jam}}{4093,09 \text{ kJ/jam.m}^2.^\circ\text{C} \times 29,62^\circ\text{C}} = 2,26 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah plate} = \frac{A}{As} = \frac{2,26 \text{ m}^2}{0,0733 \text{ m}^2} = 30,84 \approx 31 \text{ buah}$$

4. Pengecekan Pressure Drop

ΔP dalam channel	ΔP dalam port
$N_p = 1$ $N_c = 7,5$ $S_c = W.b = 178 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm}$ $= 0,000712 \text{ m}^2$ $G = \frac{M}{N_c \times S_c} = \frac{1672,44}{7,5 \times 0,00071}$ $= 88,49 \text{ kg/m}^2.\text{s}$ $N_{Re} = \frac{G \times de}{\mu} = \frac{88,49 \times 6,8376 \text{ mm}}{0,04328 \text{ kg/m.s}}$ $= 13,98$ $f = \frac{1,17}{N_{Re}^{0,27}} = \frac{1,17}{(13,98)^{0,27}} = 0,57$ $\Delta P = \frac{2f \times G \times L}{\rho \times de}$ $= \frac{2 \times 0,57 \times 88,49 \times 0,735}{1300 \times 0,0068376}$ $= 8,40 \text{ Pa}$	$D_{port} = 79 \text{ mm}$ $A_{port} = \pi/4 \times (79)^2 = 0,0049 \text{ m}^2$ $G' = \frac{M}{A_{port}} = \frac{1672,44}{0,0049} = 94,81 \text{ kg/m}^2.\text{s}$ $N_{Re} = \frac{G' \times de}{\mu} = \frac{94,81 \times 6,8376 \text{ mm}}{0,04328 \text{ kg/m.s}}$ $= 14,98$ $f = \frac{1,17}{N_{Re}^{0,27}} = \frac{1,17}{(14,98)^{0,27}} = 0,56$ $\Delta P = \frac{2f \times G \times L}{\rho \times de}$ $= \frac{2 \times 0,56 \times 94,81 \times 0,735}{1300 \times 0,0068376}$ $= 8,83 \text{ Pa}$

$$\begin{aligned}\Delta P_{\text{total}} &= \Delta P_{\text{dalam channel}} + \Delta P_{\text{dalam port}} = (8,40 + 8,33) \text{ Pa} \\ &= 17,23 \text{ Pa} = 0,002 \text{ psi} = 1,36 \times 10^{-4} \text{ atm}\end{aligned}$$

Spesifikasi alat :

- Tipe	= Plate Heat Exchanger
- Operasi	= kontinu
- Luas perpindahan panas per <i>plate</i>	= 0,0733 m ²
- Lebar <i>plate</i>	= 178 mm
- Panjang <i>plate</i>	= 735 mm
- Jumlah <i>plate</i>	= 31 buah
- Bahan konstruksi	= Stainless steel 316
- Jumlah alat	= 1 buah

29. Plate Condenser (E-314)

Fungsi : mendinginkan susu kedelai kental manis dari sterilisasi dengan media air pendingin.

Tipe : *plate heat exchanger*

Dasar pemilihan : luas permukaan perpindahan panas tinggi, *maintenance* mudah, banyak digunakan di industri makanan, membutuhkan *space* yang kecil serta harganya murah.

Perhitungan :

1. Data (*physical properties*) dari fluida panas dan fluida dingin

- Fluida panas (susu kental manis kedelai)

Susu kental manis yang keluar dari sterilisasi

$$T = 140^\circ\text{C}$$

$$\text{Massa alir (m}_1\text{)} = 1672,44 \text{ kg/jam} = 3687,0557 \text{ lb/hr}$$

$$\text{Suhu masuk (T}_1\text{)} = 140^\circ\text{C}$$

$$\text{Suhu keluar (T}_2\text{)} = 45^\circ\text{C}$$

$$\text{Suhu rata-rata (t}_{\text{ave}}\text{)} = 92,5^\circ\text{C}$$

$$Cp_1 = 0,92 \text{ btu/lb.}^\circ\text{F}$$

$$\mu_1 = 104,69 \text{ lb/ft.h}$$

$$k_1 = 00,538 \text{ W/m}^0\text{K} = 0,31 \text{ btu/h.ft.}^\circ\text{F}$$

$$\rho_1 = 1300 \text{ kg/m}^3$$

- Fluida dingin (air dari unit utilitas)

$$\text{Massa alir (m}_2\text{)} = 5632,0293 \text{ kg/jam} = 12416,3757 \text{ lb/hr}$$

$$\text{Suhu masuk (t}_1\text{)} = 30^\circ\text{C}$$

$$\text{Suhu keluar (t}_2\text{)} = 45^\circ\text{C}$$

$$\text{Suhu rata-rata (t}_{\text{avr}}\text{)} = 37,5^\circ\text{C}$$

$$Cp_2 = 4,183 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{K} = 0,9991 \text{ btu/lb.}^\circ\text{F}$$

$$\mu_2 = 0,5494 \text{ cp} = 1,3291 \text{ lb/ft.h}$$

$$k_2 = 0,3696 \text{ btu/h.ft.}^\circ\text{F}$$

$$\rho_2 = 988,07 \text{ kg/m}^3$$

2. Perhitungan *Overall Heat Transfer Coefficient*

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi untuk *plate heat exchanger* adalah *stainless steel* tipe 316
- As (luas perpindahan panas per *plate*) = $0,0733 \text{ m}^2 = 0,7887 \text{ ft}^2$
- W (lebar plate) = 178 mm
- L (panjang plate) = 735 mm
- d port = 79 mm
- δ (tebal dinding *plate*) = 0,8 mm = 0,0026 ft
- b (spasi *plate* rata-rata) = 4 mm
- $\phi = 1,17$
- $\Delta P = 0,1 \text{ psi}$

[48]

$$\Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)} = \frac{(140 - 45)^\circ\text{C} - (45 - 30)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{(140 - 45)^\circ\text{C}}{(140 - 30)^\circ\text{C}}\right)}$$

$$= 102,32^\circ\text{C}$$

$$d_e \text{ (hydraulic diameter)} = \frac{2b}{\phi} = \frac{2 \times 4 \text{ mm}}{1,17} = 6,8376 \text{ mm} = 0,0224 \text{ ft}$$

FLUIDA PANAS	FLUIDA DINGIN
$J_1 = \frac{2,5 \times (\mu_1)^{0,3}}{2 \times \Delta P} = \frac{2,5 \cdot (104,69)^{0,3}}{2 \cdot 0,1} = 50,45$ $J_2 = 0,28 \times \left(\frac{Cp_1 \times \mu_1}{k_1} \right)^{0,4} \times k_1 \times (\mu_1)^{-0,65}$ $= 0,28 \times \left(\frac{0,92 \cdot 104,69}{0,31} \right)^{0,4} \times 0,31 \times (104,69)^{-0,65}$ $= 0,04$ $h_1 = \frac{J_2}{J_1^{0,241}} \times \frac{m_1}{A_s} \times d_e^{-0,28}$ $= \frac{0,04}{(50,45)^{0,241}} \times \frac{3687,06}{0,7887} \times (0,0224)^{-0,28}$ $= 220,71 \text{ btu/h.ft}^2\text{.}^\circ\text{F}$	$J_1 = \frac{2,5 \times (\mu_2)^{0,3}}{2 \cdot \Delta P} = \frac{2,5 \cdot (1,3291)^{0,3}}{2 \cdot 0,1} = 13,614$ $J_2 = 0,28 \times \left(\frac{Cp_2 \times \mu_2}{k_2} \right)^{0,4} \times k_2 \times (\mu_2)^{-0,65}$ $= 0,28 \times \left(\frac{0,9991 \cdot 1,3291}{0,3696} \right)^{0,4} \times 0,3696 \times (1,3291)^{-0,65}$ $= 0,1435$ $h_2 = \frac{J_2}{J_1^{0,241}} \times \frac{m_2}{A_s} \times d_e^{-0,28}$ $= \frac{0,1435}{(13,614)^{0,241}} \times \frac{12416,3757}{0,7887} \times (0,0224)^{-0,28}$ $= 54924,32 \text{ btu/h.ft}^2\text{.}^\circ\text{F}$

$$T_W = \frac{T_{steam} + t_{ave}}{2} = \frac{(140 + 37,5) \text{ } ^\circ\text{C}}{2} = 88,75 \text{ } ^\circ\text{C} = 361,75 \text{ } ^\circ\text{K}$$

k logam pada $T_W = 14,51 \text{ W/m.}^\circ\text{K} = 8,39 \text{ btu/h.ft.}^\circ\text{F}$ [49]

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_1} + \frac{1}{h_2} + \frac{\delta}{k} = \frac{1}{220,71} + \frac{1}{54924,32} + \frac{0,0026}{8,39} = 0,00486$$

$$U = 205,80 \text{ btu/h.ft}^2\text{.}^\circ\text{F}$$

Asumsi : U_{design} lebih besar daripada U_{clean} sebesar 10%

$$U_{design} = 1,1 \times 8205,80 \text{ btu/h.ft}^2\text{.}^\circ\text{F} = 226,38 \text{ btu/h.ft}^2\text{.}^\circ\text{F}$$

$$= 4627,63 \text{ kJ/jam.m}^2\text{.}^\circ\text{C}$$

3. Perhitungan Jumlah Plate

$$A = \frac{Q}{U \times \Delta T_{LMTD}} = \frac{353212,72 \text{ kJ/jam}}{4627,63 \text{ kJ/jam.m}^2\text{.}^\circ\text{C} \times 102,32 \text{ } ^\circ\text{C}} = 0,75 \text{ m}^2$$

$$\text{Jumlah plate} = \frac{A}{A_s} = \frac{0,75 \text{ m}^2}{0,0733 \text{ m}^2} = 10,18 \approx 11 \text{ buah}$$

4. Pengecekan Pressure Drop

ΔP dalam channel	ΔP dalam port
$N_p = 1$ $N_c = 7,5$ $S_c = W.b = 178 \text{ mm} \cdot 4 \text{ mm}$ $= 0,000712 \text{ m}^2$ $G = \frac{M}{N_c \times S_c} = \frac{5632,1293}{7,5 \times 0,000712}$ $= 297,9910 \text{ kg/m}^2.\text{s}$ $N_{Re} = \frac{G \times de}{\mu} = \frac{297,9910 \times 6,8376 \text{ mm}}{0,0017 \text{ kg/m.s}}$ $= 1223,8785$ $f = \frac{1,17}{N_{Re}^{0,27}} = \frac{1,17}{(1223,8785)^{0,27}} = 0,1716$ $\Delta P = \frac{2 \times f \times G \times L}{\rho \times de}$ $= \frac{2 \times 0,1716 \times 297,9910 \times 0,735}{993,1075 \times 0,0068376}$ $= 11,0692 \text{ Pa}$	$D_{port} = 79 \text{ mm}$ $A_{port} = \frac{\pi}{4} \times (79)^2 = 0,0049 \text{ m}^2$ $G' = \frac{M}{A_{port}} = \frac{5632,1293}{0,0049}$ $= 319,2760 \text{ kg/m}^2.\text{s}$ $N_{Re} = \frac{G' \times de}{\mu} = \frac{319,2760 \times 6,8376 \text{ mm}}{0,0017 \text{ kg/m.s}}$ $= 1311,2984$ $f = \frac{1,17}{N_{Re}^{0,27}} = \frac{1,17}{(1311,2984)^{0,27}} = 0,1684$ $\Delta P = \frac{2 \times f \times G \times L}{\rho \times de}$ $= \frac{2 \times 0,1684 \times 319,2760 \times 0,735}{993,1075 \times 0,0068376}$ $= 11,6410 \text{ Pa}$

$$\Delta P_{total} = \Delta P_{dalam\ channel} + \Delta P_{dalam\ port}$$

$$= (11,0692 + 11,6410) \text{ Pa}$$

$$= 22,71 \text{ Pa} = 0,0033 \text{ psi}$$

Spesifikasi alat :

- Tipe = Plate Heat Exchanger
- Operasi = kontinu
- Luas perpindahan panas per plate = $0,0733 \text{ m}^2$
- Lebar plate = 178 mm
- Panjang plate = 735 mm
- Jumlah plate = 11 buah
- Bahan konstruksi = Stainless steel 316
- Jumlah alat = 1 buah

30. Tangki Pendingin (F-316)

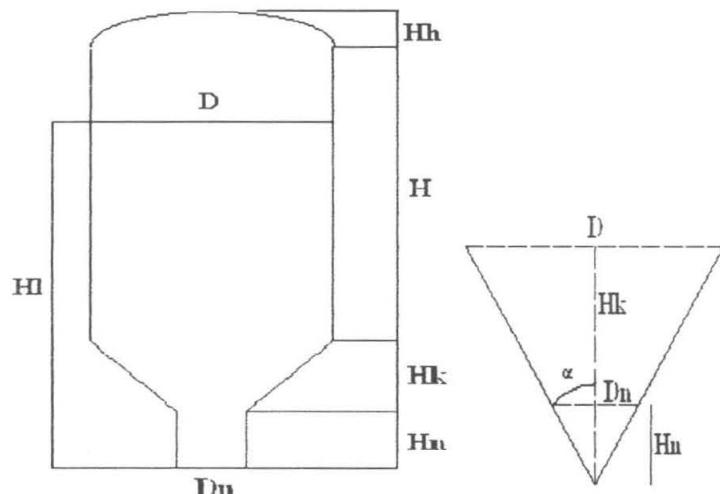
Fungsi : untuk mendinginkan susu kedelai kental manis setelah keluar dari *plate condenser*

Tipe : silinder tegak berpengaduk dengan tutup atas *torispherical* dan tutup bawah konis

Dasar pemilihan : tutup *torispherical* memiliki harga yang lebih murah, dan cocok untuk menyimpan *liquid*. Tutup konis memudahkan proses pengeluaran susu kental manis kedelai yang kental. Pengadukan dilakukan untuk mempercepat dan memudahkan transfer panas dari susu kental manis ke media pendingin.

Perhitungan :

1. Volume Tangki



Keterangan:

D = diameter shell

H = tinggi shell

Hk = tinggi konis

Hn = tinggi nozzle

Hl = tinggi padatan

Hh = tinggi head

Dn = diameter nozzle

Direncanakan waktu tinggal selama 2 jam

$$T \text{ operasi} = 30^\circ\text{C} = 303^\circ\text{K}$$

Susu kental manis yang disimpan = 1666,73 kg/jam x 2 jam = 3333,46 kg

$$\rho \text{ susu kental manis} = 1300 \text{ kg/m}^3 = 81,1656 \text{ lb/ft}^3 \quad [6]$$

$$\text{Volume susu kental manis} = \frac{3333,46 \text{ kg}}{1300 \text{ kg/m}^3} = 2,5642 \text{ m}^3 = 90,5496 \text{ ft}^3$$

Asumsi volume susu kental manis = 80 % dari volume tangki

$$\text{Volume tangki} = \frac{100}{80} \times 2,5642 \text{ m}^3 = 3,2053 \text{ m}^3$$

$$= 113,1888 \text{ ft}^3$$

2. Dimensi tangki

Ditetapkan :

- Bahan konstruksi tangki adalah *stainless steel* tipe 304 (SA-240 grade S)
- *Allowable stress value* dari SA-240 adalah 18750 psi [37, p.342]
- *Corrosion allowance (c)* adalah 3 mm [41, p.556]
- Las yang digunakan : *double welded butt joint*, efisiensi 0,85 [37, p.46]
- $H_{\text{shell}} / D_{\text{shell}} = 1,5 / 1$

Ditetapkan : sudut konis = 60°

$$\alpha = 30^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Volume shell} &= \frac{\pi}{4} \times D_{\text{shell}}^2 \times H = \frac{\pi}{4} \times D_{\text{shell}}^2 \times 1,5 D_{\text{shell}} \\ &= 1,1775 D_{\text{shell}}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{volume konis} &= \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_{\text{shell}}^2 \times Hk \right] - \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times Hn \right] \\ &= \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times D_{\text{shell}}^2 \times \frac{D_{\text{shell}}}{2 \times \tan \alpha} \right] - \left[\frac{1}{3} \times \frac{\pi}{4} \times Dn^2 \times \frac{Dn}{2 \times \tan \alpha} \right] \\ &= \frac{\pi}{24 \times \tan \alpha} \times (D_{\text{shell}}^3 - Dn^3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume disk head} &= 0,000049 \times D_{\text{shell}}^3 \rightarrow \text{dimana D dalam inchi} \\ &= 0,0847 \times D_{\text{shell}}^3 \rightarrow \text{dimana D dalam feet (ft)} \end{aligned}$$

[37, eq. 5.11, p.88]

$$\text{Diameter nozzle (Dn)} = 8 \text{ inc} \approx 0,2032 \text{ m} = 0,6667 \text{ ft} \quad [37, \text{p.96}]$$

Volume tangki = $V_{shell} + V_{konis} + V_{dish\ head}$

$$113,1888 \text{ ft}^3 = 1,1775 \times D_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \times \tan \alpha} \times (D_{shell}^3 - Dn^3) + 0,0847 \times D_{shell}^3$$

$$113,1888 \text{ ft}^3 = 1,1775 \times D_{shell}^3 + \frac{\pi}{24 \times \tan 30^\circ} \times (D_{shell}^3 - 0,6667^3) + 0,0847 \times D_{shell}^3$$

$$113,1888 \text{ ft}^3 = 1,1775 D_{shell}^3 + 0,2266 D_{shell}^3 - 0,0672 + 0,0847 \times D_{shell}^3$$

$$113,1888 \text{ ft}^3 = 1,4888 \times D_{shell}^3 - 0,0672$$

$$D_{shell} = 4,2372 \text{ ft} \approx 4 \text{ ft} = 1,2192 \text{ m} = 48 \text{ in}$$

$$H_{shell} = 1,5 \times D_{shell} = (1,5 \times 4) \text{ ft} = 6 \text{ ft} = 1,8288 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_{konis} &= \frac{D_{shell} - Dn}{2 \cdot \tan \alpha} \\ &= \frac{4 \text{ ft} - 0,6667 \text{ ft}}{2 \times \tan 30^\circ} = 2,8867 \text{ ft} = 0,8799 \text{ m} \end{aligned}$$

$$H_{susu\ kental\ manis\ dalam\ konis} = H_{konis} = 2,8867 \text{ ft} = 0,8799 \text{ m}$$

$$H_{nozzle} = \frac{Dn}{2 \cdot \tan \alpha} = \frac{0,6667 \text{ ft}}{2 \times \tan 30^\circ} = 0,5774 \text{ ft} = 0,1760 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Volume susu kental manis dalam konis} &= \frac{\pi}{24 \times \tan 30^\circ} \times (D^3 - Dn^3) \\ &= \frac{\pi}{24 \times \tan 30^\circ} \times (4^3 - 0,6667^3) \\ &= 14,4359 \text{ ft}^3 = 4,4001 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$V_{susu\ kental\ manis\ dalam\ shell} = V_{susu} - V_{susu\ dalam\ konis}$$

$$\frac{\pi}{4} \times D^2 \times H_{susu\ kental\ manis\ dalam\ shell} = (90,5496 - 14,4359) \text{ ft}^3$$

$$\frac{\pi}{4} \times (4)^2 \times H_{susu\ kental\ manis\ dalam\ shell} = 76,1137 \text{ ft}^3$$

$$H_{susu\ kental\ manis\ dalam\ shell} = 6,0600 \text{ ft} = 1,8471 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} H_{susu\ kental\ manis\ di\ tangki} &= H_{susu\ dalam\ shell} + H_{susu\ dalam\ konis} \\ &= (6,0600 + 2,8867) \text{ ft} = 8,9467 \text{ ft} = 2,7270 \text{ m} \end{aligned}$$

