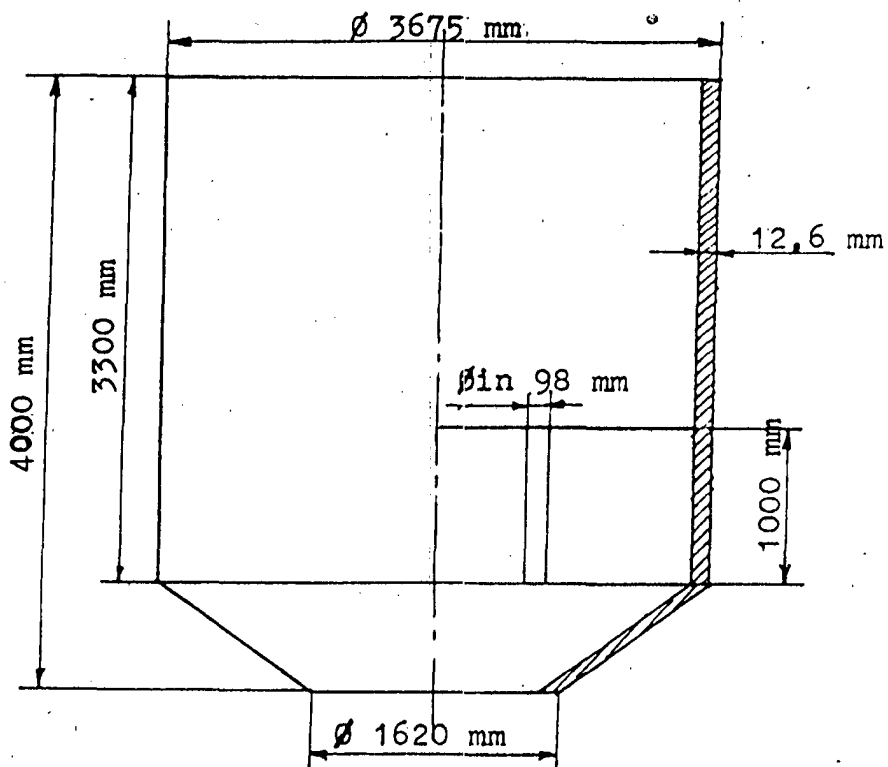
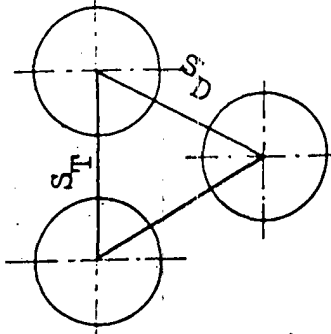


BAB V  
ANALISA DATA

Pada bab ini pembahasan akan dilaksanakan pada masing-masing pan masakan (pan masakan A sampai dengan pan masakan D). Dimana dimensi pan masakan, tekanan didalam pan masakan dan temperatur uap pemanas untuk tiap-tiap pan masakan adalah sama.



Gb.V.1. Ukuran pan masakan.



$$S_T = S_D = 151 \text{ mm}$$

Gb.V.2. Susunan pipa pemanas.

Data pan masakan:

Tabung masakan:

Bahan : Stainless steel.  
 Tinggi : 4 m.  
 Diameter badan : 3675 mm.  
 Diameter keluar: 1620 mm.  
 Tinggi kerucut : 700 mm.  
 Tebal : 12,6 mm.  
 Isolasi : Glasswool 5 cm dan alumunium.

Pipa pemanas:

Bahan : Kuningan.  
 Diameter dalam: 98 mm.  
 Diameter luar : 102 mm.  
 Panjang : 1000 mm.  
 Jumlah : 578 buah.

Temperatur uap pemanas: 110 °C.

Tekanan uap pemanas: 107. cm Hg.

Tekanan vakum: -61 cm Hg.

## V.1. Pan masakan A.

Data yang diperoleh untuk diksap adalah sebagai berikut:

Volume	: 300 Hl.
Temperatur diksap masuk	: 60 °C.
Temperatur diksap keluar	: 81 °C.
Brix diksap masuk	: 63.
Brix diksap keluar	: 90.
Lama proses	: 3½ jam.

Perhitungan ketinggian diksap didalam pan masakan.

Jumlah pipa pemanas

$$N = 578 \text{ buah}$$

Isi pan masakan (volume diksap)

$$V_{\text{pan}} = 300 \text{ Hl}$$

$$= 30 \text{ m}^3$$

Volume kerucut terpancung

$$V_{\text{kerucut}} = \frac{1}{3} \pi t (a^2 + ab + b^2)$$

$$\text{dimana: } t = 0,7 \text{ m}$$

$$a = \frac{1,645}{2} - 0,0126$$

$$= 0,81 \text{ m}$$

$$b = \frac{3,675}{2} - 0,0126$$

$$= 1,8249 \text{ m}$$

$$V_{\text{kerucut}} = \frac{1}{3} \pi 0,7 (0,81^2 + 0,81 \cdot 1,8249 + 1,8249^2)$$

$$= 4 \text{ m}^3$$

Volume yang harus ditampung oleh badan pan masakan

$$\begin{aligned}V_{\text{badan}} &= V_{\text{pan}} - V_{\text{kerucut}} \\ &= 30 - 4 \\ &= 26 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Volume untuk sebuah pipa pemanas

$$\begin{aligned}V_{\text{pipa}} &= \frac{1}{4} \pi D_{\text{in}}^2 L \\ \text{dimana: } D_{\text{in}} &= 0,098 \text{ m} \\ L &= 1 \text{ m} \\ V_{\text{pipa}} &= \frac{1}{4} \pi 0,098^2 \cdot 1 \\ &= 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Sedangkan untuk N buah pipa pemanas

$$\begin{aligned}V_{\text{pipa total}} &= N V_{\text{pipa}} \\ &= 578 \cdot 7,5 \cdot 10^{-3} \\ &= 4,3 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Volume yang harus ditampung oleh badan pan masakan diatas pipa pemanas

$$\begin{aligned}V_{\text{diatas pipa pemanas}} &= V_{\text{badan}} - V_{\text{pipa total}} \\ &= 26 - 4,3 \\ &= 21,7 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Ketinggian yang dapat dicapai oleh diksap diatas pipa pemanas

$$\begin{aligned}V_{\text{diatas pipa pemanas}} &= \pi b^2 h \\ 21,7 &= \pi 1,8249^2 h \\ h &= 2 \text{ m}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi diksap total} &= t + L + h \\
 &= 0,7 + 1 + 2 \\
 &= 3,7 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Sedangkan tinggi pan masakan adalah 4 m.

Jadi diksap dengan volume 300 Hl tidak mengganggu pan masakan pada saat bekerja.

#### Analisa perhitungan pipa pemanas.

Sebelum menghitung diameter pipa pemanas yang memenuhi syarat, maka harus diketahui dahulu laju aliran massa yang terjadi pada pipa pemanas. Untuk itu digunakan analisa yang disebut analisa Nusselt.

Asumsi-asumsi yang digunakan pada analisa Nusselt untuk kondensasi film adalah sebagai berikut:

- Aliran laminar dan sifat (properties) film konstan.
- Uap dianggap mempunyai temperatur yang seragam dan temperaturnya sama dengan temperatur jenuh ( $T_{sat}$ ).
- Panas yang dipindahkan dari uap kepermukaan film adalah akibat adanya kondensasi, bukan akibat adanya konduksi dari uap.
- Momentum dan energi yang dipindahkan dengan konveksi pada film diabaikan (film bergerak dengan kecepatan rendah).
- Distribusi temperatur pada film linear.

Asumsi yang lain adalah sebagai berikut:

- Diksap melewati pipa pemanas hanya satu kali saja.
- Efek radiasi diabaikan.
- Perpindahan panas hanya sepanjang pipa pemanas.