3. Tebal Shell, Dish head dan Konis

$$P_{\text{operasi}} = \frac{\rho \times H}{144} = \frac{62,37 \text{ lb/ft}^3 \times 6,0600 \text{ ft}}{144} = 2,6247 \text{ psi}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times P_{\text{operasi}}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times 2,6247 \text{ psi} = 3,1497 \text{ psi}$$

Tebal shell dihitung dengan persamaan C.1 :

$$t_s = \frac{P \times R}{SE - 0,6P} + c$$

$$t_s = \frac{3,1497 \text{ psi} \times 2 \text{ ft}}{((18750 \times 0,85) - (0,6 \times 3,1497 \text{ psi})) \times 3,2808 \frac{\text{ft}}{\text{m}}} + 3 \text{ mm}$$

$$= (0,198 + 3) \text{ mm} = 3,198 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} \text{ "}$$

$$\text{OD shell} = 2 \times t_s + D = 2 \times \frac{3}{16} \text{ in} + (4 \times 12) \text{ in} = 48,375 \text{ in} \approx 54 \text{ in} \text{ (distanarisasi dari } 30, \text{ p.90).}$$

Tebal dish head (td) dapat dicari dengan cara sebagai berikut :

OD = 54 in, sehingga dari 37, tabel 5.7, hal. 90 didapatkan data r = 54 in dan icr = 3,25 in. Untuk $t_s = \frac{3}{16}$ ", dari 37, tabel 5.8, hal. 93, didapatkan sf = 1,5 in.

$$W = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{r}{icr}} \right) = \frac{1}{4} \times \left(3 + \sqrt{\frac{54 \text{ in}}{3,25 \text{ in}}} \right) = 1,7691$$

Tebal dish head (td) dapat dicari dengan persamaan C.3 :

$$t_d = \frac{P \times r \times W}{2SE - 0,2P} + c$$

$$P_{\text{operasi}} = \frac{\rho \times H}{144} = \frac{62,37 \text{ lb/ft}^3 \times 8,9467 \text{ ft}}{144} = 3,8750 \text{ psi}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times P_{\text{operasi}}$$

$$P_{\text{design}} = 1,2 \times 3,8750 \text{ psi} = 4,65 \text{ psi}$$

$$t_d = \frac{4,65 \text{ psi} \times 54 \text{ in} \times 1,7691}{(2 \times 18750 \text{ psi} \times 0,85) - (0,2 \times 4,65 \text{ psi})} + 3 \text{ mm}$$

$$= 0,016 \text{ in} + 3 \text{ mm} = (0,41 + 3) \text{ mm} = 3,41 \text{ mm} \approx \frac{3}{16} \text{ "}$$

Tebal *dish head* (td) = $\frac{3}{16}$ "

Tinggi *head* dan *bottom* dapat dihitung dengan persamaan C.4 :

$$OA = t_d + b + sf$$

$$AB = \frac{ID}{2} - icr = \left(\frac{48}{2} - 3,25 \right) \text{ in} = 20,75 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = (54 - 3,25) \text{ in} = 50,75 \text{ in}$$

$$\begin{aligned} b &= r - \sqrt{(BC)^2 - (AB)^2} = 54 - \sqrt{(50,75)^2 - (20,75)^2} \\ &= 7,6859 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} OA &= td + b + sf = (3/16 + 7,6859 + 1,5) \text{ in} \\ &= 9,3734 \text{ in} = 0,75 \text{ ft} = 0,2286 \text{ m} \end{aligned}$$

Tebal konis dihitung dengan persamaan C.2 :

$$t_k = \frac{P \times R}{\cos \alpha (SE - 0,6P)} + c$$

$$\begin{aligned} \text{Jadi, } t_k &= \frac{4,65 \text{ psi} \times 2 \text{ ft}}{\cos 30^\circ ((16160 \times 0,85) - (0,6 \times 4,65 \text{ psi})) \times 3,2808 \frac{\text{ft}}{\text{m}}} + 3 \text{ mm} \\ &= 0,00024 \text{ m} + 3 \text{ mm} = (0,24 + 3) \text{ mm} = 3,24 \text{ mm} \approx \frac{3}{16}" \end{aligned}$$

Tebal konis = $\frac{3}{16}$ "

$$\begin{aligned} H \text{ tangki total} &= H_{shell} + H_{konis} + OA \\ &= (6 + 2,8867 + 0,75) \text{ ft} \\ &= 9,6367 \text{ ft} \approx 10 \text{ ft} = 3,0480 \text{ m} \end{aligned}$$

4. Agitator

Ditetapkan :

- Jenis agitator yang digunakan adalah 45° pitch six blade turbine

Dasar pemilihan 45° pitched six blade turbine : speednya tinggi, cocok untuk proses pengadukan liquid dengan viskositas rendah dan sedang (<200 Pa.s)

- Kecepatan pengaduk (N) adalah 150 rpm.

Dasar pemilihan kecepatan 150 rpm : viskositas susu kental manis tidak terlalu tinggi, alirannya menjadi turbulent, sehingga proses pendinginan susu kental manis dapat terjadi dengan cepat dan merata.

- Untuk mencegah timbulnya vorteks, maka digunakan 4 buah *baffles*.

$$Da = 0,4 D = 0,4 \times 4 \text{ ft} = 1,6 \text{ ft} = 0,4877 \text{ m}$$

$$W = \frac{1}{5} Da = \frac{1}{5} \times 1,6 \text{ ft} = 0,32 \text{ ft}$$

$$L = \frac{1}{4} Da = \frac{1}{4} \times 1,6 \text{ ft} = 0,40 \text{ ft}$$

$$C = \frac{1}{3} D = \frac{1}{3} \times 4 \text{ ft} = 1,3333 \text{ ft}$$

$$J = \frac{1}{12} D = \frac{1}{12} \times 4 \text{ ft} = 0,3333 \text{ ft}$$

$$sg = \frac{\rho \text{ susu kental manis}}{\rho \text{ air } (4^\circ C)} = \frac{1300 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ kg/m}^3} = 1,3$$

$$\text{Jumlah impeller} = \frac{sg \times H}{D} = \frac{1,3 \times 1,8471 \text{ m}}{1,2192 \text{ m}} = 1,97 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Kecepatan pengaduk} = \pi \times Da \times N = \pi \times 0,4877 \times 150 = 229,7067 \text{ m/menit}$$

$$\mu \text{ susu kental manis} = 4,328 \times 10^{-2} \text{ kg/m.s} \quad [6]$$

N_{Re} dicari dengan persamaan C.6 :

$$N_{Re} = \frac{1300 \text{ kg/m}^3 \times 150/60 \times (0,4877)^2}{4,328 \times 10^{-2} \text{ kg/m.s}} = 17860,8293$$

Nilai N_p dapat dicari dari 28, grafik 3.4-4, p.145. Untuk nilai $N_{Re} = 17860,8293$, dan jenis agitator 45° pitched six blade turbine (kurva 3), maka didapatkan nilai $N_p = 1,2$

Power agitator dihitung dengan persamaan dari 28, p.145 :

$$P = 1,2 \times 1300 \text{ kg/m}^3 \times \left(150/60\right)^3 \times (0,4877)^5 \\ = 662,5249 \text{ W} = 0,6625 \text{ kW}$$

$$\text{Power untuk dua buah pengaduk} = 2 \times 0,6625 \text{ kW} = 1,3250 \text{ kW}$$

Efisiensi motor diambil 80 %, maka :

$$\text{Power yang dibutuhkan} = \frac{1,3250}{0,8} \text{ kW} = 1,66 \text{ kW} = 2,23 \text{ hp} \approx 2 \text{ hp}$$

Dari 28, p.148, power yang dibutuhkan untuk vigorous agitation : $(0,4 - 0,6) \text{ kW/m}^3$.

$$\text{Power} = \frac{1,66 \text{ kW}}{2,5642 \text{ m}^3} = 0,64 \text{ kW/m}^3 \approx 0,6 \text{ kW/m}^3 \text{ (memenuhi)}$$

5. Coil Pendingin

Media pendingin : larutan NaCl

Suhu larutan NaCl masuk : $15^\circ\text{C} = 59^\circ\text{F}$

Suhu susu kental manis masuk = $45^\circ\text{C} = 113^\circ\text{F}$

Suhu susu kental manis keluar = $30^\circ\text{C} = 86^\circ\text{F}$

Nilai R_d ditetapkan 0,001. [38, p.845]

Q yang diserap larutan NaCl = 55417,54 kJ/jam (dari neraca panas)

Massa larutan NaCl = 1090,1454 kg/jam = 2403,3564 lb/jam (dari neraca panas)

k susu kental manis = $0,538 \text{ W/m.K} = 0,3109 \text{ btu/jam.ft.}^\circ\text{F}$ [28, p.891]

c_p susu kental manis = $3,85 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{K} = 0,9196 \text{ btu/lb.}^\circ\text{F}$ [28, p.891]

ρ susu kental manis = $1300 \text{ kg/m}^3 = 81,1656 \text{ lb/ft}^3$ [6]

μ susu kental manis = $4,325 \times 10^{-2} \text{ kg/m.s} = 104,6261 \text{ lb/ft.jam}$ [6]

Dari 46, didapatkan data-data sebagai berikut :

$$\begin{aligned} k_{\text{NaCl}} &= 51,6119 - 2,9610 \cdot 10^{-1} (T) + 4,7053 \cdot 10^{-4} (T)^2 \\ &= 51,6119 - 2,9610 \times 10^{-1} (303) + 4,7053 \times 10^{-4} (303)^2 \\ &= 5,0925 \text{ W/m.K} = 2,9424 \text{ Btu/jam.ft.}^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_p_{\text{NaCl}} &= 95,016 - 3,1081 \times 10^{-2} (T) + 9,6789 \times 10^{-7} (T^2) + 5,5116 \times 10^{-9} (T^3) \\ &= 95,016 - 3,1081 \times 10^{-2} (303) + 9,6789 \times 10^{-7} (303^2) + 5,5116 \times 10^{-9} (303^3) \\ &= 85,8406 \text{ J/mol.}^\circ\text{K} = 0,0858 \text{ kJ/mol.}^\circ\text{K} = 1,4667 \text{ kJ/kg.}^\circ\text{K} = 0,3503 \text{ Btu/lb.}^\circ\text{F} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{\text{NaCl}} &= -0,9169 + \frac{1078,9}{T} - 7,6231 \times 10^{-5} (T) + 1,1105 \times 10^{-8} (T^2) \\ &= -0,9169 + \frac{1078,9}{303} - 7,6231 \times 10^{-5} (303) + 1,1105 \times 10^{-8} (303^2) \\ &= 2,6207 \text{ cp} = 6,3421 \text{ lb/ft.jam} \end{aligned}$$

Ditetapkan :

Pipa yang dipakai : $3/4''$ IPS, Sch 80, dari 38, table 11, p.844, didapatkan :

OD = 1,05 in = 0,0875 ft

ID = 0,742 in = 0,0618 ft

Flow area per pipe (ap) = $0,432 \text{ in}^2$

Outside surface per linear ft (a'') = 0,275 ft^2/ft

Evaluasi perpindahan panas :

a. Bagian bejana berisi susu kental manis

$$\begin{aligned} N_{re} &= \frac{Da^2 \times N \times \rho}{\mu} \\ &= \frac{0,4877^2 m \times \left(\frac{150}{60}\right) \times 1300 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}{4,328 \times 10^{-2} \frac{\text{kg}}{\text{m.s}}} = 17860,8293 \end{aligned}$$

Dari 38, fig.20.2, p.718, didapatkan : $j_c = 300$, h_o dicari dari persamaan C.8 :

$$\begin{aligned} h_o &= j_c \times \frac{k}{Dt} \times \left(\frac{cp \times \mu}{k} \right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \\ &= 300 \times \frac{0,3109}{4} \times \left(\frac{0,9196 \times 104,6261}{0,3109} \right)^{1/3} \times \left(\frac{104,6261}{104,6261} \right)^{0,14} \\ &= 157,4193 \text{ Btu/jam.ft}^2.{}^0\text{F} \end{aligned}$$

b. Bagian pipa (*coil*) berisi berisi larutan NaCl

$$W = 2403,3564 \text{ lb/jam}$$

$$ap = 0,432 \text{ in}^2 = 3 \times 10^{-3} \text{ ft}^2$$

$$G_p = \frac{W}{ap} = \frac{2403,3564 \frac{\text{lb}}{\text{jam}}}{3 \times 10^{-3} \frac{\text{ft}^2}{\text{jam}}} = 801121,8 \text{ lb/\text{ft}^2.jam}$$

N_{re} pada pipa (*coil*) dicari dengan persamaan dari 38, p.112 yakni :

$$N_{re} = \frac{ID \times G_p}{\mu} = \frac{0,0618 \text{ ft} \times 801121,8 \text{ lb/\text{ft}^2.jam}}{6,3421 \text{ lb/\text{ft}.jam}} = 7806,4564$$

Dari 38, fig. 24, p.834, untuk harga $N_{re} = 7806,4564$, didapatkan $j_H = 30$

$$\begin{aligned} h_i &= j_H \times \frac{k}{ID} \times \left(\frac{cp \times \mu}{k} \right)^{1/3} \times \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0,14} \\ &= 30 \times \frac{2,9424}{0,0618} \times \left(\frac{0,3503 \times 6,3421}{2,9424} \right)^{1/3} \times \left(\frac{6,3421}{6,3421} \right)^{0,14} \\ &= 1300,7655 \text{ Btu/jam.ft}^2.{}^0\text{F} \end{aligned}$$

$$h_{io} = h_i \times \frac{ID}{OD} = 1300,7655 \times \frac{0,0618}{0,0875} = 918,7121 \text{ Btu/jam.ft}^2.{}^0\text{F}$$

$$U_c = \frac{h_{io} \times h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{918,7121 \times 157,4193}{918,7121 + 157,4193} = 134,3916 \text{ Btu/jam.ft}^2.\text{^oF}$$

$$U_D = \frac{1}{\frac{1}{U_c} + R_d} = \frac{1}{\frac{1}{134,3916} + 0,001} \text{ btu/jam.ft}^2.\text{^oF}$$

$$= 118,4702 \text{ btu/jam.ft}^2.\text{^oF} = 2421,7538 \text{ kJ/h.m}^2.\text{^oC}$$

$$A = \frac{Q}{U_D \times \Delta T} = \frac{55417,54 \text{ kJ/jam}}{2421,7538 \text{ kJ/jam.m}^2.\text{^oC} \times (30 - 15) \text{ ^oC}}$$

$$= 1,5256 \text{ m}^2 = 16,4210 \text{ ft}^2$$

$$L = \frac{A}{a''} = \frac{16,4210 \text{ ft}^2}{0,275 \text{ ft}^2/\text{ft}} = 59,7127 \text{ ft}$$

Da < Dc < Dt , Kern, p.716 → Diambil Dc = 3,2808 ft

Jumlah Coil :

$$N_c = \frac{L}{\pi \times D_c} = \frac{59,7127 \text{ ft}}{\pi \times 3,2808 \text{ ft}} = 5,7964 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah}$$

Jarak 2 coil = Sc lebih besar dari 1 in, dari 38, p.716, diambil Sc = 5 in

Tinggi Coil :

$$hc = \{(n_c - 1) \times (Sc + OD)\} + OD$$

$$hc = \{(6 - 1) \times (5 + 1,05)\} + 1,05 = 31,3 \text{ in} = 2,6083 \text{ ft} = 0,7951 \text{ m}$$

$$\text{Kapasitas Tangki Pendingin} = \frac{\text{volume tangki (m}^3\text{)}}{2 \text{ jam}}$$

$$= \frac{3,2053 \text{ m}^3}{2 \text{ jam}} = 1,6027 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Spesifikasi alat :

- Nama = *cooler*
- Fungsi = untuk mendinginkan susu kental manis kedelai setelah proses sterilisasi.
- Bahan konstruksi = *stainless steel* SA-240 tipe 304
- Kapasitas = 1,6027 m³/jam
- Diameter tangki = 1,2192 m
- Tinggi *shell* = 1,8288 m

- Tinggi *dish* = 0,2286 m
- Tinggi konis = 0,8799 m
- Tinggi tangki total = 3,0480 m
- Tebal *shell* = $\frac{3}{16}$ "
- Tebal *dish* = $\frac{3}{16}$ "
- Tebal konis = $\frac{3}{16}$ "
- Agitator = Jenis : 45° pitched six blade turbine
Diameter : 0,4877 m
Kecepatan pengadukan : 229,7067 m/menit
Power : 2 hp
Jumlah pengaduk : 2 buah
- Coil pendingin = Media pendingin : Larutan NaCl
Jumlah *coil* : 6 buah
Luas permukaan : 1,5256 m²
Tinggi *coil* : 0,7951 m
- Jumlah tangki = 1 buah

APPENDIX D

PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI

APPENDIX D

PERHITUNGAN ANALISA EKONOMI

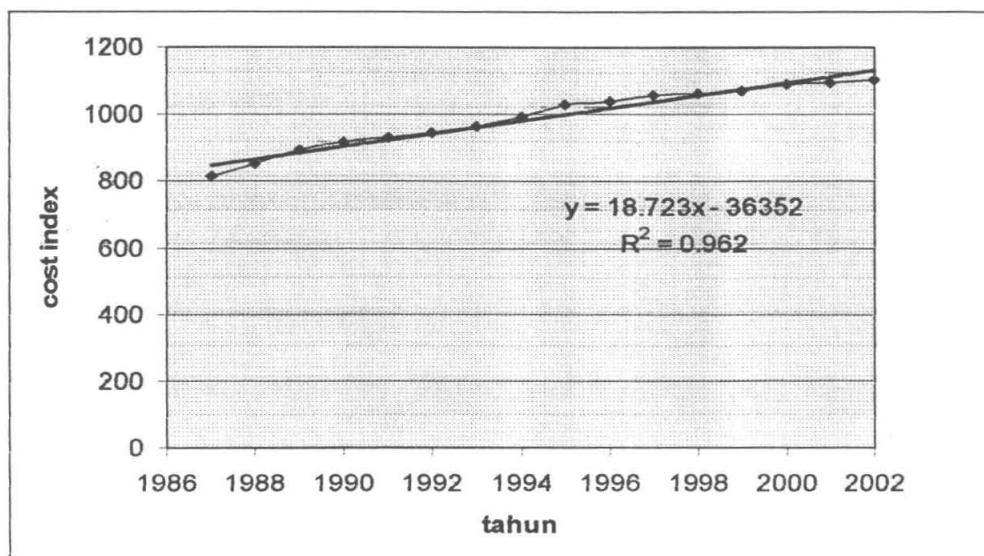
Harga peralatan sering mengalami perubahan karena kondisi ekonomi. Oleh karena itu, untuk memperkirakan harga peralatan sekarang diperlukan suatu indeks yang dapat mengkonversikan harga peralatan sebelumnya menjadi harga sekarang. Metode yang digunakan untuk menentukan harga peralatan adalah metode *Cost Index* yang dihitung dengan persamaan :

$$\text{Harga alat saat ini} = \frac{\text{Cost index saat ini}}{\text{Cost index pada tahun A}} \cdot \text{Harga Alat pada Tahun A}$$

Pada perencanaan pabrik Susu Kedelai Kental Manis ini, harga peralatan yang digunakan didasarkan pada harga alat yang terdapat pada pustaka Peters & Timmerhauss dan www.matche.com.

D.1. Perhitungan Harga Peralatan

Cost index yang digunakan adalah dari *Marshall & Swift Cost Index*. Diperkirakan pabrik Susu Kedelai Kental Manis didirikan tahun 2007, sehingga dengan extrapolasi dari linierisasi data-data tahun sebelumnya didapatkan :



Gambar D.1 Grafik hubungan *cost index* vs tahun

Cost Index Marshall & Swift pada tahun 2002 = 1102,5

Cost Index Marshall & Swift pada tahun 2003 = 1150,169

Cost Index Marshall & Swift pada tahun 2007 = 1225,061

Contoh perhitungan :

Nama alat : *Mixer NaHCO₃*

Kapasitas : 141,44 gal

Bahan konstruksi : *Stainless steel 304 grade S*

Harga Tahun 2002 : \$ 7.000

$$\text{Harga Tahun 2006} = \frac{1225,061}{1102,5} \times \$ 7.000 = \$ 7778.165$$

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. Tabel harga alat proses dari www.matche.com

Kode	Nama Alat	Jumlah	Harga 2003 (US\$)	Harga 2007 (US\$)	Harga total (US\$)
J-116	<i>Bucket elevator</i>	1	8200	8733,9340	8733,9340
J-112					
J-115					
J-123	<i>Belt conveyor</i>	3	11400	12142,2985	36426,8957
H-113					
H-114	<i>Screen</i>	2	22000	23432,5060	46865,0120
C-110	<i>Destoner</i>	1	45000	47930,1259	47930,1259
J-122	Bucket elevator ke cooker	1	5600	5964,6378	5964,6378
J-211	Bucket elevator ke mixer 1	1	9000	9586,0251	9586,0251
L-221	Pompa ke filter	1	3000	3195,3417	3195,3417
H-220	Plate and frame press	2	15000	15976,7086	31953,4172
L-232	Pompa ke mixer 2	1	3000	3195,3417	3195,3417
J-224	<i>Belt conveyor</i>	1	3000	3195,3417	3195,3417
L-311	Pompa ke evaporator	1	3000	3195,3417	3195,3417
V-310	<i>Evaporator</i>	1	120500	128346,2261	128346,2261
L-312	Pompa ke sterilisator	1	3000	3195,3417	3195,3417
TOTAL					331782,9828

Tabel D.2 Tabel harga alat proses dari Peter&Timmerhaus

Kode	Nama Alat	Jumlah	Harga 2002 (US\$)	Harga 2007 (US\$)	Harga total (US\$)
E-223	<i>Heat exchanger (PHE)</i>	1	15000	16667,4966	16667,4966
M-121	<i>Mixer NaHCO₃</i>	1	7000	7778,1650	7778,1650
M-120	<i>Cooker</i>	1	10000	11111,6644	11111,6644
M-210	<i>Mixer I</i>	1	19000	21112,1623	21112,1623
F-212	<i>Holding Tank I</i>	1	34000	37779,6589	37779,6589
F-222	<i>Holding tank II</i>	1	34000	37779,6589	37779,6589
M-231	<i>Mixer gula</i>	1	6500	7222,5818	7222,5818
M-230	<i>Mixer II</i>	1	15000	16667,4966	16667,4966
G-311	<i>Surface condenser</i>	1	19540	21712,1922	21712,1922
E-313	<i>PHE (sterilisasi)</i>	1	15000	16667,4966	16667,4966
E-314	<i>Cooler</i>	1	15000	16667,4966	16667,4966
F-315	Tangki pendingin	1	18000	20000,9959	20000,9959
	TOTAL				231167,0662

Tabel D.3 Tabel harga alat utilitas

Kode	Nama Alat	Jumlah	Harga 2002 (US\$)	Harga 2007 (US\$)	Harga total
L-410	Pompa air sumur	1	4400	4686,5012	4686,5012
H-411	<i>Sand filter</i>	1	43000	45799,8981	45799,8981
L-412	pompa ke <i>sand filter</i>	1	3000	3195,3417	3195,3417
H-413	<i>Carbon filter</i>	1	36000	38344,1007	38344,1007
L-414	Pompa ke <i>carbon filter</i>	1	3000	3195,3417	3195,3417
H-420	Tangki demineralisasi	1	33000	36668,4925	36668,4925
L-421	Pompa ke tangki	1	3000	3195,3417	3195,3417
F-430	Tangki penampung	1	37000	41113,1582	41113,1582
L-422	Pompa ke tangki penampung	1	4400	4686,5012	4686,5012
L-431	Pompa ke tangki penampung boiler	1	3000	3195,3417	3195,3417
F-432	Tangki penampung boiler	1	35000	38890,8254	38890,8254
F-433	Tangki air pendingin	1	37000	41113,1582	41113,1582
	<i>Cooling tower</i>	1	26500	28225,5186	28225,5186
	<i>Refrigerant</i>	1	32000	34083,6451	34083,6451
	<i>Boiler</i>	1	35000	37278,9868	37278,9868
	Tangki penampung bahan bakar	1	31000	34446,1596	34446,1596
	TOTAL				398118,3128

Asumsi : 1 US \$ = Rp 10.000

Jadi : Total harga alat = biaya alat proses + biaya alat utilitas

$$\begin{aligned}
 &= (331782,9828 + 231167,0662 + 398118,3128) \$ \\
 &= 961068,3617 \text{ US} = \text{Rp } 9.610.683.617
 \end{aligned}$$

D.2. Perhitungan Harga Bahan Baku

Contoh perhitungan :

Kedelai diperoleh dari supplier-supplier di seluruh Indonesia dengan harga = Rp 6.000/kg. Dalam 1 hari dibutuhkan 18,1164 ton/hari kedelai.

$$\begin{aligned}\text{Kebutuhan kedelai setahun} &= 18,1164 \text{ ton/hari} \cdot 1000\text{kg/1 ton} \\ &= 18116,4 \text{ kg/hari} \cdot 345 \text{ hari/tahun} \\ &= 6.250.158 \text{ kg/tahun}\end{aligned}$$

Jadi : harga beli = Rp 6.000/kg × 6.250.158 kg/tahun = Rp 37.500.948.000

Dengan cara yang sama, maka diketahui harga bahan baku seperti terlihat pada Tabel D.4.

Tabel D.4 Harga bahan baku

Bahan	Rp/kg	Kg/hari	kg/thn	harga/thn (Rp)
Kedelai	6.000	18.116,4	6.250.158	37.500.948.000
NaHCO ₃	13.000	201,84	69.634,8	905.252.400
Gula	6.500	17.887,44	6.171.166,8	40.112.584.200
TOTAL				78.518.784.600

D.3. Perhitungan Harga Utilitas

Perhitungan harga utilitas terdiri dari biaya zeolit, NaCl untuk regenerasi, refrigerant, harga bahan bakar dan harga listrik. Contoh perhitungan biaya listrik diambil dari bab utilitas diketahui bahwa lumen output dari pos keamanan adalah 5164,8 lumen. Efficacy dari lampu Fluorescent adalah 85 lumen/watt. Sehingga,

$$\text{power} = \frac{5164,8 \text{ lumen}}{85 \text{ lumen/watt}} = 0,0608 \text{ kW}$$

Berdasarkan sumber dari PLN, biaya listrik luar beban puncak (LWBP) untuk industri adalah Rp 440/kWh sedangkan biaya listrik beban puncak (WBP) pada jam 17.00-22.00 adalah Rp 880/kWh. Lampu di pos keamanan menyala selama 12 jam/hari, yaitu dari jam 17.00 – 05.00 maka biaya listrik dihitung sebagai berikut:

a. Pada waktu beban puncak (17.00-22.00)

$$\text{kWh} = 5 \text{ jam} \times 0,0608 \text{ kW} = 0,3038 \text{ kWh}$$

$$\text{Harga listrik WBP} = 0,3038 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 880,00/\text{kWh} = \text{Rp. } 267,3544/\text{hari}$$

b. Pada waktu beban diluar puncak

$$\text{kWh} = 7 \text{ jam} \times 0,0608 \text{ kW} = 0,4253 \text{ kWh}$$

Harga listrik LWBP = Rp 440/kWh × 0,4253 kWh = Rp 187,1480/hari

Dengan cara yang sama, biaya listrik dihitung sebagai berikut :

Tabel D.5 Biaya listrik dari lampu

Ruang	Lumen Output	Efficacy	Waktu	kW	kWh (WBP)	kWh (LWBP)	WBP	LWBP
Pos keamanan	5164,8	85	12	0,0608	0,3038	0,4253	267,3544	187,1480
Parkir roda dua	139,8	40	12	0,3497	1,7485	2,4479	1538,6800	1077,0760
Parkir roda empat	8608	40	12	0,2152	1,0760	1,5064	946,8800	662,8160
Kantor	75320	85	24	0,8861	4,4306	16,8362	3898,9176	7407,9435
Area proses	430400	40	24	10,7600	53,8000	204,4400	47344,0000	89953,6000
Gardu PLN	484,2	85	12	0,0057	0,0285	0,0399	25,0645	17,5451
Generator	968,4	85	12	0,0114	0,0570	0,0798	50,1289	35,0903
Utilitas	96840	40	24	2,4210	12,1050	45,9990	10652,4000	20239,5600
Gudang Bahan Baku	19368	40	24	0,4842	2,4210	9,1998	2130,4800	4047,9120
Gudang Barang Jadi	18830	40	24	0,4708	2,3538	8,9443	2071,3000	3935,4700
Bengkel	7747,2	85	12	0,0911	0,4557	0,6380	401,0315	280,7221
Toilet	7747,2	85	12	0,0911	0,4557	0,6380	401,0315	280,7221
Klinik	2582,4	85	12	0,0304	0,1519	0,2127	133,6772	93,5740
Taman dan jalan	354757,2	40	12	8,8689	44,3447	62,0825	39023,2920	27316,3044
Pengolahan Limbah	6456	40	12	0,1614	0,8070	1,1298	710,1600	497,1120
Musholla+wudhu	2582,4	85	12	0,0304	0,1519	0,2127	133,6772	93,5740
						Σ	109728,0748	156126,1696

Tabel D.6 Biaya listrik dari alat

Alat	hp	kW	kWh (WBP)	kWh (LWBP)	WBP	LWBP
Proses	21	15,6597	78,2985	297,5343	68902,68	130915,1
Utilitas	4,75	3,5421	17,7104	67,2994	15585,13	29611,747
					84487,81	160526,839

$$\text{Total biaya} = \text{Rp } 109.728,0748 + \text{Rp } 156.126,1696 + \text{Rp } 84.847,81$$

$$+ \text{Rp } 160.526,839$$

$$= \text{Rp } 510.868,8934/\text{hari} = \text{Rp } 176.249.768,2/\text{tahun}$$

Tabel D.7. Biaya utilitas

Biaya	Kg/thn atau L/thn	Rp/kg atau Rp/L	Harga/thn (Rp)
U/ regenerasi			
Pasir Silika	3.020,68	30.000	90.620.400
Karbon aktif	1.570	2.000	3.140.000
Zeolit	40.337,3	25.000	1.008.433.440
NaCl	8.233,73	5.000	41.168.656
Glass fiber			1.780.000
Bahan Bakar			
minyak bakar	4431672	3.850	17.061.937.200
minyak diesel	144	6.300	907.200
Refrigerant			
Larutan brine	26.163,5	113.000	25.425.000
Ammonia	43,6962	200.000	12.444.000
HCl (limbah)	4.968	7.000	34.776.000
Listrik			177.070.448,3
Air PDAM	5061,15	8.000	40.489.200
TOTAL			21.432.436.349

D.4. Perhitungan Harga Bahan Kemas

Produk susu kedelai kental manis dikemas dalam bentuk sachet (42 gr).

Kemasan sachet terdiri dari PES/aluminium foil/PE

Tabel D.8 Harga bahan kemasan

Jenis kemasan	Berat (gr)	Rp per kemasan	Jumlah kemasan per tahun	Harga kemasan per tahun
sachet + labeling	42	185	1.329.543.257	245.965.502.571,43
Plastik		50	26.590.865,14	1.329.543.257
1 kardus berisi 120 sachet @ 42 gr		1750	11.079.527,14	19.389.172.500
TOTAL				266.684.218.328,57

D.5. Perhitungan Harga Jual Produk

Produk susu kedelai kental manis yang dihasilkan adalah 6744,06 kg/jam sehingga dalam waktu 1 tahun, produk yang dihasilkan adalah

$$= 6744,06 \frac{\text{kg}}{\text{jam}} \times 24 \frac{\text{jam}}{\text{hari}} \times 345 \frac{\text{hari}}{\text{tahun}} \times 1000 \frac{\text{gr}}{\text{kg}} = 55.840.816.800 \text{ gr/thn}$$

Produk susu kedelai kental manis dikemas dalam dua bentuk, yaitu sachet. Ditetapkan : 100% dalam kemasan sachet (42 gr) sehingga jumlah kemasan produk :

$$\text{Kemasan sachet} = \frac{55.840.816.800 \text{ gr/thn} \times 100\%}{42 \text{ gr}} = 1.329.543.257 \text{ kemasan/thn}$$

Selain itu, hasil samping dari pabrik susu kedelai kental manis adalah kulit kedelai dan cake yang masih dapat dijual sebagai bahan tambahan pakan ternak karena masih mengandung kadar protein.

Tabel D.9. Harga jual produk

Produk	Kemasan	Kapasitas	Rp/kemasan	Pendptn/ thn (Rp)
Sachet	42 gr	1.329.543.257	475	631.533.047.142,86
Cake	Per kg	13.822.632	500	6.911.316.000
Kulit kedelai	Per kg	618.847,2	150	92.827.080
TOTAL				638.537.190.222,86

D.6. Perhitungan Gaji Karyawan

Jumlah karyawan di pabrik Susu Kedelai Kental Manis adalah 163 orang yang terdiri dari :

1.Karyawan non shift

Karyawan yang bekerja non shift adalah karyawan di bidang keuangan, personalia, pemasaran, pegawai R&D, dan pegawai *cleaning service* dengan jam kerja Senin-Jumat pukul 08.00-17.00.

2.Karyawan shift

Karyawan yang bekerja shift terdiri dari pegawai kesehatan, pegawai bagian bengkel, bagian *Quality Control*, bagian produksi, bagian utilitas, satpam, pegawai gudang bahan baku, dan pegawai gudang bahan jadi. Untuk karyawan proses dan pengemasan pergantian yang diterapkan adalah :

Shift 1 : 07.00 – 15.00

Shift 2 : 15.00 – 23.00

Shift 3 : 23.00 – 07.00

Sedangkan untuk karyawan bagian keamanan, pergantian yang diterapkan adalah sebagai berikut : Shift 1 : 06.00 – 14.00

Shift 2 : 14.00 – 22.00

Shift 3 : 22.00 – 06.00

Pergantian shift dilakukan setiap dua hari sekali seperti terlihat pada tabel D.10.

Tabel D.10. Shift pergantian kerja

Shift \ Hari ke	1	2	3	4	5	6	7	8
1	P	P	S	S	M	M	L	L
2	S	S	M	M	L	L	P	P
3	M	M	L	L	P	P	S	S

Keterangan : P = pagi, S = siang, M = malam, L = libur.

Gaji dari masing-masing pegawai dapat dilihat pada tabel D.11.

Tabel D.11. Gaji Keseluruhan

Jabatan	Jumlah (orang)	Gaji/bln (Rp)	Total Gaji/bln (Rp)
Direktur Utama	1	20000000	20.000.000
Sekretaris Direksi	1	1500000	1.500.000
Direktur Manufaktur	1	5000000	5.000.000
Direktur Pemasaran	1	5000000	5.000.000
Direktur Keuangan & Administrasi	1	5000000	5.000.000
Sekretaris	3	1500000	4.500.000
Manajer Teknik	1	2500000	2.500.000
Manajer Produksi	1	2500000	2.500.000
Manajer R&D	1	2500000	2.500.000
Manajer Pemasaran	1	2500000	2.500.000
Manajer Pembelian	1	2500000	2.500.000
Manajer Keuangan	1	2500000	2.500.000
Manajer Administrasi	1	2500000	2.500.000
Kepala Produksi	1	2000000	2.000.000
Karyawan Proses	80	800000	64.000.000
Staff Gudang Bahan Baku	2	900000	1.800.000
Karyawan Gudang Bahan Baku	9	800000	7.200.000
Staff Gudang Bahan Jadi	2	900000	1.800.000
Karyawan Gudang Bahan Jadi	9	800000	7.200.000
Karyawan Teknik	3	1000000	3.000.000
Karyawan QC & QA	9	1000000	9.000.000
Karyawan Pemasaran (Promosi)	3	800000	2.400.000
Staff Pembelian	2	900000	1.800.000
Staff Keuangan	2	900000	1.800.000
Kepala HRD	1	2000000	2.000.000
Staff HRD	2	900000	1.800.000
Kepala Keamanan	1	1000000	1.000.000
Satpam	6	800000	4.800.000
Kepala Kesehatan	1	2000000	2.000.000
Tim Kesehatan	6	1000000	6.000.000
Cleaning Service	9	800000	7.200.000
TOTAL			185.300.000

Gaji karyawan dalam 1 tahun dihitung sebanyak 13 bulan gaji (1 bulan gaji digunakan untuk tunjangan hari raya karyawan).

$$\begin{aligned}\text{Gaji karyawan dalam 1 tahun} &= \text{Rp } 185.300.000 \times 13 \text{ bulan} \\ &= \text{Rp } 2.408.900.000\end{aligned}$$

D.7. Perhitungan Harga Tanah dan Bangunan

Luas tanah	= 8400 m ²
Luas bangunan	= 7408 m ²
Harga tanah per m ²	= Rp 600.000
Harga bangunan per m ²	= Rp 1.000.000
Harga tanah total	= Rp 5.040.000.000
Harga bangunan	= Rp 7.408.000.000
Total seluruh	= Rp 12.448.000.000

APPENDIX E

TUGAS KHUSUS - ANALISA PASAR

APPENDIX E

TUGAS KHUSUS - ANALISA PASAR

Susu merupakan salah satu minuman yang sangat menyehatkan, baik bagi anak-anak maupun bagi orang dewasa karena kandungan gizinya terhitung lengkap. Berdasarkan sumbernya ada berbagai macam susu yang dijual di pasaran Indonesia, yaitu susu yang bersumber dari hewan seperti susu kambing, susu sapi dan susu nonhewani seperti susu kedelai. Sedangkan berdasarkan produknya ada berbagai macam susu yang dijual di pasaran Indonesia, yaitu susu segar yang berbentuk cair, susu bubuk, susu skim dan susu kental manis. Susu segar yang dikonsumsi di Indonesia adalah susu sapi yang berasal dari hasil perahan sapi. Selain dari sapi, susu cair juga bisa dihasilkan dari biji kedelai melalui proses ekstraksi. Susu bubuk, susu skim dan susu kental manis yang beredar di pasaran Indonesia dewasa ini hanya berasal dari susu hewani.