Properties:

- Untuk saturated vapor:

Dari tabel 1:

$$\text{Tekanan uap pemanas} = 107 \text{ cm Hg.}$$

$$\begin{aligned} \text{Temperatur uap } (T_{\text{sat}}) &= 110 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 383 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\text{Volume spesifik } (v_g) = 1,22 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{Enthalphy } (h_{fg}) = 2230,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\begin{aligned} \text{Density } (\rho_g) &= \frac{1}{v_g} = \frac{1}{1,22 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \\ &= 0,820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

- Untuk saturated water:

Dari tabel 1:

Temperatur diksap rata-rata ( $T_r$ )

$$\begin{aligned} T_r &= \frac{(60 + 81) \text{ }^\circ\text{C}}{2} \\ &= 70,5 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Temperatur permukaan pipa pemanas ( $T_s$ )

$$\begin{aligned} T_s &= \frac{(70,5 + 110) \text{ }^\circ\text{C}}{2} \\ &= 90,25 \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 363,25 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Temperatur film } (T_f) &= \frac{(110 + 90,25) \text{ }^\circ\text{C}}{2} \\ &= 100,125 \text{ }^\circ\text{C} = 373,125 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Volume spesifik } (v_1) &= 1,0440 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\
 \text{Viskositas } (\mu_1) &= 279,079 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2} \\
 \text{Konduktivitas thermal } (K_1) &= 679,99 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}} \\
 \text{Panas spesifik } (C_{p,1}) &= 4,217 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \\
 \text{Prandtl Number } (Pr_1) &= 1,7603 \\
 \text{Density } (\rho_1) &= \frac{1}{1,0440 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \\
 &= 958 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}
 \end{aligned}$$

Koefisien konveksi rata-rata dari uap ke pipa pemanas

$$\bar{h}_L = 0,943 \left[ \frac{g \rho_1 (\rho_1 - \rho_v) K_1^3 h'_{fg}}{\mu_1 (T_{\text{sat}} - T_s) L} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Dimana:

$g$  = gaya gravitasi bumi

$$= 9,8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

$\rho_1$  = density dari film

$\rho_v$  = density dari uap

$K_1$  = konduktivitas thermal film

$h'_{fg}$  = enthalpi uap jenuh

$\mu_1$  = viskositas film

$T_{\text{sat}}$  = temperatur uap

$T_s$  = temperatur permukaan pipa pemanas

$L$  = panjang pipa pemanas = 1m

Mencari harga  $h'_{fg}$

$$h'_{fg} = h_{fg} (1 + 0,68 Ja)$$

$$\begin{aligned} Ja &= \frac{C_{p,l} (T_{sat} - T_s)}{h_{fg}} \\ &= \frac{4,217 (383 - 363,25)}{2230,6} \\ &= 0,037 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h'_{fg} &= 2230,6 (1 + 0,68 \cdot 0,037) \\ &= 2286,722 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 2286722 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Syarat pemakaian  $h'_{fg}$  adalah sebagai berikut:

$$Pr_1 > 0,5$$

$$\frac{C_{p,l} (T_{sat} - T_s)}{h'_{fg}} < 1,0$$

Sedangkan:

$$Pr_1 = 1,7603$$

$$\begin{aligned} \frac{C_{p,l} (T_{sat} - T_s)}{h'_{fg}} &= \frac{4,217 (383 - 363,25)}{2286,722} \\ &= 0,036 \end{aligned}$$

Maka penggunaan  $h'_{fg}$  dapat dibenarkan.

Jadi:

$$\begin{aligned} \bar{h}_L &= 0,943 \left[ \frac{9,8 \cdot 958 (958 - 0,820) (679,99 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 2286722}{279,079 \cdot 10^{-6} (383 - 363,25) \cdot 1} \right]^{\frac{1}{4}} \\ &= 5518 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \end{aligned}$$

Laju perpindahan panas dari uap ke pipa pemanas

$$q = \bar{h}_L A (T_{\text{sat}} - T_s)$$

dimana:

$$A = \pi D_{\text{out}} L$$

$D_{\text{out}}$  = diameter luar pipa pemanas

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

$$q = 5518 \pi \cdot 0,102 \cdot 1 (383 - 363,25)$$

$$= 34936 \text{ W}$$

Laju kondensasi uap

$$\dot{m}_1 = \frac{q}{h_{fg}}$$

$$= \frac{34936}{2286722}$$

$$= 0,01528 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Untuk seluruh pipa pemanas

$$\dot{m}_1 \text{ total} = N \dot{m}_1$$

$N$  = banyak pipa pemanas

$$= 578 \text{ buah}$$

$$\dot{m}_1 \text{ total} = 578 \cdot 0,01528$$

$$= 8,83 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Tinjauan terhadap asumsi film laminar

$$Re_{\delta} = \frac{4 \dot{m}_1}{\mu_1 b}$$

dimana:

$$b = \pi D_{out}$$

$$\begin{aligned} Re_{\delta} &= \frac{4 \cdot 0,01528}{279,079 \cdot 10^{-6} \pi \cdot 0,102} \\ &= 683 < 1800 \end{aligned}$$

Jadi asumsi bahwa aliran film laminar dapat dipakai.

Tebal lapisan film

$$\begin{aligned} \delta(L) &= \left[ \frac{4 k_1 \mu_1 (T_{sat} - T_s) L}{g \rho_1 (\rho_1 - \rho_v) h_{fg}} \right]^{\frac{1}{4}} \\ &= \left[ \frac{4 \cdot 679,99 \cdot 10^{-3} \cdot 279,079 \cdot 10^{-6} \cdot (383 - 363,25) \cdot 1}{9,8 \cdot 958 \cdot (958 - 0,820) \cdot 22867,22} \right]^{\frac{1}{4}} \\ &= 1,643 \cdot 10^{-4} \text{ m} \\ &= 0,1643 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinjauan pemakaian pipa pemanas

$$\delta(L) < \frac{D_{out}}{2}$$

$$D_{out} > 2 \delta(L)$$

$$D_{out} > 2 \cdot 0,1643$$

$$D_{out} > 0,3286 \text{ mm}$$

Karena  $D_{out} = 0,102 \text{ m}$ , maka diameter ini memenuhi syarat.

Perhitungan kecepatan uap

$$\frac{\bar{h}_L}{C_{p,1} G_m} Pr_1^{\frac{1}{2}} = 0,046 \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_v} f}$$

Dimana:

$\bar{h}_L$  = koefisien konveksi rata-rata dari uap ke pipa pemanas, dalam  $\frac{\text{Btu}}{\text{h ft}^2 \text{ F}}$

$$= 5518 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}}$$

$$= 973 \frac{\text{Btu}}{\text{h ft}^2 \text{ F}}$$

$C_{p,1}$  = panas jenis cairan, dalam  $\frac{\text{Btu}}{\text{lbm ft}}$

$$= 4,217 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$= 1,007 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm F}}$$

$G_m$  = kecepatan massa uap persatuan luas, dalam  $\frac{\text{lbm}}{\text{h ft}^2}$

$$= \rho_v V_v$$

$Pr_1$  = Prandtl number

$$= 1,7603$$

$\rho_1$  = density cairan, dalam  $\frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$

$$= 958 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 55,81 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$$

$\rho_v$  = density uap, dalam  $\frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$

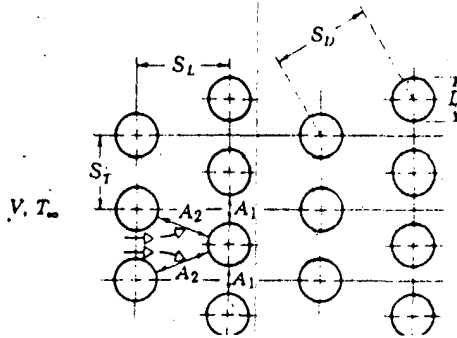
$$= 0,820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 0,051 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$$

$f$  = koefisien gesek pipa yang harganya ditentukan pada kecepatan uap rata-rata diantara dua buah pipa pemanas

$$V_v = \frac{h_L}{0,046 C_{p,1} \rho_v} \left[ \frac{Pr_1 \rho_v}{f f_1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Koefisien gesek pipa



Gb.V.3. Susunan pipa pemanas.

Dimana:

$$S_T = S_D = 151 \text{ mm}$$

$$D = D_{\text{out}} + 2 \delta(L)$$

$$= 102 + 0,3286$$

$$= 102,3286 \text{ mm}$$

Jarak longitudinal antara pusat pipa pemanas

$$S_L = S_D \cos 30$$

$$= 151 \cos 30$$

$$= 131 \text{ mm}$$

Mencari harga  $Re_{D,max}$

$$\frac{S_T}{S_L} = \frac{151}{131}$$

$$= 1,15$$

Dari tabel 2, untuk  $\frac{S_T}{S_L} < 2$  dengan susunan pipa staggered

didapat:

$$Re_{D,max} = 10^3 \rightarrow 2 \cdot 10^5$$

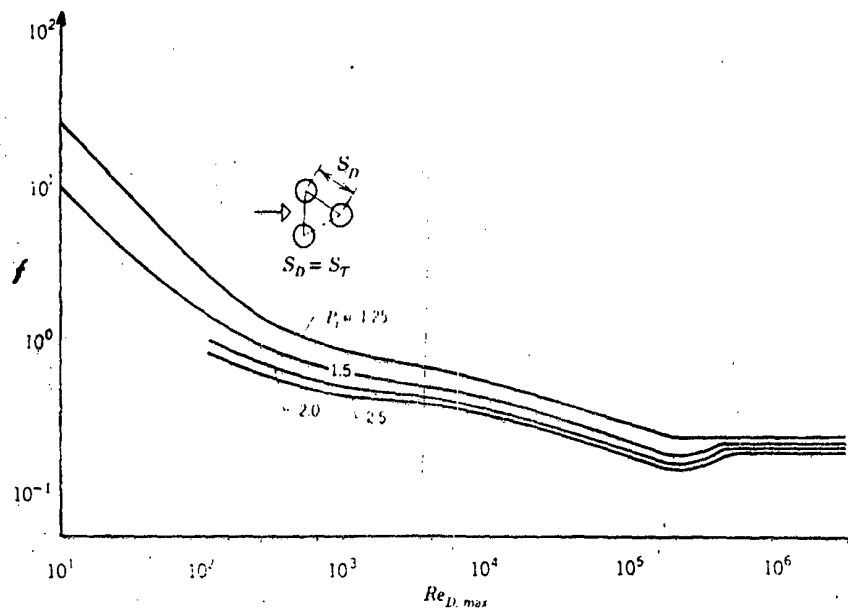
Disini diambil  $Re_{D,max} = 100500$

Dimensionless tranverse pitches

$$P_T = \frac{S_T}{D}$$

$$= \frac{151}{102,3286}$$

$$= 1,48$$



Gb.V.4. Koefisien gesek pipa

Dari gambar V.4, didapat:

$$f = 0,2$$

Jadi kecepatan uap:

$$\begin{aligned} V_V &= \frac{973}{0,046 \cdot 1,007 \cdot 0,051} \left[ \frac{1,7603 \cdot 0,051}{0,2 \cdot 55,81} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= 36937 \frac{\text{ft}}{\text{h}} \\ &= 3,127 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \end{aligned}$$

Kecepatan uap yang dimaksud adalah kecepatan uap rata-rata diantara dua buah pipa pemanas.

Perhitungan laju aliran massa uap pemanas.

Laju massa uap diantara dua buah pipa pemanas:

$$\dot{m}_V = \int_V A V_V$$

Dimana:

$$A = (S_T - D) L$$

$$\begin{aligned} \dot{m}_V &= \int_V (S_T - D) L V_V \\ &= 0,820 (0,151 - 0,102386) \cdot 1 \cdot 3,127 \\ &= 0,1247 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \end{aligned}$$

Keliling setengah lingkaran pan masakan

$$K = \pi b = \pi \cdot 1,8249 = 5,7354 \text{ m}$$

Jumlah pipa pemanas yang dapat terpasang pada keliling itu

$$M = \frac{K}{S_T} = \frac{5,7354}{0,151} = 38 \text{ buah}$$

Laju aliran massa uap pemanas yang keluar dari pan masakan.  
(Diasumsikan aliran uap pemanas tegak lurus susunan pipa)

$$\dot{m}_v \text{ keluar} = (M - 1) \dot{m}_v = 37,01247 = 4,614 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Laju aliran uap pemanas yang dibutuhkan oleh pan masakan

$$\begin{aligned} \dot{m}_v \text{ masuk} &= \dot{m}_v \text{ keluar} + \dot{m}_1 \text{ total} \\ &= 4,614 + 8,83 \\ &= 13,444 \frac{\text{kg}}{\text{sec}} \end{aligned}$$

Perhitungan jumlah dksap

Laju penguapan dksap

$$E_v = \frac{(100 - B) (T_v - T_j) (T_c - T_j) + (T_v - T_j)}{16000}$$

Dimana:

$$E_v = \text{laju penguapan air didalam dksap, dalam } \frac{\text{lb/ft}^2}{\text{hr}}$$

$$B = \text{brix dksap rata-rata}$$

$$= \frac{63 + 90}{2}$$

$$= 76,5$$

$$T_v = \text{temperatur uap, dalam } ^\circ\text{F}$$

$$= 110 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 230 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_j = \text{temperatur dksap rata-rata, dalam } ^\circ\text{F}$$

$$= \frac{60 + 81}{2}$$

$$= 70,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 158,9 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$T_c$  = temperatur pan masakan pada akhir proses, dalam

$^{\circ}\text{F}$

$$= 81 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 177,8 \text{ }^{\circ}\text{F}$$

Jadi:

$$E_v = \frac{23,5 \cdot 71,1 \cdot 18,9 + 71,1}{16000}$$

$$= 1,978 \frac{\text{lb/ft}^2}{\text{hr}}$$

$$= 9,66 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{jam}}$$

Laju penguapan air yang terkandung didalam diksap untuk satu pipa pemanas:

$$\dot{m} = E_v \cdot A$$

Dimana:

$$A = \pi D_{in} L$$

Diasumsikan bahwa penguapan hanya terjadi pada bagian dalam permukaan pipa pemanas, dan uap air yang sudah terjadi tidak akan mengembun kembali.

$$\dot{m} = 9,66 \pi 98 \cdot 10^{-3} \cdot 1$$

$$= 2,975 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

Laju penguapan untuk 578 buah pipa pemanas:

$$\dot{m}_{\text{total}} = N \cdot \dot{m}$$

$$= 578 \cdot 2,975$$

$$= 1719,55 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

Banyaknya uap air yang dihasilkan selama 3,5 jam

$$\begin{aligned} m_{\text{uap air}} &= m_{\text{total}} \cdot t \\ &= 1719,55 \cdot 3,5 \\ &= 6018,425 \text{ kg} \end{aligned}$$

Massa diksap sebelum diuapkan

$$\text{Brix diksap awal} = 63$$

Dari tabel 3, didapat:

$$\text{SG} = 1,30546$$

$$\text{SG} = \frac{\rho_{\text{diksap}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\rho_{\text{diksap}} = \text{SG} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}$$

Dimana:

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{diksap}} &= 1,30546 \cdot 999 \\ &= 1304,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

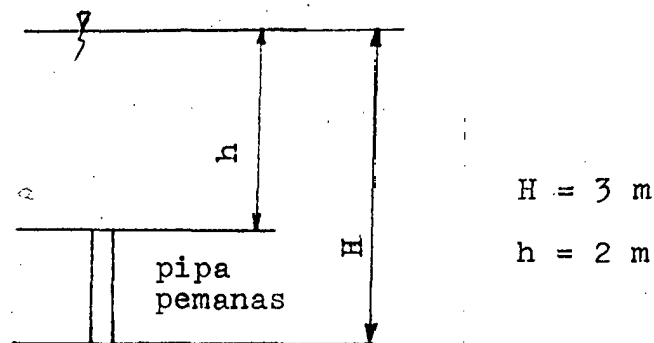
$$\rho_{\text{diksap}} = \frac{m_{\text{awal}}}{V_{\text{awal}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{awal}} &= \rho_{\text{diksap}} \cdot V_{\text{awal}} \\ &= 1304,15 \cdot 30 \\ &= 39124,5 \text{ kg} \end{aligned}$$

Massa diksap yang dihasilkan

$$\begin{aligned} m_{\text{diksap}} &= m_{\text{awal}} - m_{\text{uap air}} \\ &= 39124,5 - 6018,425 \\ &= 33106,075 \text{ kg} \end{aligned}$$

Temperatur penguapan didalam pipa pemanas



Gb.V.5. Ketinggian bahan masakan

Tekanan pada permukaan diksap

$$P_g = - 61 \text{ cm Hg}$$

$$= - 81273 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{0 \text{ abs}} = P_g + P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{atm}} = 1,01325 \cdot 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$P_{0 \text{ abs}} = - 81273 + 1,01325 \cdot 10^5$$

$$= 20052 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Tekanan pada pipa pemanas bagian bawah

$$P = P_{0 \text{ abs}} + \rho_{\text{diksiap}} g H$$

Dimana:

$$\rho_{\text{diksiap}} = 1304,15 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

$$P = 20052 + 1304,15 \cdot 9,8 \cdot 3$$

$$P = 58394 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$= 0,58394 \text{ Bars}$$

Dari tabel 1 akan didapat, bahwa pada tekanan 0,58394 Bars, maka air yang terkandung didalam diksap akan mulai menguap pada temperatur:

$$T = 358 \text{ K}$$

$$= 85 \text{ }^\circ\text{C}$$

Tekanan pada pipa pemanas bagian atas

$$P = P_0 \text{ abs.} + \rho_{\text{diksap}} g h$$

$$= 20052 + 1304,15 \cdot 9,8 \cdot 2$$

$$= 45613 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$= 0,45613 \text{ Bars}$$

Dari tabel 1 akan didapat, bahwa pada tekanan 0,45613 bars, maka air yang terkandung didalam diksap akan mulai menguap pada temperatur:

$$T = 352 \text{ K}$$

$$= 79 \text{ }^\circ\text{C}$$

Karena temperatur permukaan pemanas ( $T_s = 90,25 \text{ }^\circ\text{C}$ ) masih lebih besar daripada temperatur jenuh air yang terkandung pada diksap, baik pada bagian atas ( $79 \text{ }^\circ\text{C}$ ) maupun pada bagian bawah ( $85 \text{ }^\circ\text{C}$ ), maka asumsi bahwa penguapan terjadi pada permukaan bagian dalam pipa pemanas dapat dipakai.