Prarencana pabrik susu kedelai kental manis ini merupakan suatu inovasi baru yakni dari segi bahan baku yang digunakan. Selama ini, susu sapi baik dalam bentuk susu cair, susu bubuk maupun susu kental manis adalah sumber susu yang paling banyak atau sering dikonsumsi oleh sebagian besar penduduk Indonesia. Susu kedelai yang ada di pasaran Indonesia hanya dijual dalam bentuk susu cair dan belum diproduksi dalam bentuk susu kental manis. Susu kedelai memiliki beberapa keunggulan sehingga susu kedelai tidak kalah dengan susu kental manis yang berasal dari susu hewani, diantaranya kandungan proteinnya tinggi [1,2], tidak mengandung kolesterol (lemak jenuh), cocok untuk penderita *lactose intolerance* [3]. Oleh karena itu, direncanakan pendirian pabrik “**SUSU KEDELAI KENTAL MANIS**”.

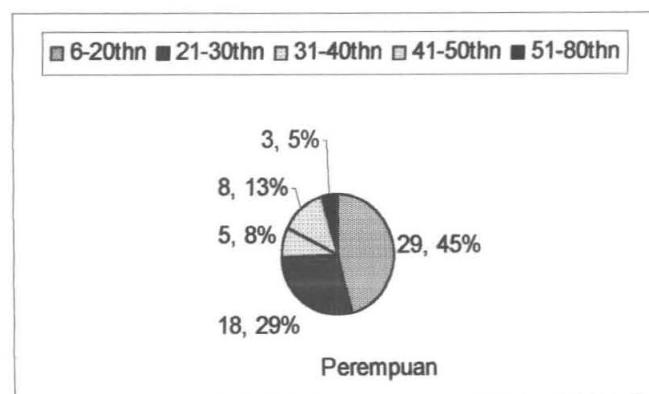
E.1. Analisa Pasar

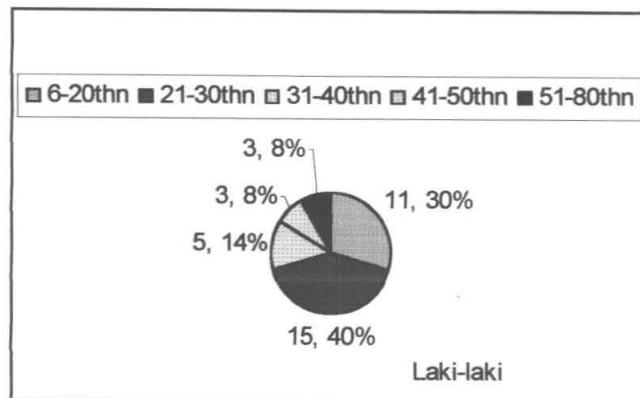
Penentuan kapasitas produksi dari prarencana pabrik susu kedelai kental manis ini dilakukan dengan cara analisa pasar yakni melalui *polling* terhadap konsumen. Penentuan kapasitas melalui *polling* ini dilakukan karena keterbatasan data-data pendukung baik dari BPS (Badan Pusat Statistik) maupun dari Internet.

Keterbatasan data-data yang ada disebabkan karena susu kedelai belum banyak dikonsumsi oleh penduduk Indonesia dan susu kental manis dari kedelai belum ada dan belum diproduksi di Indonesia bahkan di dunia.

E.1.1. Hasil Polling

Polling dilakukan untuk mengetahui seberapa banyak penduduk Indonesia yang sering minum susu kedelai dan jumlah yang diminum setiap hari (liter/hari). Jumlah responden dari *polling* yang dilakukan adalah 100 orang yang mewakili seluruh penduduk Indonesia. *Polling* dilakukan di empat daerah asal responden, yakni Lumajang, Ponorogo, Flores dan Surabaya. Dari empat daerah tersebut, sebagian besar responden adalah masyarakat golongan menengah ke bawah dan masyarakat di kota kecil yang berusia 6-80 tahun. Pemilihan responden tersebut didasarkan pada sasaran pemasaran dari prarencana pabrik susu kedelai kental manis yakni untuk masyarakat Indonesia yang menyukai susu kental manis kedelai, khususnya masyarakat golongan menengah ke bawah dan masyarakat di kota kecil dari anak-anak sampai orang dewasa. Data-data latarbelakang responden berdasarkan jenis kelamin, usia, dan daerah asal dapat dilihat pada gambar E.1.





Gambar E.1. Data responden berdasarkan usia dan jenis kelamin

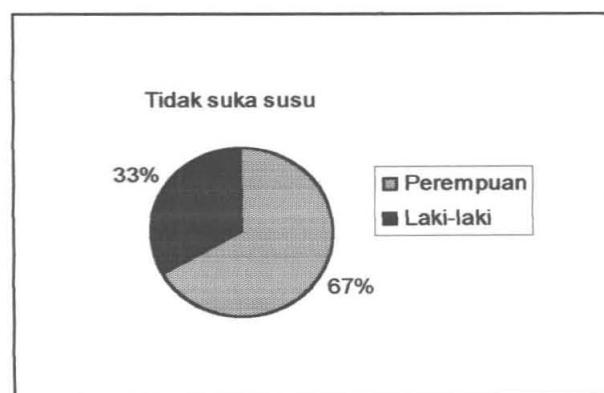
Pemilihan usia responden pada *polling* adalah dari usia 6-80 tahun sehingga diharapkan dapat mewakili seluruh masyarakat Indonesia, karena pola konsumsi juga ditentukan oleh usia. Usia minimum responden pada *polling* adalah 6 tahun (anak usia Sekolah Dasar), karena pada kenyataannya sebagian besar anak-anak Indonesia yang berusia kurang dari 6 tahun masih minum ASI (Air Susu Ibu). Selain itu juga dimaksudkan agar data hasil *polling* yang didapatkan lebih akurat. Usia maksimum responden pada *polling* adalah 76 tahun, hal ini dilakukan mengingat batas usia maksimum penduduk Indonesia dewasa ini diperkirakan pada usia 70-80 tahun.

Wilayah juga merupakan salah satu ciri heterogenitas dari masyarakat Indonesia, sehingga asal responden pada *polling* juga ditentukan berdasarkan wilayah yang berbeda-beda. Untuk menggambarkan heterogenitas berdasarkan wilayah, maka *polling* yang dilakukan mengambil responden dari empat daerah asal responden yang berbeda (Surabaya, Lumajang, Ponorogo, dan Flores). Penentuan wilayah tersebut didasarkan pada beberapa alasan antara lain: mudah dijangkau, mewakili masyarakat di kota kecil dan kota besar, serta mewakili wilayah Indonesia bagian barat (Surabaya, Ponorogo, dan Lumajang) dan Indonesia bagian timur (Flores). Dari keempat daerah asal responden tersebut diharapkan bisa mewakili masyarakat Indonesia secara menyeluruh.

Pemilihan daerah asal responden tersebut setidaknya dapat mewakili seluruh masyarakat Indonesia berdasarkan wilayah, karena pola konsumsi juga dipengaruhi oleh wilayah yang ditempati konsumen. Karena sasaran pemasaran

dari prarencana pabrik susu kedelai kental manis adalah seluruh wilayah Indonesia baik yang ada di kota besar maupun di kota kecil, maka *polling* yang dilakukan juga diharapkan bisa mewakili sasaran tersebut. Surabaya mewakili masyarakat Indonesia yang ada di kota besar, Ponorogo dan Lumajang mewakili masyarakat di kota kecil, dan Flores mewakili masyarakat Indonesia bagian timur. Dengan alasan tersebut maka dapat dikatakan bahwa *polling* yang dilakukan bisa mewakili dan menggambarkan heterogenitas akan pola konsumsi dari masyarakat Indonesia yakni berdasarkan daerah asal responden.

Pola konsumsi juga ditentukan oleh jenis kelamin konsumen, sehingga *polling* yang dilakukan diharapkan bisa mewakili hal tersebut. Jumlah responden perempuan pada *polling* yang dilakukan lebih banyak dari jumlah responden laki-laki. Hal ini dilakukan karena pada kenyataannya, jumlah penduduk Indonesia saat ini lebih banyak kaum perempuan. Meskipun jumlah perempuan Indonesia lebih banyak dari laki-laki tetapi sebagian besar perempuan Indonesia tidak suka minum susu karena berbagai alasan, diantaranya adalah takut gemuk. Hal ini juga ditunjukkan pada hasil *polling*, dimana jumlah responden perempuan yang tidak suka minum susu lebih banyak dari responden laki-laki seperti terlihat pada gambar E.2. Jadi pemilihan jumlah responden berdasarkan jenis kelamin diharapkan bisa mewakili dan menggambarkan heterogenitas akan pola konsumsi dari masyarakat Indonesia.



Gambar E.2. Data responden yang tidak suka minum susu berdasarkan jenis kelamin

E.2. Penentuan Kapasitas Produksi

Produk susu kedelai kental manis yang dihasilkan akan ditujukan untuk masyarakat Indonesia yang menyukai susu kental manis kedelai, khususnya untuk masyarakat golongan menengah ke bawah dari anak-anak sampai orang dewasa, baik yang ada di kota besar maupun di kota kecil. Data yang didapatkan dari hasil *polling*, yaitu :

- persentase orang yang menyukai susu kedelai dari 100 responden
- persentase orang yang menyukai susu kental manis kedelai dari jumlah orang yang menyukai susu kedelai
- konsumsi susu (liter/hari) dan persentase orang yang menyukai susu kental manis kedelai rasa tertentu dari jumlah orang yang menyukai susu kental manis kedelai.

Data yang didapatkan dari hasil *polling* secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel E.1.

Tabel E.1. Data hasil *polling* (jumlah responden = 100 orang)

Usia (tahun)	Susu sapi (orang)	Susu kedelai (orang)		Tidak suka minum susu (orang)
		Cair	Kental manis	
6-20	16	21	20	3
21-30	13	13	6	7
31-40	5	4	3	1
41-50	1	10	8	-
51-80	4	1	-	1
Jumlah	39	49	37	12

Dari hasil *polling* yang dilakukan terhadap berbagai latarbelakang responden yang berbeda-beda (jenis kelamin, daerah asal, dan usia) didapatkan bahwa 88 orang responden suka minum susu, 12 orang responden tidak minum susu. Delapan puluh delapan orang responden suka minum susu terdiri dari 39 orang responden suka minum susu sapi dan 49 orang responden suka minum susu kedelai. Dari 49 orang responden yang minum susu kedelai, 37 orang berharap adanya susu kental manis dari kedelai. Dari 37 orang yang berharap adanya susu kental manis kedelai diantaranya 14 orang suka rasa coklat, 20 orang suka yang murni, dan 3 orang suka rasa strawberry dengan persentase sebagai berikut :

- rasa coklat : $\frac{14}{37} \times 100\% = 37,8\%$

- murni : $\frac{20}{37} \times 100\% = 54\%$

- rasa strawberry : $\frac{3}{37} \times 100\% = 8,2\%$

APPENDIX F
TUGAS KHUSUS
PERANCANGAN EVAPORATOR

APPENDIX F

TUGAS KHUSUS

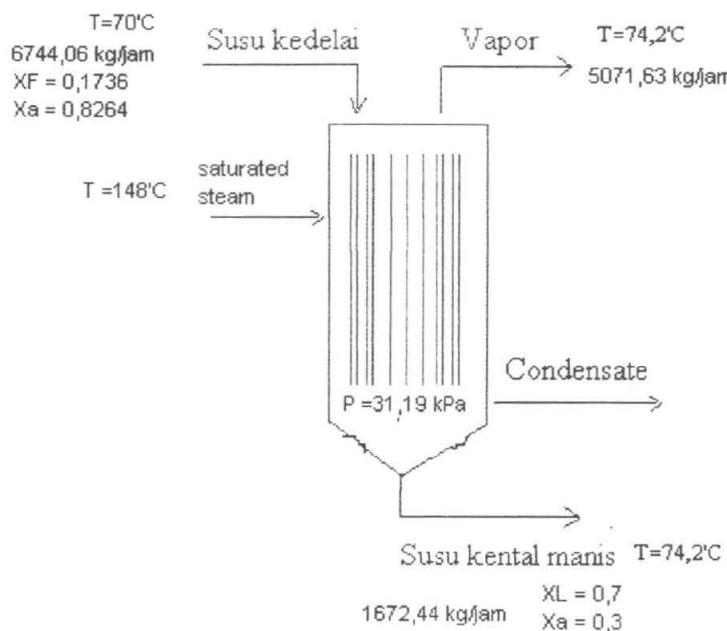
PERANCANGAN EVAPORATOR

Untuk membuat susu kedelai kental manis, susu kedelai diuapkan dengan menggunakan *evaporator*. Evaporator sendiri mempunyai berbagai macam jenis antara lain *horizontal evaporator*, *vertical evaporator*, *falling film evaporator*, *forced-circulation evaporator* dan *agitated evaporator*. Pemilihan evaporator tergantung dari materi yang akan diuapkan, pada tabel F.1 dapat terlihat jenis *evaporator* dan kegunaannya [28]

Tabel F.1. Jenis evaporator dan penggunaannya

Jenis evaporator	Kegunaan
<i>Horizontal evaporator</i>	Bahan yang viskositasnya rendah
<i>Vertical evaporator</i>	Industri kaustik soda, gula, dan garam
<i>Falling film evaporator</i>	Bahan yang sensitif terhadap panas, misalnya jus buah-buahan
<i>Forced-circulation evaporator</i>	Larutan yang kental
<i>Agitated evaporator</i>	Bahan yang viskositasnya tinggi

Susu kedelai mengandung protein tinggi yang sangat sensitif terhadap panas, sehingga tipe *evaporator* yang cocok adalah *falling film evaporator*.



Gambar.F.1 single efect evaporator

Data dari neraca massa diperoleh :

Komponen masuk evaporator

Susu kedelai manis masuk *evaporator* sebanyak 6744,06 kg/jam dengan massa komponen :

- protein = 197,83 kg/jam
- lemak = 107,39 kg/jam
- karbohidrat = 102,30 kg/jam
- abu = 15,26 kg/jam
- NaHCO₃ = 2,61 kg/jam
- gula = 745,31 kg/jam
- air = 5573,36 kg/jam

Fraksi massa susu kedelai masuk evaporator :

$$= \frac{m. protein + m. lemak + m. karbohidrat + m. abu + m. gula + m. NaHCO_3}{total massa masuk evaporator}$$

$$= \frac{197,83 + 107,39 + 102,3 + 15,26 + 2,61 + 745,31}{6744,06} = 0,1736$$

$$\text{Fraksi massa air} = 1 - 0,1736 = 0,8264$$

Komponen keluar evaporator

Komponen keluar *evaporator* berupa susu kental manis kedelai dan uap air. Kandungan air dalam susu kental manis berdasarkan Standar adalah 30%.

Neraca massa :

$$F = L + V$$

Neraca komponen susu kedelai :

$$F \cdot XF = L \cdot XL + V \cdot XV$$

$$6744,06 \cdot 0,1736 = L \cdot 0,7 + V \cdot 0$$

$$L = 1672,44$$

$$V = F - L = 6744,06 - 1672,44 = 5071,63$$

Susu kedelai kental manis keluar *evaporator* = 1672,44 kg/jam dengan komponen susu kental manis kedelai :

$$- protein = 197,83 \text{ kg/jam}$$

$$- lemak = 107,39 \text{ kg/jam}$$

$$- karbohidrat = 102,30 \text{ kg/jam}$$

$$- ash = 15,26 \text{ kg/jam}$$

$$- NaHCO_3 = 2,61 \text{ kg/jam}$$

$$- gula = 745,31 \text{ kg/jam}$$

$$- air = 5573,36 \text{ kg/jam} - 5071,63 \text{ kg/jam} = 501,73 \text{ kg/jam}$$

Data dari neraca panas diperoleh :

Masuk evaporator

$$Q \text{ masuk evaporator} = 1127292,51 \text{ kJ/jam}$$

$$Q \text{ steam} = 11790207,45 \text{ kJ/jam}$$

$$\text{Massa steam} = \frac{11790207,45 \text{ kJ / jam}}{2200,74 \text{ kJ / kg}} = 5337,85 \text{ kg / jam}$$

Keluar evaporator

- Mencari kenaikan titik didih

$$\Delta T_b = m \times K_b$$

- Mencari molalitas

mol pada komponen susu kedelai :

$$\text{protein} = (197,83 / 131,2) \times 1000 = 1507,83 \text{ mol}$$

$$\text{lemak} = (107,39 / 278) \times 1000 = 386,30 \text{ mol}$$

$$\text{karbohidrat} = (102,30 / 20000) \times 1000 = 5,12 \text{ mol}$$

$$\text{NaHCO}_3 = (2,61 / 84) \times 1000 = 31,13 \text{ mol}$$

$$\text{Gula} = (745,31 / 342,2) \times 1000 = 2177,35 \text{ mol}$$

$$\text{Mol total} = 4102,61 \text{ mol}$$

$$\text{Molalitas} = \frac{\text{mol total solute}}{1000 \text{ g pelarut}} = \frac{4102,61 \text{ mol}}{501,73 \text{ kg} \cdot 1000} \times 1000 = 8,18$$

$$\Delta T_b = m \times K_p$$

$$= 8,18 \times 0,513 [33]$$

$$= 4,2$$

- Mencari tekanan evaporator

$$\text{Suhu keluar evaporator} = 74,2^\circ\text{C}$$

Tekanan evaporator diperoleh dari steam table A-2-9 pada [26] hal 857

$$\text{Titik didih air} = 74,2^\circ\text{C} - 4,2^\circ\text{C} = 70^\circ\text{C}$$

$$P \text{ saat } 70^\circ\text{C} = 31,19 \text{ kPa}$$

$$\text{Steam economy} = \frac{V}{S} = \frac{5071,63\text{kg/jam}}{5337,85\text{kg/jam}} = 0,95$$

(untuk range steam economy 0,9-0,95 → single effect) [31]

A. Menghitung Luas Permukaan Evaporator

Dari [60] hal 211 untuk falling film evaporator diperoleh harga :

$$U = 510 \text{ Btu/jam ft}^2 F = 882,67 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Delta T = T_{\text{steam}} - T_1 = 421 \text{ K} - 347,2 \text{ K} = 73,2 \text{ K}$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T$$

$$A = \frac{Q}{U \cdot \Delta T} = \frac{3275057,63W}{882,67W/m^2K \cdot 73,2K} = 50,68 m^2 = 545,41 \text{ ft}^2$$

Dipilih panjang pipa 8 ft dan ukuran 1 ½ in OD, 1 7/8 in square pitch.