Perhitungan panas

Panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur diksap

$$q = \dot{m}_{\text{total}} C_{p,\text{diksap}} (\bar{T}_{\text{sat}} - \bar{T}_{\text{diksap}})$$

Dimana:

$$\dot{m}_{\text{total}} = 1719,55 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$C_{p,\text{diksap}} = (1 - 0,006 B) \frac{\text{kal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}}$$

$$= (1 - 0,006 B) \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$= 0,541 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$= 2,147 \frac{\text{Btu}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$\bar{T}_{\text{sat}} = \frac{79 + 85}{2}$$

$$= 82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{T}_{\text{diksap}} = 70,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sehingga:

$$q_{\text{pemanas}} = 1719,55 \cdot 2,147 \cdot (82 - 70,5)$$

$$= 35072,8 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$

$$= 10276 \text{ Watt}$$

Panas yang dibutuhkan untuk mengubah air yang terkandung di dalam diksap menjadi uap air

$$q_{\text{penguapan}} = q - q_{\text{pemanas}}$$

$$= 34936 - 10276$$

$$= 24660 \text{ Watt}$$

## V.2. Pan masakan B.

Data yang diperoleh untuk stroop A adalah sebagai berikut:

Volume	: 300 Hl.
Temperatur stroop A masuk	: 58,6 °C.
Temperatur stroop A keluar	: 80 °C.
Brix stroop A masuk	: 71.
Brix stroop A keluar	: 92.
Lama proses	: 4 jam.

Perhitungan ketinggian stroop A didalam pan masakan

Karena volume yang masuk didalam pan masakan sama, maka ketinggian stroop A didalam pan masakan B sama dengan ketinggian diksap didalam pan masakan A.

Analisa perhitungan pipa pemanas

Asumsi yang digunakan sama seperti pada perhitungan sebelumnya.

Properties:

- Untuk saturated vapor:

Dari tabel 1:

$$\text{Tekanan uap pemanas} = 107 \text{ cm Hg}$$

$$\text{Temperatur uap } (T_{\text{sat}}) = 110 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$= 383 \text{ K}$$

$$\text{Volume spesifik } (v_g) = 1,22 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{Enthalpy } (h_{fg}) = 2230,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{Density } (\rho_g) = \frac{1}{v_g}$$

$$= \frac{1}{1,22 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}$$

$$= 0,820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

- Untuk saturated water:

Dari tabel 1:

Temperatur strop A rata-rata ( $T_r$ )

$$T_r = \frac{(58,6 + 80) \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 69,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatur permukaan pipa pemanas ( $T_s$ )

$$T_s = \frac{(69,3 + 110) \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 89,65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 362,65 \text{ K}$$

Temperatur film ( $T_f$ )

$$= \frac{(110 + 89,65) \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 99,825 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 372,825 \text{ K}$$

Volume spesifik ( $v_1$ )

$$= 1,0437 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Viskositas ( $\mu_1$ )

$$= 280,03 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Konduktivitas thermal } (K_1) = 679,9 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

$$\text{Panas spesifik } (C_{p,1}) = 4,2167 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$\text{Prandtl Number } (Pr_1) = 1,764$$

$$\text{Density } (\rho_1) = \frac{1}{v_1}$$

$$= \frac{1}{1,0437 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}$$

$$= 958 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Koefisien konveksi rata-rata dari uap ke pipa pemanas

$$\bar{h}_L = 0,943 \left[ \frac{g \rho_1 (\rho_1 - \rho_v) K_1^3 h'_{fg}}{\mu_1 (T_{\text{sat}} - T_s) L} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Dimana:

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

Mencari harga  $h'_{fg}$

$$h'_{fg} = h_{fg} (1 + 0,68 \text{ Ja})$$

$$\begin{aligned} \text{Ja} &= \frac{C_{p,1} (T_{\text{sat}} - T_s)}{h_{fg}} \\ &= \frac{4,217 (383 - 362,65)}{2230,6} \end{aligned}$$

$$= 0,0385$$

$$h'_{fg} = 2230,6 (1 + 0,68 \cdot 0,0385)$$

$$h'_{fg} = 2288,997 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$= 2288997 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$$

Syarat pemakaian  $h'_{fg}$  adalah sebagai berikut:

$$Pr_1 > 0,5$$

$$\frac{C_{p,l} (T_{\text{sat}} - T_s)}{h'_{fg}} < 1,0$$

Sedangkan:

$$Pr_1 = 1,764$$

$$\frac{C_{p,l} (T_{\text{sat}} - T_s)}{h'_{fg}} = \frac{4,2167 (383 - 362,65)}{2288,997}$$

$$= 0,037$$

Maka penggunaan  $h'_{fg}$  dapat dibenarkan.

Jadi:

$$\bar{h}_L = 0,943 \left[ \frac{9,8 \cdot 958 (958 - 0,820) (679,9 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 2288997}{280,03 \cdot 10^{-6} (383 - 362,65) \cdot 1} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= 5473 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Laju perpindahan panas dari uap ke pipa pemanas

$$q = \bar{h}_L A (T_{\text{sat}} - T_s)$$

Dimana:

$$A = \pi D_{\text{out}} L$$

$$D_{\text{out}} = 0,102 \text{ m}$$

$$q = 5473 \pi 0,102 \cdot 1 (383 - 362,65)$$

$$= 35704 \text{ W}$$

Laju kondensasi uap

$$\dot{m}_l = \frac{q}{h_{fg}}$$

$$= \frac{35704}{2288997}$$

$$= 0,0156 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Untuk seluruh pipa pemanas

$$\dot{m}_l \text{ total} = N \dot{m}_l$$

$$N = 578 \text{ buah}$$

$$\dot{m}_l \text{ total} = 578 \cdot 0,0156$$

$$= 9,0168 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Tinjauan terhadap asumsi film laminar

$$Re_\delta = \frac{4 \dot{m}_l}{\mu_l b}$$

Dimana:

$$b = \pi D_{\text{out}}$$

$$Re_\delta = \frac{4 \cdot 0,0156}{280,03 \cdot 10^{-6} \pi 0,102}$$

$$= 695 < 1800$$

Jadi asumsi bahwa aliran film laminar dapat dipakai

Tebal lapisan film

$$\begin{aligned} \delta(L) &= \left[ \frac{4 k_1 \mu_1 (T_{\text{sat}} - T_s) L}{g \rho_1 (\rho_1 - \rho_v) h'_{fg}} \right]^{\frac{1}{4}} \\ &= \left[ \frac{4 \cdot 679,9 \cdot 10^{-3} \cdot 280,03 \cdot 10^{-6} (383 - 362,65) \cdot 1}{9,8 \cdot 958 (958 - 0,820) \cdot 2288997} \right]^{\frac{1}{4}} \\ &= 1,657 \cdot 10^{-4} \text{ m} \\ &= 0,1657 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinjauan pemakaian pipa pemanas

$$\begin{aligned} \delta(L) &< \frac{D_{\text{out}}}{2} \\ D_{\text{out}} &> 2 \delta(L) \\ D_{\text{out}} &> 2 \cdot 0,1658 \\ D_{\text{out}} &> 0,3314 \text{ mm} \end{aligned}$$

Karena  $D_{\text{out}} = 0,102 \text{ m}$ , maka diameter ini memenuhi syarat.

Perhitungan kecepatan uap

$$\frac{\bar{h}_L}{C_{p,1} G_m} \text{Pr}_1^{\frac{1}{2}} = 0,046 \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_v}} f$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \bar{h}_L &= 5473 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}} \\ &= 965,3 \frac{\text{Btu}}{\text{h ft}^2 \text{F}} \end{aligned}$$

$$C_{p,1} = 4,2167 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

$$C_{p,1} = 1,008 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm F}}$$

$$G_m = \rho_v V_v$$

$$Pr_1 = 1,764$$

$$\rho_1 = 958 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 55,81 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$$

$$\rho_v = 0,820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$= 0,051 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3}$$

$$V_v = \frac{\bar{h}_L}{0,046 C_{p,1} \rho_v} \left[ \frac{Pr_1 \rho_v}{f \rho_1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Koefisien gesek pipa

Lihat gb.V.3.

Dimana:

$$S_T = S_D = 151 \text{ mm}$$

$$D = D_{\text{out}} + 2 \delta(L)$$

$$= 102 + 0,3314$$

$$= 102,3314 \text{ mm}$$

Jarak longitudinal antara pusat pemanas:

$$S_L = 131 \text{ mm}$$

Mencari harga  $Re_{D,\text{max}}$

$$\frac{S_T}{S_L} = 1,15$$

Dari tabel 2, untuk  $\frac{S_T}{S_L} < 2$  dengan susunan pipa staggered didapat:

$$Re_{D,max} = 10^3 + 2 \cdot 10^5$$

Disini diambil  $Re_{D,max} = 100500$

Dimensionless tranverse pitches

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{S_T}{D} \\ &= \frac{151}{102,3314} \\ &= 1,48 \end{aligned}$$

Dari gambar V.4, didapat:

$$f = 0,2$$

Jadi kecepatan uap:

$$\begin{aligned} V_V &= \frac{965,3}{0,046 \cdot 1,008 \cdot 0,051} \left[ \frac{1,764 \cdot 0,051}{0,2 \cdot 55,81} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= 36647 \frac{ft}{h} \\ &= 3,103 \frac{m}{sec} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa uap pemanas

Laju massa uap diantara dua buah pipa pemanas

$$\dot{m}_V = \rho_V A V_V$$

Dimana:

$$A = (S_T - D) L$$

$$\begin{aligned}\dot{m}_v &= \int_v (S_T - D) L V_v \\ &= 0,820 (0,151 - 0,1023314) 13,103 \\ &= 0,1238 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}\end{aligned}$$

Laju aliran massa uap pemanas yang keluar dari pan masakan

$$\begin{aligned}\dot{m}_v \text{ keluar} &= (M - 1) \dot{m}_v \\ &= 37 \cdot 0,1238 \\ &= 4,5806 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}\end{aligned}$$

Laju aliran uap pemanas yang dibutuhkan oleh pan masakan

$$\begin{aligned}\dot{m}_v \text{ masuk} &= \dot{m}_v \text{ keluar} + \dot{m}_1 \text{ total} \\ &= 4,5806 + 9,0168 \\ &= 13,5974 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}\end{aligned}$$

Perhitungan jumlah stroop A

Laju penguapan stroop A

$$E_v = \frac{(100 - B) (T_v - T_j) (T_c - T_j) + (T_v - T_j)}{16000}$$

Dimana:

$$B = \frac{71 + 92}{2}$$

$$= 81,5$$

$$T_v = 110 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 230 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_j = \frac{58,6 + 80}{2}$$

$$= 69,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 156,74 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_c = 80 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 176 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Jadi:

$$E_v = \frac{18,5 \cdot 73,26 \cdot 19,26 + 73,26}{16000}$$

$$= 1,636 \frac{\text{lb/ft}^2}{\text{hr}}$$

$$= 7,99 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{jam}}$$

Laju penguapan air yang terkandung didalam stroop A untuk satu pipa pemanas

$$\dot{m} = E_v A$$

Dimana:

$$A = \pi D_{in} L$$

Jadi

$$\dot{m} = 7,99 \pi 98 \cdot 10^{-3} \cdot 1$$

$$= 2,46 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Laju penguapan untuk 578 buah pipa pemanas

$$\dot{m}_{\text{total}} = N \cdot \dot{m}$$

$$= 578 \cdot 2,46$$

$$= 1421,88 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Banyaknya uap air yang dihasilkan selama 4 jam:

$$\begin{aligned} m_{\text{uap air}} &= \dot{m}_{\text{total}} t \\ &= 1421,88 \cdot 4 \\ &= 5687,52 \text{ kg} \end{aligned}$$

Massa stroop A sebelum diuapkan

$$\text{Brix stroop A awal} = 71$$

Dari tabel 3, didapat:

$$\text{SG} = 1,35463$$

$$\text{SG} = \frac{\rho_{\text{stroop A}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\rho_{\text{stroop A}} = \text{SG} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}}$$

Dimana:

$$\rho_{\text{H}_2\text{O}} = 999 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Jadi

$$\begin{aligned} \rho_{\text{stroop A}} &= 1,35463 \cdot 999 \\ &= 1353,33 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{stroop A}} = \frac{m_{\text{awal}}}{V_{\text{awal}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{awal}} &= \rho_{\text{stroop A}} V_{\text{awal}} \\ &= 1353,33 \cdot 30 \\ &= 40599,9 \text{ kg} \end{aligned}$$

Massa stroop A yang dihasilkan

$$\begin{aligned} m_{\text{stroop A}} &= m_{\text{awal}} - m_{\text{uap air}} \\ &= 40599,9 - 5687,52 \end{aligned}$$

$$m_{\text{stroop A}} = 34912,38 \text{ kg}$$

Temperatur penguapan didalam pipa pemanas

Lihat gambar V.5.

Tekanan pada permukaan stroop A

$$P_{0 \text{ abs}} = 20052 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Tekanan pada pipa pemanas bagian bawah

$$P = P_{0 \text{ abs}} + \rho_{\text{stroop A}} g H$$

Dimana:

$$\rho_{\text{stroop A}} = 1353,99 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

Sehingga:

$$P = 20052 + 1353,99 \cdot 9,8 \cdot 3$$

$$= 59859 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$= 0,59859 \text{ Bars}$$

Dari tabel 1 akan didapat, bahwa pada tekanan 0,59859 Bars, maka air yang terkandung didalam stroop A akan mulai menguap pada temperatur:

$$T = 358,99 \text{ K}$$

$$= 85,99 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Tekanan pada pipa pemanas bagian atas

$$P = P_{0 \text{ abs}} + \rho_{\text{stroop A}} g h$$

$$= 20052 + 1353,99 \cdot 9,8 \cdot 2$$

$$P = 46590 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$= 0,46590 \text{ Bars}$$

Dari tabel 1 akan didapat, bahwa pada tekanan 0,46590 Bars, maka air yang terkandung didalam stroop A akan mulai menguap pada temperatur:

$$T = 352,6 \text{ K}$$

$$= 79,6 \text{ }^\circ\text{C}$$

Karena temperatur permukaan pemanas ( $T_g = 89,65 \text{ }^\circ\text{C}$ ) masih lebih besar daripada temperatur jenuh air yang terkandung pada stroop A, baik pada bagian atas ( $79,6 \text{ }^\circ\text{C}$ ) maupun pada bagian bawah ( $85,99 \text{ }^\circ\text{C}$ ), maka asumsi bahwa penguapan terjadi pada permukaan bagian dalam pipa pemanas dapat dipakai.

#### Perhitungan panas

Panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur stroop A

$$q = \dot{m}_{\text{total}} C_{p,\text{stroop A}} (\bar{T}_{\text{sat}} - \bar{T}_{\text{stroop A}})$$

Dimana:

$$\dot{m}_{\text{total}} = 1421,88 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$C_{p,\text{stroop A}} = (1 - 0,006 B) \frac{\text{kal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}}$$

$$= (1 - 0,006 B) \frac{\text{kKal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$= (1 - 0,006 \cdot 81,5) \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$= 0,511 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$C_{p, \text{stroop A}} = 2,028 \frac{\text{Btu}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$\begin{aligned} \bar{T}_{\text{sat}} &= \frac{79,6 + 85,99}{2} \\ &= 82,80 \text{ } ^\circ\text{C} \end{aligned}$$

$$\bar{T}_{\text{stroop A}} = 69,3 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} q_{\text{pemanas}} &= 1421,88 \cdot 2,028 \cdot (82,80 - 69,3) \\ &= 38928 \frac{\text{Btu}}{\text{Jam}} \\ &= 11406 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Panas yang dibutuhkan untuk mengubah air yang terkandung di dalam stroop A menjadi uap air

$$\begin{aligned} q_{\text{penguapan}} &= q - q_{\text{pemanas}} \\ &= 35704 - 11406 \\ &= 24298 \text{ Watt} \end{aligned}$$

### W.3. Pan masakan C.

Data yang diperoleh untuk stroop B adalah sebagai berikut:

Volume	: 300 Hl.
Temperatur stroop B masuk	: 59 $^\circ\text{C}$
Temperatur stroop B keluar	: 80,5 $^\circ\text{C}$ .
Brix stroop B masuk	: 76.
Brix stroop B keluar	: 93.
Lama proses	: 4,5 jam.

Perhitungan ketinggian stroop B didalam pan masakan

Karena volume yang masuk didalam pan masakan sama, maka ketinggian stroop B didalam pan masakan C sama dengan ketinggian diksap didalam pan masakan A.

Analisa perhitungan pipa pemanas

Asumsi yang digunakan sama seperti pada perhitungan sebelumnya

Properties:

- Untuk saturated vapor:

Dari tabel 1:

$$\text{Tekanan uap pemanas} = 107 \text{ cm Hg}$$

$$\begin{aligned} \text{Temperatur uap } (T_{\text{sat}}) &= 110 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 383 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\text{Volume spesifik } (v_g) = 1,22 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{Enthalphy } (h_{fg}) = 2230,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\begin{aligned} \text{Density } (\rho_g) &= \frac{1}{v_g} \\ &= \frac{1}{1,22 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \\ &= 0,820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

- Untuk saturated water:

Dari tabel 1:

$$\text{Temperatur stroop B rata-rata } (T_r)$$

$$T_r = \frac{(59 + 80,5) \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 69,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatur permukaan pipa pemanas ( $T_s$ )

$$T_s = \frac{(69,75 + 110) \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 88,88 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 361,88 \text{ K}$$

Temperatur film ( $T_f$ )

$$= \frac{(110 + 88,88) \text{ } ^\circ\text{C}}{2}$$

$$= 99,44 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 372,44 \text{ K}$$

Volume spesifik ( $v_1$ )

$$= 1,0433 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

Viskositas ( $\mu_1$ )

$$= 281,25 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N s}}{\text{m}^2}$$