$$A = Nt \cdot \pi \cdot D \cdot L$$

$$Nt = \frac{545,41 \text{ ft}^2}{8 \text{ ft} \cdot \pi \cdot (1,5/12) \text{ ft}} = 174 \approx 176$$

Dari 38 tabel 9 diperoleh ID = 33 in

Shell side	Tube side
ID = 33 in	Number;length = 176;96in
Baffle space = 12 in	OD;BWG;pitch = 1,5 in ; 16 ; 1 7/8 in square
Passes = 1	Passes = 1

Fluida panas		Fluida dingin	ΔT
298,4	Higher Temp. $^{\circ}\text{F}$	165,56	132,84
298,4	Lower Temp. $^{\circ}\text{F}$	158	140,4
0		8,1	8,1

$$\Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{132,84 - 140,4}{\ln\left(\frac{132,84}{140,4}\right)} = 146,47^{\circ}\text{F}$$

$$T_s = 298,4^{\circ}\text{F}$$

$$T_a = \frac{165,56 + 158}{2} = 161,78^{\circ}\text{F}$$

Fluida panas : shell side, steam

$$(4') a_s = \frac{ID.C'.B}{144.P_t} = \frac{33.0,25.12}{144.1} = 0,7 \text{ ft}^2 \quad [38,\text{p.138}]$$

$$(5') G_s = \frac{W}{a} = \frac{11767,82 \text{ lb/jam}}{0,7 \text{ ft}^2} = 16811,17 \text{ lb/jam ft}^2$$

$$(6') \text{ Pada } T_s = 298,4^{\circ}\text{F}$$

$$\mu_{\text{steam}} = 0,036 \text{ lb/jam ft}$$

$$De = 1,48 \text{ in} = 0,12 \text{ ft} \quad [38,\text{p.838}]$$

$$Re_s = De.G_s / \mu = \frac{0,12.16811,17}{0,036} = 56037,24$$

$$(7') \text{ untuk steam } h_o = 1500 \text{ Btu/jam ft } ^{\circ}\text{F}$$

fluida dingin : tube side , susu kedelai

$$(4') \text{ Flow area , } a_t = 1,47 \text{ in}^2 \quad [38,\text{p.843}]$$

$$a_t = \frac{Nt.a'_t}{144.n} = \frac{176.1,47}{144.1} = 1,79 \text{ ft}^2 \quad [38,\text{p.158}]$$

$$(5') G_t = \frac{W}{at} = \frac{14867,96 \text{ lb/jam}}{1,79 \text{ ft}^2} = 8306,12 \text{ lb/jam ft}^2$$

$$V = G_t / (3600.\rho) = 8306,12 / 3600. 64,67 = 0,04 \text{ fps}$$

$$\mu = 1,63 \cdot 10^{-3} \text{ kg/ms} = 3,942 \text{ lbm/ft.h} \quad [6]$$

$$D = 1,37 / 12 = 0,11 \text{ ft} \quad [38,\text{p.843}]$$

$$Re_t = D.G_t / \mu = 0,11.8306,12 / 3,942 = 231,78$$

$$(7') \text{ untuk ID} = 1,37 \text{ in} \rightarrow f = 0,86$$

$$V = 0,04 \text{ fps}, T = 161,78^{\circ}\text{F} \rightarrow h_i = 430 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ F} \quad [38,\text{p.835}]$$

$$h_i = 430 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ F} \cdot 0,86 = 369,8 \text{ Btu/h ft}^2 \text{ F}$$

$$(8') h_{io} = h_i \cdot ID / OD = 369,8 \cdot 1,37 / 1 = 506,63 \text{ Btu/h.ft}^2.F$$

$$(9') U_c = \frac{h_{io}.h_o}{h_{io} + h_o} = \frac{506,63 \cdot 1500}{506,63 + 1500} = 378,72 \text{ Btu/h.ft}^2.F$$

$$(10') U_D = \frac{Q}{A \Delta T} = \frac{3275057,63}{545,41 \cdot 146,47} = 40,99 \text{ Btu/h.ft}^2.F$$

$$(11') R_d = \frac{U_c - U_D}{U_c U_D} = \frac{378,72 - 40,99}{378,72 \cdot 40,99} = 0,02 \text{ h.ft}^2.F/Btu$$

Pengecekan Pressure Drop

Fluida panas : shell side , steam

$$\text{Untuk } Re_s = 56037,24 \rightarrow f = 0,0016 \text{ ft}^2/\text{in}^2 \quad [38,\text{p.839}]$$

$$(1) \text{ No. of crosses, } N + 1 = 12 \cdot L/B \\ = 12 \cdot 96/12 \text{ in} = 96$$

$$D_s = 33/12 = 2,75 \text{ ft}$$

$$\text{Spesifik volume steam, } v = 6,6082 \text{ ft}^3/\text{lb} \quad [38,\text{p.816}]$$

$$S = (1 / 6,6082) / 62,5 = 2,42 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta P = \frac{f \cdot G_s^2 \cdot D_s \cdot (N+1)}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \Phi_s}.$$

$$\Delta P = \frac{0,0016 \cdot 16811,17^2 \cdot 2,75 \cdot 96}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot 2,42 \cdot 10^{-3} \cdot 0,12 \cdot 1} = 7,94 \text{ psi}$$

fluida dingin : tube side, susu kedelai

$$(1) \text{ untuk } Re_t = 231,78, f = 0,0025 \quad [38,\text{p.836}]$$

$$(2) \Delta P = \frac{f \cdot G_t^2 \cdot L \cdot n}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot D \cdot s \cdot \Phi_s}$$

$$s = \rho/62,5 = 64,67/62,5 = 1,034$$

$$(3) \Delta P = \frac{0,0025 \cdot 8306,12^2 \cdot 8,1}{5,22 \cdot 10^{10} \cdot 0,11 \cdot 1,034 \cdot 1} = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ psi}$$

$$(4) \Delta P_t = \frac{4n}{s} \frac{V^2}{2.g} = \frac{4.1}{1,034} \cdot 0,001 = 0,004 \text{ psi}$$

$$(5) \Delta P_T = 2,3 \cdot 10^{-4} \text{ psi} + 0,004 \text{ psi} = 0,0042 \text{ psi}$$

ΔP total = 7,94 + 0,0042 = 7,9442 psi. < 10 psi → memenuhi

B. Menghitung Diameter dan Tinggi Evaporator

Bagian pemisahan liquid-uap (drum separator)

$$L = 1672,44 \text{ kg/jam} = 3687,06 \text{ lb/jam}$$

$$V = 5071,63 \text{ kg/jam} = 11180,92 \text{ lb/jam}$$

P uap = 31,19 Kpa, dari [28] tabel A-2-9 didapat :

Spesifik volume uap = 5,042 m³/kg

$$\rho_{\text{uap}} = 0,2 \text{ kg/m}^3 = 0,012 \text{ lb/ft}^3$$

$$\rho_{\text{susu kental manis kedelai}} = 81,16 \text{ lb/ft}^3$$

$$\frac{w_L}{w_V} \sqrt{\frac{\rho_V}{\rho_L}} = \frac{1,02}{3,11} \sqrt{\frac{0,012}{81,16}} = 4,01 \cdot 10^{-3} \quad [61]$$

$$V_{\max} = kv \sqrt{\frac{\rho_L - \rho_V}{\rho_V}} = 0,35 \sqrt{\frac{81,16 - 0,012}{0,012}} = 28,78 \text{ ft/s}$$

$$V_{\text{design}} = 0,75 \cdot V_{\max}$$

$$= 0,75 \cdot 28,78 \text{ ft/s} = 21,59 \text{ ft/s}$$

$$qv = \frac{w_V}{\rho_V} = \frac{3,11 \text{ lb/s}}{0,012 \text{ lb/ft}^3} = 259,17 \text{ ft}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{qv}{V_{\text{design}}} = \frac{259,17 \text{ ft}^3/\text{s}}{21,59 \text{ ft/s}} = 12,00 \text{ ft}^2$$

$$A = \pi/4 \times D^2$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 12,00}{3,14}} = 3,91 \text{ ft} = 1,2 \text{ m}$$

Rate liquida = 1672,44 kg/jam = 27,87 kg/menit

Waktu tinggal = 15 menit

$$\text{Volume liquid} = \frac{\text{rate liquid}}{\rho} \times \text{waktu} = \frac{27,87 \text{ kg/menit}}{1300 \text{ kg/m}^3} \times 15 \text{ menit} = 0,32 \text{ m}^3$$

$$\text{Volume liquid} = \pi/4 \cdot D^2 \cdot H_L$$

$$0,32 \text{ m}^3 = \pi/4 \cdot 1,2^2 \cdot H_L$$

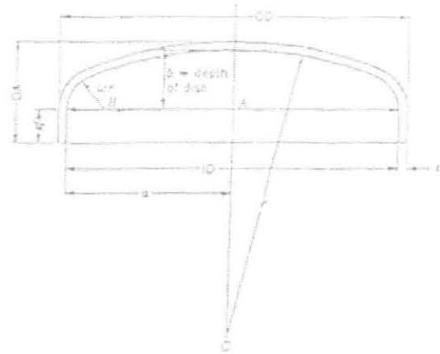
$$H_L = 0,28 \text{ m}$$

Dari tabel 4-11 [61] diperoleh tinggi ruang uap = 10 in

$$H_v = 10 \text{ in} = 0,27 \text{ m}$$

$$\text{Tinggi drum separator} = 0,27 \text{ m} + 0,28 \text{ m} = 0,55 \text{ m}$$

C. Perancangan Shell dan Tutup Evaporator



Tebal shell

$$\begin{aligned} P_{\text{operasi}} &= \left(\frac{\rho H}{144} \right) \text{psi} \\ &= \left(\frac{64,67 \text{ lb}/\text{ft}^3 \cdot 8 \text{ ft}}{144} \right) \text{psi} = 3,6 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$P_{\text{design}} = 1,5 \cdot P_{\text{operasi}} = 1,5 \cdot 3,6 \text{ psi} = 5,4 \text{ psi}$$

$$ts = \frac{P.ID}{2.(f.E - 0,6P)} + c \quad [37,p.254]$$

dimana :

$$P = P \text{ design} = 5,4 \text{ psi}$$

$$ID = 3,91 \text{ ft} = 46,92 \text{ in}$$

Konstruksi : bahan konstruksi = Stainless steel SA-240, grade S dengan

$$f = \text{stress maksimum yang diijinkan} = 75000 \text{ psi}$$

[37l,p.342]

tipe sambungan = double-welded butt joint, dengan

$$E = \text{welded-joint efficiency} = 0,8$$

[37,p.254]

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$ts = \frac{5,4 \text{ psi} \cdot 46,92 \text{ in}}{2(75000 \cdot 0,8 - 0,6 \cdot 5,4) \text{ psi}} + 1/8 \text{ in}$$

$$= 0,127 \text{ in} = 3/16 \text{ in}$$

Tebal dished head

$$ts = 3/16 \text{ in}$$

$$OD = ID + 2 \cdot ts$$

$$= 46,92 \text{ in} + (2 \cdot 3/16)$$

$$= 47,29 \text{ in}$$

Dari 37l table 5.7, p.90 diperoleh :

$$OD \text{ standar} = 48 \text{ in}$$

$$r \text{ (crown radius/radius of dish)} = 48 \text{ in}$$

$$icr \text{ (inside corner radius/knuck radius)} = 3 \text{ in}$$

$$W = \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{rc}{icr}} \right) \quad [37,p.138]$$

$$= \frac{1}{4} \left(3 + \sqrt{\frac{48}{3}} \right) = 1,75$$

$$a = ID/2 = 46,92/2 = 23,46 \text{ in}$$

$$AB = ID/2 - icr = (23,46-3) \text{ in} = 20,46 \text{ in}$$

$$BC = r - icr = 48 - 3 = 45 \text{ in}$$

$$b = r - \sqrt{BC^2 - AB^2} = 48 - \sqrt{45^2 - 20,46^2} = 7,92 \text{ in}$$

$$td = \frac{P \cdot rc \cdot W}{2 \cdot f \cdot E - 0,2 \cdot P} + c \quad [37, \text{p.138}]$$

dimana :

$$P = P \text{ design} = 5,4 \text{ psi}$$

Konstruksi : bahan konstruksi = Stainless steel SA-240, grade S dengan

$$f = \text{stress maksimum yang diijinkan} = 75000 \text{ psi}$$

[37, p.342]

tipe sambungan = double-welded butt joint, dengan

$$E = \text{welded-joint efficiency} = 0,8$$

[37, p.254]

$$c = \text{corrosion allowance} = 1/8 \text{ in}$$

$$td = \frac{5,4 \text{ psi} \cdot 48 \text{ in} \cdot 1,75}{2(75000 \text{ psi} \cdot 0,8) - (0,2 \cdot 5,4)} + 1/8 \text{ in} = 0,129 \text{ in} = 3/16 \text{ in}$$

$$\text{dipilih panjang straight-flange (sf)} = 2 \text{ in} \quad [37, \text{p.93}]$$

$$OA = t + b + sf$$

$$= (3/16 + 7,92 + 2) \text{ in}$$

$$= 10,11 \text{ in} = 0,84 \text{ ft} = 0,26 \text{ m}$$

Tinggi evaporator = tinggi drum separator + tinggi tube + tinggi dishead

$$= 0,55 \text{ m} + \left(\frac{8 \text{ ft}}{3,2808} \right) \text{ m} + 0,26 \text{ m} = 3,25 \text{ m}$$

D. Perhitungan Tebal Isolasi

$$T_f = \frac{T_1 + T_2}{2} = \frac{347,2 + 303}{2} = 325,1 K$$

$$\beta = \frac{1}{T_f} = \frac{1}{325,1} = 3,08 \cdot 10^{-3} /^{\circ} K$$

$$N_{Gr} = \frac{H^3 \cdot \rho^2 \cdot g \cdot \beta \cdot \Delta T}{\mu^2}$$

$$= \frac{2,4^3 \cdot 1,089^2 \cdot 9,8 \cdot 3,08 \cdot 10^{-3} \cdot 44,2}{(1,96 \cdot 10^{-5})^2} = 4,77 \cdot 10^{11}$$

$$N_{Pr} = 0,703$$

$$N_{Gr} \cdot N_{Pr} = 4,77 \cdot 10^{11} \cdot 0,703 = 3,36 \cdot 10^{11}$$

Untuk vertikal silinder dengan $N_{Gr} \cdot N_{Pr} > 10^9 = h = 1,24 \cdot \Delta T^{1/3}$

Diambil isolasi jenis glasswool dengan $k = 0,0414 \text{ W/m K}$

$$h_o = 1,24 (T_1 - T_2)^{1/3}$$

$$= 1,24 (347,2 - 303)^{1/3}$$

$$= 4,38 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$\Delta x_o = \frac{k}{h_o} = \frac{0,0414}{4,38} = 9,45 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

E. Perencanaan Nozzle

1. Nozzle steam masuk evaporator

Rate steam = 11767,82 lb/jam

Dari Geankoplis pada $T = 298,4^{\circ}\text{F} \rightarrow \rho = 0,034 \text{ lb/ft}^3$

$$\mu_{steam} = 0,97 \cdot 10^{-5} \text{ lb/ft.s}$$

$$q = \frac{\text{rate steam}}{\rho} = \frac{11767,82 \text{ lb/jam}}{0,034 \text{ lb/ft}^3} = 346112,36 \text{ ft}^3/\text{jam} = 96,14 \text{ ft}^3/\text{s}$$

assumsi : aliran turbulent

$$\begin{aligned} D_{(opt)} &= 3,9 (q)^{0,45} \cdot (\rho)^{0,13} & [41] \\ &= 3,9 (96,14)^{0,45} \cdot (0,034)^{0,13} \\ &= 19,59 \text{ in} \end{aligned}$$

Ditetapkan diameter nozzle = 20 in = 1,67 ft

$$\text{Flow area (A)} = \frac{1}{4} \pi \cdot \text{ID}^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 20^2 = 314 \text{ in}^2 = 2 \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan aliran} = \frac{q}{A} = \frac{96,14 \text{ ft}^3 / \text{s}}{2 \text{ ft}^2} = 48,07 \text{ ft / s}$$

Cek aliran :

$$Nre = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{0,034 \cdot 1,67 \cdot 48,07}{0,97 \cdot 10^{-5}} = 281382,95$$

Karena Nre > 2100 (assumsi aliran turbulen \rightarrow benar)

Digunakan standar 150 lb forged slip-on flange

Untuk pipa ukuran nominal 20 in :

Diameter luar flange, A = 27 ½ in

Tebal flange, T = 1 11/16 in

Diameter luar yang menonjol, R = 23 in

Diameter *hub* pada alas, E = 22 in

Panjang *hub*, L = 2 7/8 in

Diameter dalam dinding pipa standar, B = 20,19 in

Jumlah lubang bolt = 20

Diameter lubang bolt = 1 ¼ in

Diameter lingkaran bolt = 1 1/8 in

[37,p.222]

2. Nozzle susu kedelai masuk evaporator

Rate susu kedelai = 6744,06 kg/jam = 14867,95 lb/jam

$$\rho = 64,67 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu_{\text{susu kedelai}} = 1,095 \cdot 10^{-3} \text{ lb/ft.s} [6]$$

$$q = \frac{rate\ susu}{\rho} = \frac{14867,95\ lb/jam}{64,67\ lb/ft^3} = 229,90\ ft^3/jam = 0,064\ ft^3/s$$

assumsi : aliran turbulent

$$\begin{aligned} D_{(opt)} &= 3,9 (q)^{0,45} \cdot (\rho)^{0,13} & [41] \\ &= 3,9 (0,064)^{0,45} \cdot (64,67)^{0,13} \\ &= 1,94\ in \end{aligned}$$

Ditetapkan diameter nozzle = 2 in = 0,167 ft

$$\text{Flow area (A)} = \frac{1}{4} \pi \cdot ID^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 2^2 = 3,14\ in^2 = 0,02\ ft^2$$

$$\text{Kecepatan aliran} = \frac{q}{A} = \frac{0,064\ ft^3/s}{0,02\ ft^2} = 3,2\ ft/s$$

Cek aliran :

$$Nre = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{64,67 \cdot 0,167 \cdot 3,2}{1,095 \cdot 10^{-3}} = 31561,32$$

Karena Nre > 2100 (assumsi aliran turbulen → benar)

Digunakan standar 150 lb forged slip-on flange

Untuk pipa ukuran nominal 2 in :

Diameter luar flange, A = 6 in

Tebal flange, T = 3/4 in

Diameter luar yang menonjol, R = 3 5/8 in

Diameter *hub* pada alas, E = 3 1/16 in

Panjang *hub*, L = 1 in

Diameter dalam dinding pipa standar, B = 2,44 in

Jumlah lubang bolt = 4

Diameter lubang bolt = 3/4 in

Diameter lingkaran bolt = 5/8 in

[37,p.222]