Konduktivitas thermal ( $K_1$ )

$$= 679,8 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m K}}$$

Panas spesifik ( $C_{p,1}$ )

$$= 4,2163 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}}$$

Prandtl Number ( $Pr_1$ )

$$= 1,769$$

Density ( $\rho_1$ )

$$= \frac{1}{v_1}$$

$$= \frac{1}{1,0433 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}$$

$$= 958 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Koefisien konveksi rata-rata dari uap ke pipa pemanas

$$\bar{h}_L = 0,943 \left[ \frac{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) K_l^3 h'_{fg}}{\mu_l (T_{sat} - T_s) L} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Dimana:

$$g = 9,8 \frac{m}{sec^2}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

Mencari harga  $h'_{fg}$

$$h'_{fg} = h_{fg} (1 + 0,68 \text{ Ja})$$

$$\begin{aligned} \text{Ja} &= \frac{C_{p,l} (T_{sat} - T_s)}{h_{fg}} \\ &= \frac{4,2163 (383 - 361,88)}{2230,6} \\ &= 0,0399 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h'_{fg} &= 2230,6 (1 + 0,68 \cdot 0,0399) \\ &= 2291,121 \frac{kJ}{kg} \\ &= 2291121 \frac{J}{kg} \end{aligned}$$

Syarat pemakaian  $h'_{fg}$  adalah sebagai berikut:

$$Pr_1 > 0,5$$

$$\frac{C_{p,l} (T_{sat} - T_s)}{h'_{fg}} < 1,0$$

Sedangkan:

$$Pr_1 = 1,769$$

$$\frac{C_{p,l} (T_{\text{sat}} - T_s)}{h'_{fg}} = \frac{4,2163 (383 - 361,88)}{2291,121}$$

$$= 0,039$$

Maka penggunaan  $h'_{fg}$  dapat dibenarkan.

Jadi:

$$\bar{h}_L = 0,943 \left[ \frac{9,8 \cdot 958 (958 - 0,820) (679,8 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 2291121}{281,25 \cdot 10^{-6} (383 - 361,88) \cdot 1} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= 5417 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Laju perpindahan panas dari uap ke pipa pemanas.

$$q = \bar{h}_L A (T_{\text{sat}} - T_s)$$

Dimana:

$$A = \pi D_{\text{out}} L$$

$$D_{\text{out}} = 0,102 \text{ m}$$

$$q = 5417 \pi \cdot 0,102 \cdot 1 (383 - 361,88)$$

$$= 36676 \text{ W}$$

Laju kondensasi uap

Untuk seluruh pipa pemanas.

$$\dot{m}_l = \frac{q}{h'_{fg}}$$

$$= \frac{36676}{2291121}$$

$$= 0,0160 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

$$\dot{m}_l \text{ total} = N \cdot \dot{m}$$

$$= 578 \cdot 0,0160$$

$$= 9,248 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Timjauan terhadap asumsi film laminar

$$Re_\delta = \frac{4 \dot{m}_l}{\mu_l h}$$

Dimana:

$$b = \pi D_{\text{out}}$$

$$\begin{aligned} \text{Re}_\delta &= \frac{4 \cdot 0,0160}{281,25 \cdot 10^{-6} \pi \cdot 0,102} \\ &= 710 < 1800 \end{aligned}$$

Jadi asumsi bahwa aliran film laminar dapat dipakai  
Tebal lapisan film

$$\begin{aligned} \delta(L) &= \left[ \frac{4 k_l \mu_l (T_{\text{sat}} - T_s) L}{g \rho_l (\rho_l - \rho_v) h'_{fg}} \right]^{\frac{1}{4}} \\ &= \left[ \frac{4 \cdot 679,8 \cdot 10^{-3} \cdot 281,25 \cdot 10^{-6} \cdot (383 - 361,88) \cdot 1}{9,8 \cdot 958 \cdot (958 - 0,820) \cdot 2291121} \right]^{\frac{1}{4}} \\ &= 1,673 \cdot 10^{-4} \text{ m} \\ &= 0,1673 \text{ mm} \end{aligned}$$

Tinjauan pemakaian pipa pemanas

$$\delta(L) < \frac{D_{\text{out}}}{2}$$

$$D_{\text{out}} > 2 \delta(L)$$

$$D_{\text{out}} > 2 \cdot 0,1673$$

$$D_{\text{out}} > 0,3346 \text{ mm}$$

Karena  $D_{\text{out}} = 0,102 \text{ m}$ , maka diameter ini memenuhi syarat.

Perhitungan kecepatan uap

$$\frac{\dot{m}_L}{C_{p,l} \dot{Q}_m} \text{Pr}_l^{\frac{1}{2}} = 0,046 \sqrt{\frac{\rho_l}{\rho_v} f}$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \bar{h}_L &= 5417 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{ K}} \\ &= 955,4 \frac{\text{Btu}}{\text{h ft}^2 \text{ F}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{p,1} &= 4,2163 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ &= 1,008 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm F}} \end{aligned}$$

$$G_m = \rho_v V_v$$

$$Pr_1 = 1,769$$

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 958 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 55,81 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_v &= 0,820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 0,051 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3} \end{aligned}$$

$$v_v = \frac{\bar{h}_L}{0,046 C_{p,1} \rho_v} \left[ \frac{Pr_1 \rho_v}{f \rho_1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Koefisien gesek pipa

Lihat gb.V.3.

Dimana:

$$S_r = S_D = 151 \text{ mm}$$

$$D = D_{\text{out}} + 2 \delta(L)$$

$$= 102 + 0,3346$$

$$= 102,3346 \text{ mm}$$

Jarak longitudinal antara pusat pemanas

$$S_L = 131 \text{ mm}$$

Mencari harga  $Re_{D,max}$

$$\frac{S_T}{S_L} = 1,15$$

Dari tabel 2, untuk  $\frac{S_T}{S_L} < 2$  dengan susunan pipa staggered di

dapat:

$$Re_{D,max} = 10^3 \cdot 2 \cdot 10^5$$

Disini diambil  $Re_{D,max} = 100500$

Dimensionless tranverse pitches

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{S_T}{D} \\ &= \frac{151}{102,3346} \\ &= 1,48 \end{aligned}$$

Dari gambar V.4, didapat:

$$f = 0,2$$

Jadi kecepatan uap:

$$\begin{aligned} V_v &= \frac{955,4}{0,046 \cdot 1,008 \cdot 0,051} \left[ \frac{1,769 \cdot 0,051}{0,2 \cdot 55,81} \right]^{\frac{1}{2}} \\ &= 36322 \frac{\text{ft}}{\text{h}} \\ &= 3,075 \frac{\text{m}}{\text{sec}} \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa uap pemanas.

Laju massa uap diantara dua buah pipa pemanas

$$\dot{m}_v = f_v A V_v$$

Dimana:

$$A = (S_T - D) L$$

$$\dot{m}_v = f_v (S_T - D) L V_v$$

$$= 0,820 (0,151 - 0,1023346) 1 3,075$$

$$= 0,1227 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Laju aliran massa uap pemanas yang keluar dari pan. masakan

$$\dot{m}_v \text{ keluar} = (M - 1) \dot{m}_v$$

$$= 37 0,1227$$

$$= 3,681 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Laju aliran uap pemanas yang dibutuhkan oleh pan. masakan

$$\dot{m}_v \text{ masuk} = \dot{m}_v \text{ keluar} + \dot{m}_l \text{ total}$$

$$= 3,681 + 9,248$$

$$= 12,929 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Perhitungan jumlah stroop B:

Laju penguapan stroop B:

$$E_v = \frac{(100 - B) (T_v - T_j) (T_c - T_j) + (T_v - T_j)}{16000}$$

Dimana:

$$B = \frac{76 + 93}{2}$$

$$= 84,5$$

$$T_v = 110 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 230 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_j = \frac{59 + 80,5}{2}$$

$$= 69,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 157,55 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_c = 80,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 176,9 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Jadi:

$$E_v = \frac{15,5 \cdot 72,45 \cdot 19,35 + 72,45}{16000}$$

$$= 1,363 \frac{\text{lb/ft}^2}{\text{hr}}$$

$$= 6,65 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{jam}}$$

Laju penguapan air yang terkandung didalam strop B untuk satu pipa pemanas

$$\dot{m} = E_v A$$

Dimana:

$$A = \pi D_{in} L$$

Jadi

$$\dot{m} = 6,65 \pi 98 \cdot 10^{-3} \cdot 1$$

$$\dot{m} = 2,05 \frac{\text{kg}}{\text{hr}}$$

Laju penguapan untuk 578 buah pipa pemanas

$$\begin{aligned} \dot{m}_{\text{total}} &= N \cdot \dot{m} \\ &= 578 \cdot 2,05 \\ &= 1184,9 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

Banyaknya uap air yang dihasilkan selama 4,5 jam

$$\begin{aligned} m_{\text{uap air}} &= \dot{m}_{\text{total}} \cdot t \\ &= 1184,9 \cdot 4,5 \\ &= 5332,05 \text{ kg} \end{aligned}$$

Massa stroop B sebelum diuapkan

$$\text{Brix stroop B awal} = 76$$

Dari tabel 3, didapat:

$$\text{SG} = 1,38588$$

$$\text{SG} = \frac{\rho_{\text{stroop B}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{stroop B}} &= \text{SG} \cdot \rho_{\text{H}_2\text{O}} \\ &= 1,38588 \cdot 999 \\ &= 1384,49 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{stroop B}} = \frac{m_{\text{awal}}}{V_{\text{awal}}}$$

$$\begin{aligned} m_{\text{awal}} &= \rho_{\text{stroop B}} \cdot V_{\text{awal}} \\ &= 1384,49 \cdot 30 \\ &= 41534,7 \text{ kg} \end{aligned}$$

Massa stroop B yang dihasilkan

$$\begin{aligned} m_{\text{stroop B}} &= m_{\text{awal}} - m_{\text{uap air}} \\ &= 41534,7 - 5332,05 \\ &= 36202,65 \text{ kg} \end{aligned}$$

Temperatur penguapan didalam pipa pemanas

Lihat gambar V.5.

Tekanan pada permukaan stroop B.

$$P_0 \text{ abs} = 20052 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Tekanan pada pipa pemanas bagian bawah

$$P = P_0 \text{ abs} + \rho_{\text{stroop B}} g H$$

Dimana:

$$\rho_{\text{stroop B}} = 1384,49 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

Sehingga:

$$\begin{aligned} P &= 20052 + 1384,49 \cdot 9,8 \cdot 3 \\ &= 60756 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \\ &= 0,60756 \text{ Bars} \end{aligned}$$

Dari tabel 1 akan didapat, bahwa pada tekanan 0,60756 Bars, maka air yang terkandung didalam stroop B akan mulai menguap pada temperatur:

$$\begin{aligned} T &= 359,4 \text{ K} \\ &= 86,4 \text{ }^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Tekanan pada pipa pemanas bagian atas

$$\begin{aligned}
 P &= P_0 \text{ abs} + \rho_{\text{stroop B}} g h \\
 &= 20052 + 1384,49 \cdot 9,8 \cdot 2 \\
 &= 47188 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \\
 &= 0,47188 \text{ Bars}
 \end{aligned}$$

Dari tabel 1 akan didapat, bahwa pada tekanan 0,47188 Bars, maka air yang terkandung didalam stroop B akan mulai menguap pada temperatur:

$$\begin{aligned}
 T &= 353 \text{ K} \\
 &= 80 \text{ }^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$

Karena temperatur permukaan pemanas ( $T_s = 88,88 \text{ }^\circ\text{C}$ ) masih lebih besar daripada temperatur jenuh air yang terkandung pada stroop B, baik pada bagian atas ( $80 \text{ }^\circ\text{C}$ ) maupun pada bagian bawah ( $86,4 \text{ }^\circ\text{C}$ ), maka asumsi bahwa penguapan terjadi pada permukaan bagian dalam pipa pemanas dapat dipakai.

Perhitungan panas

Panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur stroop B

$$q = \dot{m}_{\text{total}} C_{p,\text{stroop B}} (\bar{T}_{\text{sat}} - \bar{T}_{\text{stroop B}})$$

Dimana:

$$\dot{m}_{\text{total}} = 1184,9 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$\begin{aligned}
 C_{p,\text{stroop B}} &= (1 - 0,006 B) \frac{\text{kal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}} \\
 &= (1 - 0,006 B) \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}
 \end{aligned}$$

$$C_{p, \text{stroop B}} = (1 - 0,006 \cdot 84,5) \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$= 0,493 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$= 1,956 \frac{\text{Btu}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$\bar{T}_{\text{sat}} = \frac{80 + 86,4}{2}$$

$$= 83,2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{T}_{\text{stroop B}} = 69,75 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sehingga:

$$q_{\text{pemanas}} = 1184,9 \cdot 1,956 (83,2 - 69,75)$$

$$= 31173 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$

$$= 9134 \text{ Watt}$$

Panas yang dibutuhkan untuk mengubah air yang terkandung di dalam stroop B menjadi uap air

$$q_{\text{penguapan}} = q - q_{\text{pemanas}}$$

$$= 36676 - 9134$$

$$= 27542 \text{ Watt}$$

#### V.4. Pan masakan D.

Data yang diperoleh untuk stroop C adalah sebagai berikut:

Volume : 300 Hl.

Temperatur stroop C masuk : 60  $^\circ\text{C}$ .

Temperatur stroop C keluar: 82  $^\circ\text{C}$ .

Brix stroop B masuk	: 89.
Brix stroop B keluar	: 96.
Lama proses	: 4 jam.

Perhitungan ketinggian stroop C didalam pan masakan

Karena volume yang masuk didalam pan masakan sama, maka ketinggian stroop C didalam pan masakan C sama dengan ketinggian diksap didalam masakan A.

Analisa perhitungan pipa pemanas

Asumsi yang digunakan sama seperti pada perhitungan sebelumnya

Properties:

- Untuk saturated vapor:

Dari tabel 1:

$$\text{Tekanan uap pemanas} = 107 \text{ cm Hg}$$

$$\begin{aligned} \text{Temperatur uap } (T_{\text{sat}}) &= 110 \text{ }^{\circ}\text{C} \\ &= 383 \text{ K} \end{aligned}$$

$$\text{Volume spesifik } (v_g) = 1,22 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{Enthalphy } (h_{fg}) = 2230,6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\begin{aligned} \text{Density } (\rho_g) &= \frac{1}{v_g} \\ &= \frac{1}{1,22 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} \\ &= 0,820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

- Untuk saturated water:

Dari tabel 1:

Temperatur strop C rata-rata ( $T_r$ )

$$T_r = \frac{(60 + 82)}{2} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Temperatur permukaan pipa pemanas ( $T_s$ )

$$T_s = \frac{(71 + 110)}{2} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 90,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 363,5 \text{ K}$$

$$\text{Temperatur film } (T_f) = \frac{(90,5 + 110)}{2} \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 100,25 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 373,25 \text{ K}$$

$$\text{Volume spesifik } (v_1) = 1,0441 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{Viskositas } (\mu_1) = 278,73 \cdot 10^{-6} \frac{\text{N} \cdot \text{s}}{\text{m}^2}$$

$$\text{Konduktivitas thermal } (K_1) = 680,1 \cdot 10^{-3} \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Panas spesifik } (C_{p,1}) = 4,2172 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$\text{Prandtl Number } (Pr_1) = 1,757$$

$$\text{Density } (\rho_1) = \frac{1}{v_1}$$

$$= \frac{1}{1,0441 \cdot 10^{-3} \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}$$

$$\text{Density } (\rho_1) = 958 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Koefisien konveksi rata - rata dari uap ke pipa pemanas

$$\bar{h}_L = 0,943 \left[ \frac{g \rho_1 (\rho_1 - \rho_v) K_1^3 h'_{fg}}{\mu_1 (T_{\text{sat}} - T_s) L} \right]^{\frac{1}{4}}$$

Dimana:

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

$$L = 1 \text{ m}$$

Mencari harga  $h'_{fg}$

$$h'_{fg} = h_{fg} (1 + 0,68 \text{ Ja})$$

$$\begin{aligned} \text{Ja} &= \frac{C_{p,l} (T_{\text{sat}} - T_s)}{h_{fg}} \\ &= \frac{4,2172 (383 - 363,5)}{2230,6} \\ &= 0,0369 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h'_{fg} &= 2230,6 (1 + 0,68 \cdot 0,0369) \\ &= 2286,570 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ &= 2286570 \frac{\text{J}}{\text{kg}} \end{aligned}$$

Syarat pemakaian  $h'_{fg}$  adalah sebagai berikut:

$$\text{Pr}_1 > 0,5$$

$$\frac{C_{p,l} (T_{\text{sat}} - T_s)}{h'_{fg}} < 1,0$$

Sedangkan:

$$Pr_1 = 1,757$$

$$\frac{C_{p,l} (T_{\text{sat}} - T_s)}{h_{fg}} = \frac{4,2172 (383 - 363,5)}{2286,570}$$

$$= 0,0360$$

Maka penggunaan  $h'_{fg}$  dapat dibenarkan.