3. Nozzle susu kedelai kental manis keluar evaporator

Rate susu kedelai = 1672,44 kg/jam = 3687,06 lb/jam

$$\rho = 81,16 \text{ lb/ft}^3$$

$$\mu_{\text{susu kental kedelai}} = 0,0291 \text{ lb/ft.s} [6]$$

$$q = \frac{\text{rate susu kental}}{\rho} = \frac{3687,06 \text{ lb/jam}}{81,16 \text{ lb/ft}^3} = 45,43 \text{ ft}^3/\text{jam} = 0,0126 \text{ ft}^3/\text{s}$$

assumsi : aliran visous

$$\begin{aligned} D_{(\text{opt})} &= 3,0 (q)^{0,36} \cdot (\mu)^{0,18} & [41] \\ &= 3,0 (0,0126)^{0,36} \cdot (0,0291)^{0,18} \\ &= 0,3287 \text{ in} \end{aligned}$$

Ditetapkan diameter nozzle = $\frac{1}{2}$ in = 0,04 ft

$$\text{Flow area (A)} = \frac{1}{4} \pi \cdot \text{ID}^2 = \frac{1}{4} \pi \cdot 0,5^2 = 0,1963 \text{ in}^2 = 1,25 \cdot 10^{-3} \text{ ft}^2$$

$$\text{Kecepatan aliran} = \frac{q}{A} = \frac{0,012 \text{ ft}^3/\text{s}}{1,25 \cdot 10^{-3} \text{ ft}^2} = 9,6 \text{ ft/s}$$

Cek aliran :

$$Nre = \frac{\rho \cdot ID \cdot v}{\mu} = \frac{81,16 \cdot 0,04 \cdot 9,6}{0,0291} = 1115,59$$

Karena Nre < 2100 (assumsi aliran Viscous → benar)

Digunakan standar 150 lb forged slip-on flange

Untuk pipa ukuran nominal $\frac{1}{2}$ in :

Diameter luar flange, A = 3 $\frac{1}{2}$ in

Tebal flange, T = 7/16 in

Diameter luar yang menonjol, R = 1 3/8 in

Diameter hub pada alas, E = 1 3/16 in

Panjang hub, L = 5/8 in

Diameter dalam dinding pipa standar, B = 0,88 in

Jumlah lubang bolt = 4

Diameter lubang bolt = $\frac{1}{2}$ in

Diameter lingkaran bolt = 2 3/8 in

[37,p.222]

Spesifikasi evaporator :

Nama alat	= evaporator
Fungsi	= menguapkan air pada susu kedelai sehingga diperoleh susu kental manis
Tipe	= <i>falling film evaporator</i>
Dasar pemilihan	= cocok untuk bahan yang tidak tahan terhadap panas.
Kondisi operasi	= $T = 74,2^{\circ}\text{C}$ $P = 31,19 \text{ kPa} (\text{ vacuum})$
Sistem operasi	= kontinu
Tinggi evaporator	= 3,25 m
Tebal shell	= 0,131 in = 3/16 in
D_i shell	= 46,92 in
D_o shell	= 47,29 in
Tebal tutup	= 0,135 in = 3/16 in
Bahan kontruksi	= stainless steel SA-240 grade S
Panjang tube	= 8 ft
Jumlah tube	= 176
D_o tube	= 1 $\frac{1}{2}$ in
D_i tube	= 1,37 in
Jumlah evaporator	= 1 buah (<i>single effect evaporator</i>)

APPENDIX G

TUGAS KHUSUS – PLANT WIDE CONTROL ON FLOWSHEET

APPENDIX G

TUGAS KHUSUS – PLANT WIDE CONTROL ON FLOWSHEET

Pengendalian peralatan proses bisa dilakukan secara otomatis maupun manual. Pengendalian secara manual sepenuhnya ditangani tenaga manusia sedangkan pengendalian secara otomatis dilakukan oleh alat kontrol yang bisa bekerja dengan sendirinya.

Pengendalian proses dilakukan secara otomatis apabila tidak mungkin dilakukan secara manual atau biaya operasi alat kontrol lebih murah dibanding dengan tenaga manusia. Selain itu, pengendalian secara otomatis memiliki keuntungan antara lain :

- a. Mengurangi jumlah pegawai dan mempermudah pengoperasian alat

Contoh : pada pabrik susu kedelai kental manis ini terdapat beberapa alat yang berfungsi secara otomatis. Misalnya pada *mixer* II untuk mengontrol suhu dan ketinggian *slurry* kedelai tidak perlu lagi dilakukan secara manual (oleh pegawai) karena alat kontrol bekerja secara otomatis.

- b. Kondisi operasi suatu peralatan tetap terjaga pada kondisi yang diinginkan.

Contoh : pada pabrik susu kedelai kental manis ini suhu operasi dijaga pada kondisi tertentu, misalnya pada *mixer* II suhu operasi dijaga pada suhu 70°C agar kandungan protein tidak rusak

- c. Laju produksi diatur dalam batas-batas yang direncanakan

Dengan adanya alat kontrol ini dapat menjamin produksi susu kedelai kental manis sebesar 40 ton/hari.

- d. Menjamin keselamatan kerja

Dengan adanya alat kontrol proses dapat berjalan sesuai dengan batasan yang ditentukan. Contohnya : semua tangki pada pabrik susu kedelai kental manis ini tidak boleh *overflow* karena dapat membahayakan pekerja. Selain itu, untuk membuka atau menutup valve untuk aliran steam (dengan suhu yang tinggi yaitu 148°C) akan membahayakan bila dilakukan dengan manual (oleh pekerja).

G.1. Sistem Kontrol

Jenis konfigurasi alat kontrol yang digunakan dalam proses pembuatan susu kedelai kental manis adalah jenis *feedback controller*. Adapun pemilihan ini didasarkan pada keuntungan dan kerugiannya *feedback controller* dibandingkan dengan jenis konfigurasi yang lain seperti *feedforward* dan *inferential controller*.

G.2. Jenis controller

a. Proportional Controller (P-CONTROLLER)

Alasan: sederhana, paling murah, dan meningkat respon dari proses yang dikontrol. Menghasilkan *offset* sehingga tidak dapat mencapai set point. Jenis kontrol ini cocok untuk mengontrol tinggi cairan.

Aplikasinya : mixer NaHCO₃, mixer I, *holding tank* I, *holding tank* II, mixer gula, *holding tank* III.

b. Proportional-Integral Controller (PI-CONTROLLER)

Alasan : menghasilkan offset zero sehingga dapat mencapai *set point*. Respon dinamik lambat dan dapat menyebabkan ketidakstabilan untuk menghasilkan respon yang lebih cepat.

Aplikasinya : *cooker*, *heat exchanger*, mixer I, mixer II, evaporator, sterilisasi, *cooler*, dan *holding tank* III.

G.3. Jenis alat kontrol, sensor, final kontrol element yang digunakan.

Tabel G.1 Jenis alat kontrol dan sensor, serta aplikasinya

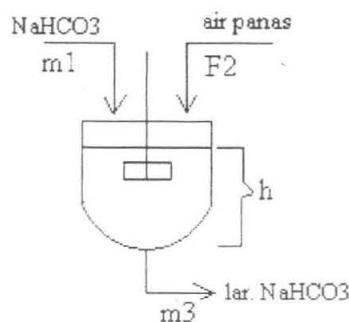
Jenis alat kontrol	Sensor	Aplikasi
Tekanan (PC)	<i>Strain gage</i> Mempunyai ukuran kecil dan massa yang ringan, sensitivitas tinggi, cocok untuk aplikasi statik dan dinamik.	➤ evaporator
Suhu (TC)	Termokopel tipe K (chromel / alumel) Sensor suhu yang paling umum digunakan, harganya murah, dan dapat mengukur suhu dalam range yang besar (-200°C sampai 1200°C)	➤ Cooker ➤ Mixer I ➤ Heat exchanger ➤ Mixer II ➤ Sterilisator ➤ Cooler ➤ Holding tank III

Tinggi cairan (LC)	Differential pressure Metode yang sering digunakan pada industri dan memiliki keakuratan yang tinggi.	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Mixer NaHCO₃ ➤ Mixer I ➤ Holding tank I ➤ Mixer gula ➤ Mixer II ➤ Holding tank III
--------------------	--	--

- Final control element yang digunakan adalah jenis *electric valve*
Alasan : bahan yang digunakan tidak mudah meledak.

G.4. Alat-alat yang dikontrol.

A. Mixer NaHCO₃



Variabel proses : m_1 , h , F_2 , m_3

Dimana : m_1 = laju alir massa NaHCO₃ masuk *mixer* NaHCO₃ (kg/jam)

h = tinggi larutan dalam *mixer* NaHCO₃ (m)

F_2 = laju alir volumetrik air panas masuk *mixer* NaHCO₃ (m³/jam)

m_3 = laju alir massa larutan NaHCO₃ keluar (kg/jam)

Persamaan :

$$\text{- N. M. Total : } m_1 + \rho_2 \times F_2 - m_3 = \frac{dm_3}{dt}$$

$$\text{- N. M. Komponen : } m_1 - m_3 = \rho_3 \times A \times \frac{dh}{dt}$$

Control objective : mengatur ketinggian larutan NaHCO₃ supaya sesuai yang diinginkan

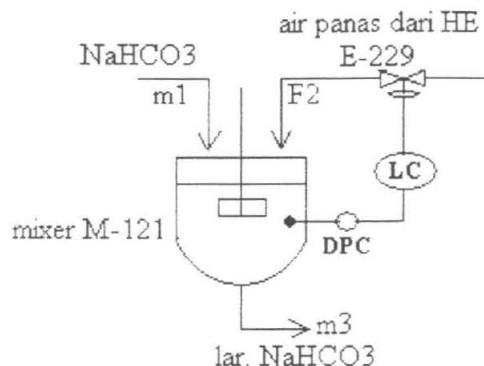
Derajat kebebasan: $F = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} = 4 - 2 = 2$

Disturbance : F_2

Manipulated : $Nm = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} - \text{disturbance}$

$$= 4 - 2 - 1 = 1$$

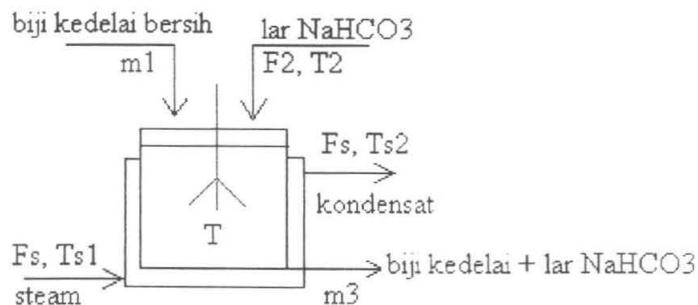
Variabel yang dimanipulasi : laju alir air panas masuk (F_2)



Cara kerja alat kontrol :

- Pada mixer NaHCO_3 ini, terjadi pencampuran antara NaHCO_3 dan air panas untuk menghasilkan larutan NaHCO_3 yang akan digunakan pada *cooker*.
- Ketinggian larutan NaHCO_3 ditentukan sebagai set point. = sesuatu yg ingin dicapai
- Sensor ketinggian larutan NaHCO_3 dalam *mixer* NaHCO_3 menggunakan *differential pressure*.
- Alat ukur yang berupa *differential pressure* membaca ketinggian larutan NaHCO_3 dalam tangki. Ketinggian larutan NaHCO_3 yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan set point. Jika ketinggian telah sesuai dengan yang diinginkan maka kontroler akan mengirimkan perintah kepada *electric valve*, yaitu dengan menggunakan beda tegangan untuk mengurangi bukaan valve.

B. Cooker



Variabel proses : m_1 , F_2 , F_s , m_3 , T_2 , T , T_{s1} , T_{s2}

Dimana : m_1 = laju alir massa biji kedelai bersih masuk *cooker* (kg/jam)

T = suhu dalam *cooker* ($^{\circ}$ C)

T_1 = suhu biji kedelai bersih masuk *cooker* ($^{\circ}$ C)

T_{S1} = suhu steam masuk jaket pemanas ($^{\circ}$ C)

T_{S2} = suhu kondensat ($^{\circ}$ C)

F_2 = laju alir volumetrik larutan NaHCO_3 masuk *cooker* (m^3/jam)

F_s = laju alir volumetrik steam masuk (m^3/jam)

m_3 = laju alir massa camp biji kedelai dan larutan NaHCO_3 keluar *cooker* (kg/jam)

Persamaan :

$$\text{- N. M. Total : } m_1 + \rho_2 \times F_2 - m_3 = \frac{dm_3}{dt}$$

$$\text{- N. M. Komponen : } m_1 - m_3 = \rho_3 \times A \times \frac{dh}{dt}$$

- N. E. Total :

$$m_1 \times C_{p1} \times T_1 + m_2 \times C_{p2} \times T_2 - m_3 \times C_{p3} \times T_3 - U \times A_s \times (T - T_{S2}) = \frac{d(\rho_3 \times A \times h \times C_{p3} \times T_3)}{dt}$$

- N. E. pada jaket pemanas :

$$F_s \times \rho_s \times C_{ps} \times (T_{S1} - T_{S2}) + U \times A_s \times (T_{S2} - T_{S1}) = m_3 \times C_{p3} \times \frac{dT}{dt}$$

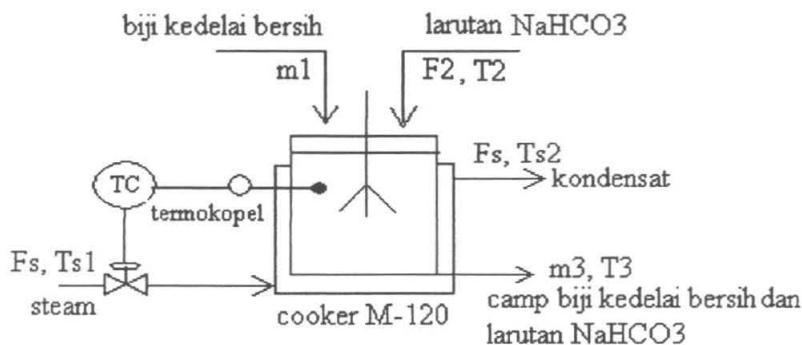
Control objective : menjaga suhu campuran dalam *cooker* agar tetap 70°C

Derajat kebebasan: $F = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} = 8 - 4 = 4$

Disturbance : T_1 , T_{S1} , m_1

M Manipulated : $N_m = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} - \text{disturbance}$
 $= 8 - 4 - 3 = 1$

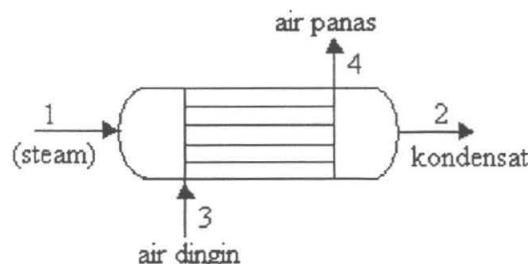
Variabel yang dimanipulasi : laju alir steam masuk (F_s)



Cara kerja alat kontrolnya :

- Pada *cooker* ini, terjadi perendaman biji kedelai bersih dengan menggunakan larutan NaHCO_3 . Suhu pada proses perendaman ini dijaga pada 70°C dengan menggunakan jaket pemanas.
- Suhu campuran dalam *cooker* yang ingin dicapai ditentukan sebagai *set point*.
- Alat ukur yang berupa termokopel membaca suhu campuran dalam tangki. Suhu yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan set point. Jika suhu dalam *cooker* masih kurang dari yang ditentukan maka kontroler akan mengirim perintah kepada *electric valve*, yaitu dengan menggunakan beda tegangan untuk membuka lebih besar valve pada pipa steam masuk ke jaket pemanas. Dan sebaliknya, jika suhu dalam *cooker* melebihi dari yang ditentukan maka bukaan valve pada pipa steam akan dikurangi atau ditutup.

C. Heat Exchanger



Variabel proses : Q , A , U , W_1 , W_2 , W_3 , W_4 , T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , ΔT_{LMTD}

Dimana : Q = laju perpindahan panas di HE (kJ/jam)

A = luas area perpindahan panas (m^2)

U = koefisien perpindahan panas overall ($\text{kJ}/\text{jam} \cdot \text{m}^2 \cdot {}^\circ\text{C}$)
panas menyebarluas.

- W_1 = laju alir massa steam masuk HE (kg/jam)
 W_2 = laju alir massa kondensat (kg/jam)
 W_3 = laju alir massa air dingin masuk HE (kg/jam)
 W_4 = laju alir massa air panas keluar HE (kg/jam)
 T_1 = suhu steam masuk ($^{\circ}\text{C}$)
 T_2 = suhu kondensat ($^{\circ}\text{C}$)
 T_3 = suhu air dingin masuk ($^{\circ}\text{C}$)
 T_4 = suhu air panas keluar ($^{\circ}\text{C}$)
 $\Delta T_{\text{LMTD}} = \log \text{mean temperature driving force } (^{\circ}\text{C})$

Persamaan :

- $Q = U \times A \times \Delta T_{\text{LMTD}}$
- $\Delta T_{\text{LMTD}} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{2,3 \log \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)}$
- $W_1 = W_2$
- $W_3 = W_4$
- $Q = W_1 \times \lambda_{\text{steam}}$
- $Q = W_3 \times C_p \times (T_4 - T_3)$
- $U = (W_1 - W_4, T_1 - T_4)$



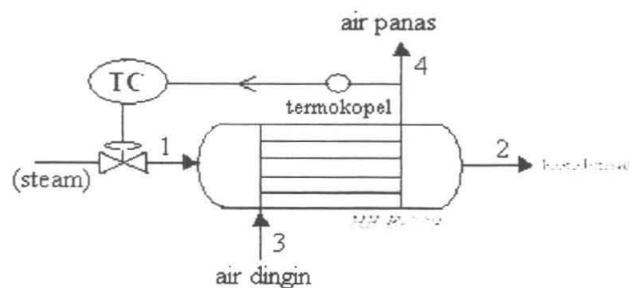
Control objective : mengatur suhu air keluar HE (T_4) agar tetap 70°C .

Derajat kebebasan $F = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} = 12 - 7 = 5$

Disturbance : T_1, T_3, W_1, W_3

Manipulated : $N_m = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} - \text{disturbance}$
 $= 12 - 7 - 4 = 1$

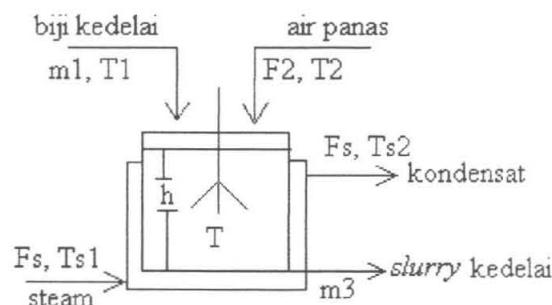
Variabel yang dimanipulasi : laju alir steam masuk HE (W_1)



Cara kerja alat kontrolnya :

- Fungsi HE untuk menghasilkan air panas dengan suhu 70°C .
- Suhu air proses keluar HE ditentukan sebagai *set point*.
- Alat ukur yang berupa termokopel membaca suhu air proses keluar HE. Suhu yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan set point. Jika suhu keluar HE masih kurang dari yang ditentukan maka kontroler akan mengirim perintah kepada *electric valve*, yaitu dengan menggunakan beda tegangan untuk membuka valve pada pipa steam masuk ke jaket pemanas. Dan sebaliknya, jika suhu keluar HE melebihi dari yang ditentukan maka bukaan valve pada pipa steam akan dikurangi atau ditutup.

D. Mixer I



Variabel proses : m_1 , m_3 , T_1 , T_2 , T , T_{s1} , T_{s2} , F_2 , F_s , h

Dimana : m_1 = laju alir massa biji kedelai masuk *mixer I* (kg/jam)

T = suhu dalam *mixer I* ($^{\circ}\text{C}$)

T_1 = suhu biji kedelai masuk *mixer I* ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 = suhu air panas masuk *mixer I* ($^{\circ}\text{C}$)

T_{s1} = suhu steam masuk jaket pemanas ($^{\circ}\text{C}$)

T_{s2} = suhu kondensat ($^{\circ}\text{C}$)

F_2 = laju alir volumetrik air panas masuk *mixer I* (m^3/jam)

F_s = laju alir volumetrik steam masuk (m^3/jam)

m_3 = laju alir massa *slurry* kedelai keluar *mixer I* (kg/jam)

h = tinggi *slurry* dalam *mixer I* (m)

Persamaan :

- N. M. Total : $m_1 + \rho_2 \times F_2 - m_3 = \frac{dm_3}{dt}$
- N. M. Komponen : $m_1 - m_3 = \rho_3 \times A \times \frac{dh}{dt}$
- N. E. Total :

$$m_1 \times C_{p1} \times T_1 + \rho_2 \times F_2 \times C_{p2} \times T_2 - m_3 \times C_{p3} \times T_3 - U \times A_s \times (T - T_{s2}) = \frac{d(\rho_3 \times A \times h \times C_{p3} \times T_3)}{dt}$$
- N. E. pada jaket pemanas :

$$F_s \times \rho_s \times C_{ps} \times (T_{s1} - T_{s2}) + U \times A_s \times (T_{s2} - T_{s1}) = m_3 \times C_{p3} \times \frac{dT}{dt}$$

Control objective :

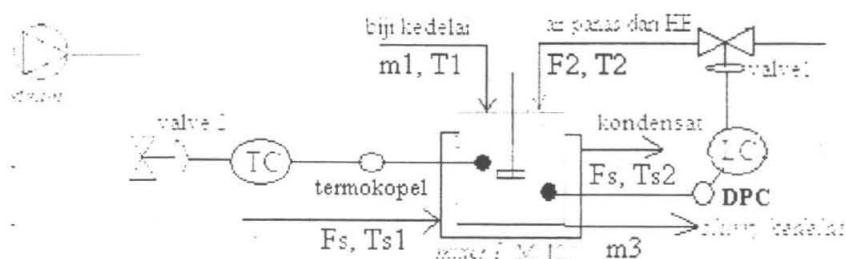
- o mengatur ketinggian slurry dalam tangki supaya sesuai dengan yang diinginkan.
- o Menjaga suhu dalam *mixer I* supaya tetap 70°C

Derajat kebebasan : $F = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} = 9 - 4 = 5$

Disturbance : T_1, T_2, T_{s1}, m_1

Manipulated : $N_m = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} - \text{disturbance}$
 $= 10 - 4 - 4 = 2$

Variabel yang dimanipulasi : laju alir air panas masuk (F_2) dan laju alir steam masuk (F_s).



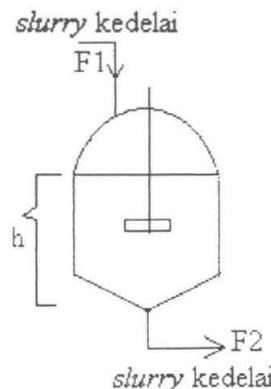
Cara kerja alat kontrolnya :

- Pada *mixer I*, terjadi mixing antara biji kedelai hasil perendaman dengan air panas. Selama proses, suhu dalam *mixer I* dijaga 70°C. Hasil dari *mixer*

I akan diteruskan ke *filter press* yang akan memisahkan susu kedelai dengan ampasnya.

- Ketinggian dan suhu *slurry* kedelai dalam *mixer* I ditetapkan sebagai *set point*.
- Sensor ketinggian *slurry* kedelai dalam *mixer* I menggunakan *differential pressure*.
- Alat ukur yang berupa *differential pressure* membaca ketinggian *slurry* kedelai dalam tangki. Ketinggian *slurry* yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan *set point*. Jika ketinggian telah sesuai dengan yang diinginkan maka kontroler akan mengirimkan perintah kepada *electric valve*, yaitu dengan menggunakan beda tegangan, pada pipa air panas (valve 1) untuk menutup bukaaan valve.
- Sensor suhu *slurry* kedelai dalam *mixer* I menggunakan termokopel.
- Alat ukur yang berupa termokopel membaca suhu *slurry* dalam *mixer* I. Suhu *slurry* yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan set point. Jika suhu dalam *mixer* I masih kurang dari yang ditentukan maka kontroler akan mengirim perintah kepada *electric valve*, yaitu dengan menggunakan beda tegangan untuk membuka valve pada pipa steam masuk (valve 2) ke jaket pemanas. Dan sebaliknya, jika suhu dalam *mixer* I melebihi dari yang ditentukan maka bukaan valve pada pipa steam (valve 2) akan dikurangi atau ditutup.

E. Holding tank I



Variabel proses : F₁, F₂, h

Dimana : F_1 = laju alir volumetrik *slurry* kedelai masuk *holding tank I* (m^3/jam)
 F_2 = laju alir volumetrik *slurry* kedelai keluar *holding tank I* (m^3/jam)
 h = tinggi *slurry* kedelai *holding tank I* (m)

Persamaan :

$$\text{- N. Massa} = \rho \times F_1 - \rho \times F_2 = \rho \times A \times \frac{dh}{dt}$$

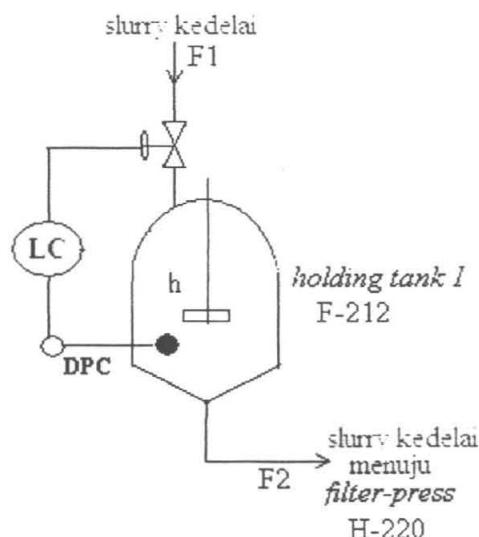
Control objective : mengatur ketinggian *slurry* kedelai supaya sesuai yang diinginkan

Derajat kebebasan : $F = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} = 3 - 1 = 2$

Disturbance : F_1

Manipulated : $N_m = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} - \text{disturbance}$
 $= 3 - 1 - 1 = 1$

Variabel yang dimanipulasi : laju alir *slurry* kedelai masuk (F_1)

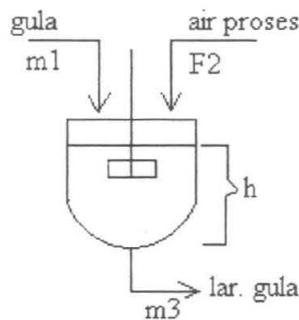


Cara kerja alat kontrolnya :

- Fungsi untuk menyimpan susu kedelai hasil dari penyaringan dengan menggunakan *filter press*.
- Ketinggian susu kedelai dalam *Holding Tank I* ditetapkan sebagai *set point*.
- Sensor ketinggian susu kedelai dalam *Holding Tank I* menggunakan *differential pressure*.

- Alat ukur yang berupa *differential pressure* membaca ketinggian susu kedelai dalam *Holding Tank I*. Ketinggian susu kedelai yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan set point. Jika ketinggian telah sesuai dengan yang diinginkan maka kontroler akan mengirimkan perintah kepada *electric valve*, yaitu dengan menggunakan beda tegangan untuk menutup bukaaan valve.

F. Mixer gula



Variabel proses : m_1 , h , F_2 , m_3

Dimana : m_1 = laju alir massa gula masuk *mixer* gula (kg/jam)

h = tinggi larutan gula dalam *mixer* gula (m)

F_2 = laju alir volumetrik air proses masuk *mixer* gula (m^3/jam)

m_3 = laju alir massa larutan gula keluar (kg/jam)

Persamaan :

$$\text{- N. M. Total : } m_1 + \rho_2 \times F_2 - m_3 = \frac{dm_3}{dt}$$

$$\text{- N. M. Komponen : } m_1 - m_3 = \rho_3 \times A \times \frac{dh}{dt}$$

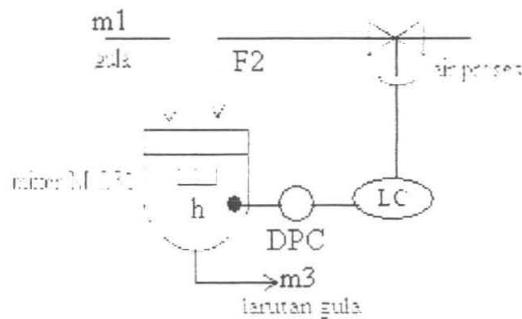
Control objective : mengatur ketinggian larutan gula supaya sesuai yang diinginkan

Derajat kebebasan: $F = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} = 4 - 2 = 2$

Disturbance : laju alir air proses masuk (F_2)

Manipulated : $Nm = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} - \text{disturbance}$
 $= 4 - 2 - 1 = 1$

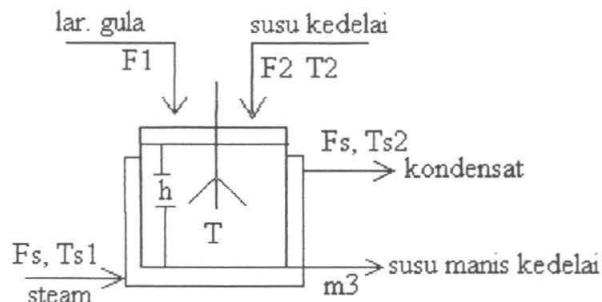
Variabel yang dimanipulasi : laju alir air proses masuk (F_2)



Cara kerja alat kontrol :

- Fungsi *mixer gula* untuk membuat larutan gula yang akan dipakai untuk membuat susu kedelai manis pada *mixer II*.
- Ketinggian larutan gula dalam tangki ditentukan sebagai set point.
- Sensor ketinggian larutan gula dalam tangki menggunakan *differential pressure*.
- Alat ukur yang berupa *differential pressure* membaca ketinggian larutan gula dalam *mixer gula*. Ketinggian larutan gula yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan set point. Jika ketinggian telah sesuai dengan yang diinginkan maka kontroler akan mengirimkan perintah kepada *electric valve* pada pipa air proses untuk menutup bukaan valve.

G. Mixer II



Variabel proses : F_1 , F_2 , m_3 , T_2 , T , Ts_1 , Ts_2 , F_s , h

F_1 = laju alir volumetrik larutan gula masuk *mixer II* (m^3/jam)

T = suhu dalam *mixer II* ($^\circ\text{C}$)

T_2 = suhu susu kedelai masuk *mixer II* ($^\circ\text{C}$)

Ts_1 = suhu steam masuk jaket pemanas ($^\circ\text{C}$)

T_{S2} = suhu kondensat ($^{\circ}\text{C}$)

F_2 = laju alir volumetrik susu kedelai masuk *mixer* II (m^3/jam)

F_s = laju alir volumetrik steam masuk (m^3/jam)

m_3 = laju alir massa susu manis kedelai keluar *mixer* II (kg/jam)

h = tinggi susu manis kedelai dalam *mixer* II (m)

Persamaan :

- N. M. Total : $\rho_1 \times F_1 + \rho_2 \times F_2 - m_3 = \frac{dm_3}{dt}$

- N. M. Komponen : $\rho_2 \times F_2 - m_3 = \rho_3 \times A \times \frac{dh}{dt}$

- N. E. Total :

$$\rho_1 \times F_1 \times C_{p1} \times T_1 + \rho_2 \times F_2 \times C_{p2} \times T_2 - \rho_3 \times F_3 \times C_{p3} \times T_3 - U \times A_s \times (T - T_{S2}) = \frac{d(\rho_3 \times A \times h \times C_{p3} \times T_3)}{dt}$$

- N. E. pada jaket pemanas :

$$F_s \times \rho_s \times C_{ps} \times (T_{S1} - T_{S2}) + U \times A_s \times (T_{S2} - T_{S1}) = m_3 \times C_{p3} \times \frac{dT}{dt}$$

Control objective :

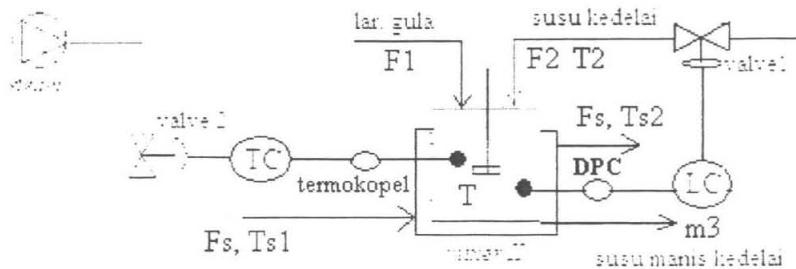
- mengatur ketinggian susu manis kedelai dalam *mixer* II supaya sesuai dengan yang diinginkan.
- Menjaga suhu dalam *mixer* II supaya tetap 70°C

Derajat kebebasan: $F = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} = 9 - 4 = 5$

Disturbance : T_1 , T_{S1} , m_1

Manipulated : $N_m = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} - \text{disturbance}$
 $= 9 - 4 - 3 = 2$

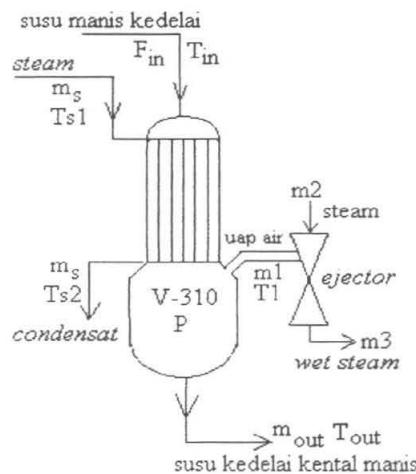
Variabel yang dimanipulasi : laju alir susu kedelai masuk *mixer* II (F_2) dan laju alir steam masuk (F_s).



Cara kerja alat kontrolnya :

- Pada *mixer II* ini, terjadi mixing antara susu kedelai dengan larutan gula yang menghasilkan susu manis kedelai. Selama proses, suhu dalam *mixer II* dijaga 70°C. Hasil dari *mixer II* akan diteruskan ke evaporator untuk diuapkan.
- Ketinggian dan suhu susu kedelai manis dalam *mixer II* ditetapkan sebagai *set point*.
- Sensor ketinggian susu manis kedelai dalam *mixer II* menggunakan *differential pressure*.
- Alat ukur yang berupa *differential pressure* membaca ketinggian susu kedelai manis dalam *mixer II*. Ketinggian susu manis kedelai manis yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan set point. Jika ketinggian telah sesuai dengan yang diinginkan maka kontroler akan mengirimkan perintah kepada *electric valve* pada pipa *holding tank II* (valve 1) yang menuju ke *mixer II* untuk menutup bukaaan valve.
- Sensor suhu dalam *mixer II* menggunakan termokopel.
- Alat ukur yang berupa termokopel membaca suhu susu kedelai manis dalam *mixer II*. Suhu susu kedelai manis dalam *mixer II* yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan set point. Jika suhu dalam *mixer II* masih kurang dari yang ditentukan maka kontroler akan mengirim perintah kepada *electric valve*, yaitu dengan menggunakan beda tegangan untuk membuka valve pada pipa steam masuk (valve 2) ke jaket pemanas. Dan sebaliknya, jika suhu dalam *mixer II* melebihi dari yang ditentukan maka bukaan valve pada pipa steam (valve 2) akan dikurangi atau ditutup.

H. Evaporator



Variabel proses : F_{in} , m_{out} , m_s , m_1 , m_2 , m_3 , P , Q , U , A , Ts_1 , Ts_2 , T_1 , T_{in} , T_{out}

Dimana : m_1 = laju alir massa uap dari evaporator masuk *ejector* (kg/jam)

P = tekanan uap dalam evaporator (atm)

m_2 = laju alir massa steam masuk *ejector* (kg/jam)

m_3 = laju alir massa wet steam keluar *ejector* (kg/jam)

F_{in} = laju alir volumetrik susu manis kedelai masuk evaporator

(m^3/jam)

m_{out} = laju alir volumetrik susu kedelai kental manis keluar evaporator
(kg/jam)

m_s = laju alir massa steam masuk evaporator (kg/jam)

Q = laju perpindahan panas di evaporator (kJ/jam)

A = luas area perpindahan panas (m^2)

U = koefisien perpindahan panas *overall* (kJ/jam. m^2 . °C)

T_1 = suhu uap air masuk *ejector* (°C)

T_{in} = suhu susu manis kedelai masuk evaporator (°C)

T_{out} = suhu susu kedelai kental manis keluar evaporator (°C)

Ts_1 = suhu steam masuk evaporator (°C)

Ts_2 = suhu kondensat (°C)

Persamaan :

- $Q = U \times A \times \Delta T$
- $\Delta T = Ts_1 - T_1$

- $U = (\text{fungsi } T_1)$

- N. M. Total di evaporator : $\rho_{\text{in}} \times F_{\text{in}} - m_{\text{out}} - m_1 = \frac{dm_{\text{out}}}{dt}$

- N. E. Total di evaporator :

$$\rho_{\text{in}} \times F_{\text{in}} \times C_{\text{p,in}} \times T_{\text{in}} + m_s \times \lambda_s - m_{\text{out}} \times C_{\text{p,out}} \times T_{\text{out}} - m_1 \times \lambda_1 = m_{\text{out}} \times C_{\text{p,out}}$$

$$\times \frac{dT_{\text{out}}}{dt}$$

- N. M. Total di *ejector* : $m_1 + m_2 - m_3 = \frac{dm_3}{dt}$

- N. E. Total di *ejector* : $m_1 \times \lambda_1 + m_2 \times \lambda_2 - m_3 \times \lambda_3 = \frac{d(m_3 \times \lambda_3)}{dt}$

Control objective : menjaga tekanan proses dalam evaporator supaya tetap 0,3 atm

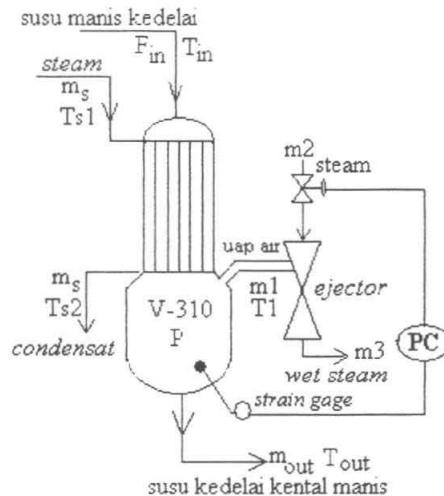
Derajat kebebasan : $F = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} = 15 - 8 = 7$

Disturbance : $F_{\text{in}}, T_{\text{in}}, m_s, T_{\text{s1}}, m_2, m_1$

Manipulated : $Nm = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} - \text{disturbance}$

$$= 15 - 8 - 6 = 1$$

Variabel yang dimanipulasi : laju alir massa steam masuk *ejector* (m_2)

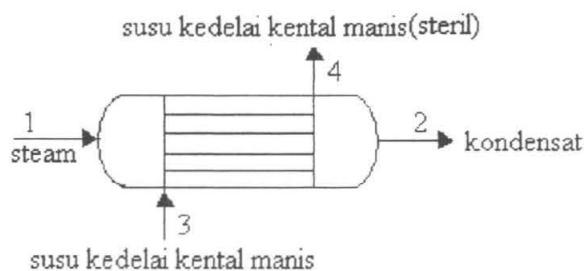


Cara kerja alat kontrol :

- Pada evaporator ini, susu manis kedelai diuapkan sampai pada standart air pada susu kental manis. Selama proses, tekanan didalam evaporator dijaga supaya tetap 0,3 atm.
- Tekanan proses dalam evaporator ditetapkan sebagai *set point*.

- Sensor tekanan dalam evaporator menggunakan *strain gage*.
- Alat ukur yang berupa *strain gage* membaca tekanan didalam evaporator. Tekanan yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan set point. Jika tekanan dalam evaporator melebihi dari 0,3 atm (mendekati 1 atm) maka kontroler akan mengirim perintah kepada *electric valve*, yaitu dengan menggunakan beda tegangan untuk membuka valve pada pipa steam masuk ke *ejector*. Dan sebaliknya, jika tekanan dalam evaporator kurang 0,3 atm maka bukaan valve pada pipa steam masuk *ejector* akan dikurangi atau ditutup.

I. Sterilisator



Variabel proses : Q, A, U, W₁, W₂, W₃, W₄, T₁, T₂, T₃, T₄, ΔT_{LMTD}

Dimana : Q = laju perpindahan panas di sterilisator (kJ/jam)

A = luas area perpindahan panas (m²)

U = koefisien perpindahan panas *overall* (kJ/jam.m². °C)

W₁ = laju alir massa steam masuk sterilisator (kg/jam)

W₂ = laju alir massa kondensat (kg/jam)

W₃ = laju alir massa susu kedelai kental manis masuk sterilisator
(kg/jam)

W₄ = laju alir massa susu kedelai kental manis keluar sterilisator
(kg/jam)

T₁ = suhu steam masuk (°C)

T₂ = suhu kondensat (°C)

T₃ = suhu susu kedelai kental manis masuk (°C)

T₄ = suhu susu kedelai kental manis keluar (°C)

ΔT_{LMTD} = *log mean temperature driving force* (°C)

Persamaan :

- $Q = U \times A \times \Delta T_{LMTD}$
- $\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{2,3 \log \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)}$
- $W_1 = W_2$
- $W_3 = W_4$
- $Q = W_1 \times \lambda_{steam}$
- $Q = W_3 \times C_p \times (T_4 - T_3)$
- $U = (W_1 - W_4, T_1 - T_4)$

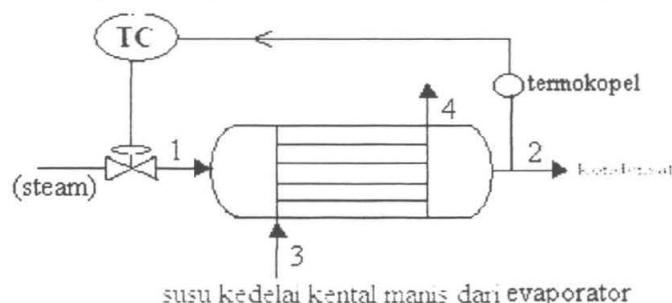
Control objective : mengatur mengatur suhu kondensat (T_2) agar tetap 140°C .

Derajat kebebasan $F =$ jumlah variabel proses – jumlah persamaan = $12 - 7 = 5$

Disturbance : T_1, T_3, W_1, W_3

Manipulated : $Nm =$ jumlah variabel proses – jumlah persamaan – *disturbance*
 $= 12 - 7 - 4 = 1$

Variabel yang dimanipulasi : laju alir steam masuk sterilisator (W_1)

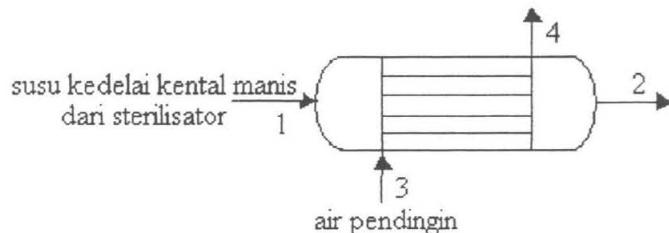


Cara kerja alat kontrolnya :

- Fungsi sterilisator untuk menyeterilkan susu kedelai kental manis. Selama proses, suhu keluar sterilisator dijaga supaya tetap 140°C .
- Suhu yang keluar sterilisator ditetapkan sebagai *set point*.
- Sensor suhu yang keluar sterilisator menggunakan termokopel.
- Alat ukur yang berupa termokopel membaca suhu keluar sterilisator. Suhu yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan set point. Jika suhu dalam ~~evaporator~~ masih kurang dari 140°C maka kontroler akan mengirim perintah kepada *electric valve*, yaitu dengan

menggunakan beda tegangan untuk membuka valve pada pipa steam masuk ke sterilisator. Dan sebaliknya, jika suhu dalam sterilisator melebihi 140°C dari maka bukaan valve pada pipa steam akan dikurangi atau ditutup.

J. Cooler



Variabel proses : Q, A, U, W₁, W₂, W₃, W₄, T₁, T₂, T₃, T₄, ΔT_{LMTD}

Dimana : Q = laju perpindahan panas di *cooler* (kJ/jam)

A = luas area perpindahan panas (m²)

U = koefisien perpindahan panas *overall* (kJ/jam.m². °C)

W₁ = laju alir massa susu kedelai kental manis masuk *cooler* (kg/jam)

W₂ = laju alir massa susu kedelai kental manis keluar *cooler* (kg/jam)

W₃ = laju alir massa air pendingin masuk *cooler* (kg/jam)

W₄ = laju alir massa air pendingin keluar *cooler* (kg/jam)

T₁ = suhu susu kedelai kental manis masuk *cooler* (°C)

T₂ = suhu susu kedelai kental manis keluar *cooler* (°C)

T₃ = suhu air pendingin masuk *cooler* (°C)

T₄ = suhu air pendingin keluar *cooler* (°C)

ΔT_{LMTD} = log mean temperature driving force (°C)

Persamaan :

- Q = U x A x ΔT_{LMTD}

- $$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_2 - \Delta T_1}{2,3 \log \left(\frac{\Delta T_2}{\Delta T_1} \right)}$$

- W₁ = W₂

- W₃ = W₄

- Q = W₁ x Cp x (T₁ - T₂)

- $Q = W_3 \times C_p \times (T_4 - T_3)$
- $U = (W_1 - W_4, T_1 - T_4)$

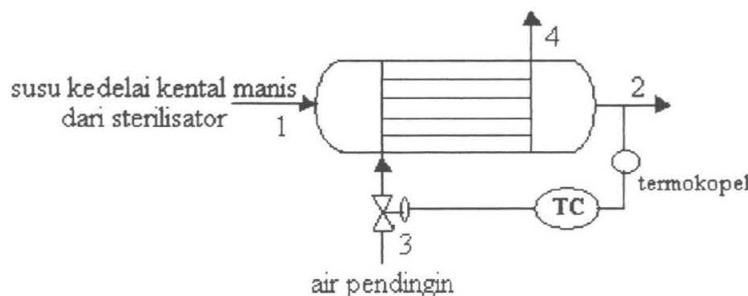
Control objective : mengatur suhu susu kedelai kental manis keluar *cooler* (T_2) agar tetap 45°C .

Derajat kebebasan $F = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} = 12 - 7 = 5$

Disturbance : T_1, T_3, W_1, W_3

Manipulated : $N_m = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} - \text{disturbance}$
 $= 12 - 7 - 4 = 1$

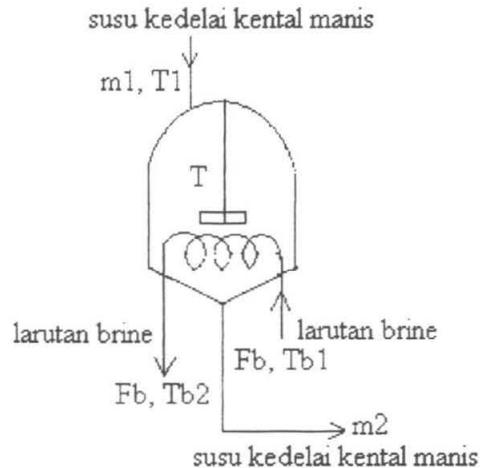
Variabel yang dimanipulasi : laju alir air pendingin masuk *cooler* (W_1).



Cara kerja alat kontrolnya :

- Fungsi *cooler* untuk mendinginkan susu kedelai kental manis sampai pada suhu 45°C .
- Suhu susu kedelai kental manis yang keluar *cooler* ditetapkan sebagai *set point*.
- Sensor suhu yang digunakan adalah termokopel.
- Alat ukur yang berupa termokopel membaca suhu keluar *cooler*. Suhu yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan *set point*. Jika suhu keluar *cooler* masih lebih dari 45°C maka kontroler akan mengirim perintah kepada *electric valve*, yaitu dengan menggunakan beda tegangan untuk membuka valve pada pipa air pendingin masuk ke *cooler*. Dan sebaliknya, jika suhu keluar *cooler* sudah 45°C maka bukaan valve pada pipa air pendingin akan dikurangi atau ditutup.

K. Tangki pendingin



Variabel proses : m_1 , m_2 , T_1 , F_b , T , T_{b1} , T_{b2}

Dimana : Q = laju perpindahan panas di *cooler* (kJ/jam)

A = luas area perpindahan panas (m^2)

U = koefisien perpindahan panas *overall* (kJ/jam. m^2 . $^{\circ}\text{C}$)

m_1 = laju alir massa susu kedelai kental manis masuk tangki pendingin
(kg/jam)

m_2 = laju alir massa susu kedelai kental manis masuk tangki pendingin
(kg/jam)

F_b = laju alir volumetrik larutan *brine* masuk tangki pendingin (kg/jam)

T_1 = suhu susu kedelai kental manis masuk tangki pendingin ($^{\circ}\text{C}$)

T_{b1} = suhu larutan *brine* masuk *coil* pendingin ($^{\circ}\text{C}$)

T_{b2} = suhu larutan *brine* keluar *coil* pendingin ($^{\circ}\text{C}$)

Persamaan :

$$\text{- N. M. Total : } m_1 - m_2 = \frac{dm_2}{dt}$$

$$\text{- N. M. Komponen : } m_1 - m_2 = \rho_2 \times A \times \frac{dh}{dt}$$

$$\text{- N. E. Total : }$$

$$m_1 \times C_p \times T_1 = m_2 \times C_p \times T_2 + m_{\text{brine}} \times C_{p_{\text{brine}}} \times (T_{b1} - T_{b2})$$

- N. E. pada coil pendingin :

$$F_b \times \rho_b \times C_{pb} \times (T_{b1} - T_{b2}) + U \times A \times (T_{b2} - T_{b1}) = m_2 \times C_{p2} \times \frac{dT}{dt}$$

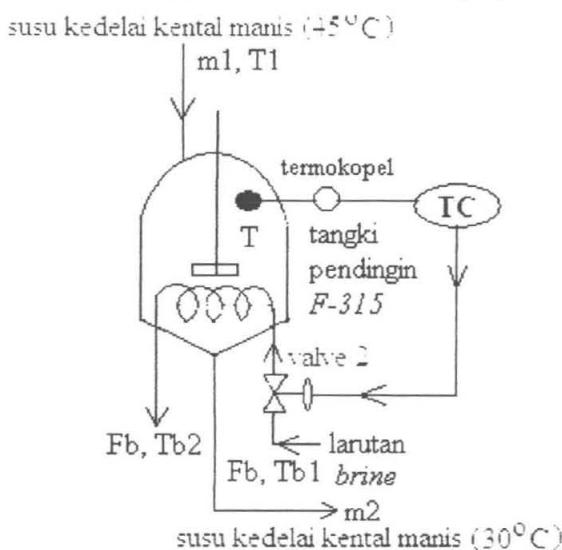
Control objective : mengatur suhu keluar tangki pendingin agar tetap 30°C

Derajat kebebasan : $F = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} = 7 - 4 = 3$

Disturbance : T_1, T_{b1}

Manipulated : $N_m = \text{jumlah variabel proses} - \text{jumlah persamaan} - \text{disturbance}$
 $= 7 - 4 - 2 = 1$

Variabel yang dimanipulasi : laju larutan brine masuk (F_b)



Cara kerja alat kontrolnya:

- Fungsi tangki pendingin untuk mendinginkan susu kedelai kental manis dari suhu 45°C menjadi 30°C sebelum di *package*.
- Suhu susu kedelai kental manis dalam tangki pendingin ditetapkan sebagai *set point*.
- Sensor susu kedelai kental manis dalam tangki pendingin menggunakan termokopel.
- Sensor suhu yang digunakan adalah termokopel.
- Alat ukur yang berupa termokopel membaca suhu susu kedelai kental manis dalam tangki pendinginan. Suhu yang terbaca, kemudian diterima oleh kontroler dan dicocokkan dengan *set point*. Jika suhu dalam tangki

pendingin masih lebih dari 30°C maka kontroler akan mengirim perintah kepada *electric valve*, yaitu dengan menggunakan beda tegangan untuk membuka valve pada pipa larutan *brine* (valve 2) masuk ke *coil* pendingin. Dan sebaliknya, jika suhu dalam tangki pendingin sudah 30°C maka bukaan valve pada pipa larutan *brine* (valve 2) akan dikurangi atau ditutup.

Jenis kelamin : L P

umur : 72

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... / ... gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain kopi(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis Kelamin : L P

umur : 65 tahun

Jenis kelamin : L/A

umur : 76

Jenis kelamin : L/P

umur : 35

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 33 th.

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : L/P

umur : 30

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : L/P

umur : 12

Jenis kelamin : L/P

unur: 12

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? 2 gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin (l)P

umur : 12

Jenis kela nin L/P

umur : 21

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka **[STOP]**

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi **[STOP]** b. susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka **[STOP]**

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 13

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... / ... gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : L/P

umur :

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : L/P

umur :

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : P

umur : 48

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : P

umur : 33

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : P

umur : 46

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain. ~~STROWBERY~~ (sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 46

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : L/P

umur : 40

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 31

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis ketamin : L₂

umur : 15

jenis kelamin : L/P

UMUR :

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

jenis kelamin : L/P

umur :

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin L/P

umur : 47

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? 2 gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : L/

umur : 38

Jenis kelamin : L

umur : 44

Jenis kelamin : L/P

umur :

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
- terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.*

Jenis kelamin : L/P

umur : 31 K.

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
- terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.*

Jenis kelamin : L/P

umur : 45

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
- terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.*

Jenis kelamin : L/P

umur :

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 42

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : L/P

umur : 23

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin ♂/P

umur : 25

Jenis kelamin : L(P)

umur : 20

1. Anda suka minum susu ? a) suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b) susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a) suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a) murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur :

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 12 tahun

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 12

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 14 tahun

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin L/P

umur :

Jenis kelamin : L/P

umur :

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 32

Jenis kelamin : I (P)

umur : 13 th

Jenis kelamin : X/P

պար. 19

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terimakasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L P

umur : 12 thn

Jenis kelamin : ♂/P

umur : 12

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? 2 ... gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

Jenis kelamin : L/P

umur :

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

unum;

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur :

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 24 thn

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/R

umur : 22

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L

unur : 21

Jenis kelamin : L/**Y**

umur : 25

tenis kelamin : ♂

umur : 19

Jenis kelamin : L^P

umur : 20

Jenis kelamin : LP

umur : 21

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ... l ... gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 20

1. Anda suka minum susu ? a) suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b) susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? **Dua** gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a) suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a) murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 21

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/D

umur : 18

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 45 th

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? 2 gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : L/P

wnur : 27

Jenis kelamin : L/P

umur : 20

Jenis helamin : ~~ZP~~

umur : 26

1. Anda suka minum susu ? suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ...1... gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin L/P

unum : 26

Jenis kelamin ♂/P

umur : 25

1. Anda suka minum susu ? suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? *SATU* gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : X/P

umur : 27

1. Anda suka minum susu ? suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? 1 ... gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni coklat c. lain-lain(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : ♀/P

umur : 23

1. Anda suka minum susu ? a) suka b. tidak suka [STOP]

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b) susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? *Satu* gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a) suka b. tidak suka [STOP]

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b) coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis ketamin : O/P

umur : 27

Jenis kelamin : X/P

umur : 26

1. Anda suka minum susu ? suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : ♂/P

umur : 30 th.

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
- terima kasih atas waktu dan kerjasamanya*

Jenis kelamin : ♀/P

umur : 46

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
- terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.*

Jenis kelamin : ♀/P

umur : 20

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
- terima kasih atas waktu dan kerjasamanya*

Jenis kelamin : X/P

umur : 30

Jenis kelamin : ♂/P

umur : 23

1. Anda suka minum susu ? suka b. tidak suka [STOP]
 2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? susu sapi [STOP] b. susu kedelai
 3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
 4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
 5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin ♂P

unur : 20

Jenis kelamin L/P

umur : 24

1. Anda suka minum susu ? a suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ...2.. gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin X/P

umur : 29

1. Anda suka minum susu ? X suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? X susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? ...1... gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin I/P

umur : 22

1. Anda suka minum susu ? a suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : K/P

umur : 16

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : K/F

umur : 18

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : L/P

umur :

14TH

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : X/P

581

umur: 35

Jenis kelamin : L/P

umur: 69 tahun

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka |STOP|

2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi |STOP| b. susu kedelai

3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari

4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka |STOP|

5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
 a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)

terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kela:min : L/P

umur : 46

Jenis kelamin : L/P

umur :

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 51

1. Anda suka minum susu ? a. suka tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/W

umur : 24

1. Anda suka minum susu ? a. suka tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : L/P

umur : 13

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? A. gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
 a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/P

umur : 39

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? A. gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya

Jenis kelamin : L/P

umur : 28

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? A. gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/~~P~~

umur : 24

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : L/~~P~~

umur : 30

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.

Jenis kelamin : ~~L/P~~

umur : 22

1. Anda suka minum susu ? a. suka b. tidak suka [STOP]
2. Jenis susu apa yang suka atau sering minum ? a. susu sapi [STOP] b. susu kedelai
3. Berapa banyak anda minum susu kedelai ? gelas/hari
4. Jika susu kedelai dibuat dalam bentuk susu kental manis ?
a. suka b. tidak suka [STOP]
5. Anda lebih suka susu kedelai kental manis dengan rasa.....
a. murni b. coklat c. lain-lain.....(sebutkan)
terima kasih atas waktu dan kerjasamanya.