Jadi:

$$\bar{h}_L = 0,943 \left[ \frac{9,8958 (958 - 0,820) (680,1 \cdot 10^{-3})^3 \cdot 2286570}{278,73 \cdot 10^{-6} (383 - 363,5)} \right]^{\frac{1}{4}}$$

$$= 5538 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \text{K}}$$

Laju perpindahan panas dari uap ke pipa pemanas.

$$q = \bar{h}_L A (T_{\text{sat}} - T_s)$$

Dimana:

$$A = \pi D_{\text{out}} L$$

$$D_{\text{out}} = 0,102 \text{ m}$$

$$q = 5538 \pi \cdot 0,102 \cdot 1 (383 - 363,5)$$

$$= 34619 \text{ W}$$

Laju kondensasi uap

$$\dot{m}_1 = \frac{q}{h_{fg}}$$

$$= \frac{34619}{2286570}$$

$$= 0,0151 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Untuk seluruh pipa pemanas

$$\begin{aligned}\dot{m}_1 \text{ total} &= N \cdot \dot{m} \\ &= 578 \cdot 0,0151 \\ &= 8,7278 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}\end{aligned}$$

Tinjauan terhadap asumsi film laminar

$$\text{Re} = \frac{4 \dot{m}_1}{\mu_1 b}$$

Dimana:

$$b = \pi D_{\text{out}}$$

$$\begin{aligned}\text{Re} &= \frac{4 \cdot 0,0151}{278,75 \cdot 10^{-6} \cdot \pi \cdot 0,102} \\ &= 676 < 1800\end{aligned}$$

Jadi asumsi bahwa aliran film laminar dapat dipakai

Tebal lapisan film

$$\begin{aligned}\delta(L) &= \left[ \frac{4 \cdot k_1 \cdot \mu_1 \cdot (T_{\text{sat}} - T_s) \cdot L}{g \cdot \rho_l \cdot (\rho_l - \rho_v) \cdot h_{\text{fg}}} \right]^{\frac{1}{4}} \\ &= \left[ \frac{4 \cdot 680,1 \cdot 10^{-3} \cdot 278,73 \cdot 10^{-6} \cdot (383 - 363,5) \cdot 1}{9,8 \cdot 958 \cdot (958 - 0,820) \cdot 2286570} \right]^{\frac{1}{4}} \\ &= 1,638 \cdot 10^{-4} \text{ m} \\ &= 0,1638 \text{ mm}\end{aligned}$$

Tinjauan terhadap pipa pemanas

$$\delta(L) < \frac{D_{\text{out}}}{2}$$

$$D_{\text{out}} > 2 \delta(L)$$

$$D_{\text{out}} > 2 \cdot 0,1638$$

$$D_{\text{out}} > 0,3276 \text{ mm}$$

Karena  $D_{\text{out}} = 0,102 \text{ m}$ , maka diameter ini memenuhi syarat.

Perhitungan kecepatan uap

$$\frac{\bar{h}_L}{C_{p,1} G_m} Pr_1^{\frac{1}{2}} = 0,046 \sqrt{\frac{\rho_1}{\rho_v}} f$$

Dimana:

$$\begin{aligned} \bar{h}_L &= 5538 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}} \\ &= 976,7 \frac{\text{Btu}}{\text{h ft}^2 \cdot \text{F}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{p,1} &= 4,2172 \frac{\text{kJ}}{\text{kg K}} \\ &= 1,0079 \frac{\text{Btu}}{\text{lbm F}} \end{aligned}$$

$$G_m = \rho_v V_v$$

$$Pr_1 = 1,757$$

$$\begin{aligned} \rho_1 &= 958 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 55,81 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \rho_v &= 0,820 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \\ &= 0,051 \frac{\text{lbm}}{\text{ft}^3} \end{aligned}$$

$$V_v = \frac{\bar{h}_L}{0,046 C_{p,1} \rho_v} \left[ \frac{Pr_1 \rho_v}{f \rho_1} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Koefisien gesek pipa

Lihat gb.V.3.

Dimana:

$$\begin{aligned} S_T &= S_D = 151 \text{ mm} \\ D &= D_{\text{out}} + 2 \delta(L) \\ &= 102 + 0,3276 \\ &= 102,3276 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Jarak longitudinal antara pusat pemanas

$$S_L = 131 \text{ mm}$$

Mencari harga  $Re_{D,\text{max}}$

$$\frac{S_T}{S_L} = 1,15$$

Dari tabel 2, untuk  $\frac{S_T}{S_L} < 2$  dengan susunan pipa staggered di

dapat:

$$Re_{D,\text{max}} = 10^3 \div 2 \cdot 10^5$$

Disini diambil  $Re_{D,\text{max}} = 100500$

Dimensionless tranverse pitches

$$\begin{aligned} P_T &= \frac{S_T}{D} \\ &= \frac{151}{102,3276} \\ &= 1,48 \end{aligned}$$

Dari gambar V.4, didapat:

$$f = 0,2$$

Jadi kecepatan uap:

$$\begin{aligned}
 V_v &= \frac{976,7}{0,046 \cdot 1,0079 \cdot 0,051} \left[ \frac{1,757 \cdot 0,051}{0,2 \cdot 55,81} \right]^{\frac{1}{2}} \\
 &= 37010 \frac{\text{ft}}{\text{h}} \\
 &= 3,134 \frac{\text{m}}{\text{sec}}
 \end{aligned}$$

Perhitungan laju aliran massa uap pemanas

Laju massa uap diantara dua buah pipa pemanas.

$$\dot{m}_v = \int_v A V_v$$

Dimana:

$$A = (S_T - D) L$$

$$\dot{m}_v = \int_v (S_T - D) L V_v$$

$$= 0,820 (0,151 - 0,1023276) \cdot 1 \cdot 3,134$$

$$= 0,1251 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Laju aliran massa uap pemanas yang keluar dari pan masakan

$$\dot{m}_v \text{ keluar} = (M - 1) \dot{m}_v$$

$$= 37 \cdot 0,1251$$

$$= 4,629 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Laju aliran uap pemanas yang dibutuhkan oleh pan masakan

$$\dot{m}_v \text{ masuk} = \dot{m}_v \text{ keluar} + \dot{m}_1 \text{ total}$$

$$= 4,629 + 8,7278$$

$$= 13,3568 \frac{\text{kg}}{\text{sec}}$$

Perhitungan jumlah stroop C

Jumlah penguapan stroop C

$$E_v = \frac{(100 - B) (T_v - T_j) (T_c - T_j) + (T_v - T_j)}{16000}$$

Dimana:

$$B = \frac{89 + 96}{2}$$

$$= 92,5$$

$$T_v = 110 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 230 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_j = \frac{60 + 82}{2}$$

$$= 71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 159,8 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_c = 82 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$= 179,6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

Jadi:

$$E_v = \frac{7,5 \cdot 70,2 \cdot 19,8 + 70,2}{16000}$$

$$= 0,656 \frac{\text{lb/ft}^2}{\text{hr}}$$

$$= 3,20 \frac{\text{kg/m}^2}{\text{jam}}$$

Laju penguapan air yang terkandung didalam stroop C untuk satu pipa pemanas

$$m = E_v A$$

Dimana:

$$A = \pi D_{in} L$$

Jadi

$$\begin{aligned} \dot{m} &= 3,20 \pi 98 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \\ &= 0,99 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

Laju penguapan untuk 578 buah pipa pemanas.

$$\begin{aligned} \dot{m}_{total} &= N \dot{m} \\ &= 578 \cdot 0,99 \\ &= 572,2 \frac{\text{kg}}{\text{hr}} \end{aligned}$$

Banyaknya uap air yang dihasilkan selama 4 jam.

$$\begin{aligned} m_{\text{uap air}} &= \dot{m}_{total} t \\ &= 572,2 \cdot 4 \\ &= 2288,8 \text{ kg} \end{aligned}$$

Massa stroop C sebelum diuapkan

Brix stroop C awal = 89

Dari tabel 3, didapat:

$$SG = 1,46713$$

$$SG = \frac{\rho_{\text{stroop C}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}$$

$$\begin{aligned} \rho_{\text{stroop C}} &= SG \rho_{\text{H}_2\text{O}} \\ &= 1,46713 \cdot 999 \\ &= 1465,66 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \end{aligned}$$

$$\rho_{\text{stroop C}} = \frac{m_{\text{awal}}}{V_{\text{awal}}}$$

$$m_{\text{awal}} = \rho_{\text{stroop C}} V_{\text{awal}}$$

$$= 1465,66 \cdot 30$$

$$= 43969,8 \text{ kg}$$

Massa stroop C yang dihasilkan

$$m_{\text{stroop C}} = m_{\text{awal}} - m_{\text{uap air}}$$

$$= 43969,8 - 2288,8$$

$$= 41681 \text{ kg}$$

Temperatur penguapan didalam pipa pemanas

Lihat gambar V.5.

Tekanan pada permukaan stroop C

$$P_0 \text{ abs} = 20052 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

Tekanan pada pipa pemanas bagian bawah

$$P = P_0 \text{ abs} + \rho_{\text{stroop C}} \cdot g \cdot H$$

Dimana:

$$\rho_{\text{stroop C}} = 1465,66 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$g = 9,8 \frac{\text{m}}{\text{sec}^2}$$

Sehingga:

$$P = 20052 + 1465,66 \cdot 9,8 \cdot 3$$

$$= 63142 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$= 0,63142 \text{ Bars}$$

Dari tabel 1 akan didapat, bahwa pada tekanan 0,63142 Bars,

maka air yang terkandung didalam stroop C akan mulai menguap pada temperatur:

$$T = 360,4 \text{ K}$$

$$= 87,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Tekanan pada pipa pemanas bagian atas

$$P = P_{0 \text{ abs}} + \rho_{\text{stroop C}} g h$$

$$= 20052 + 1465,66 \cdot 9,8 \cdot 2$$

$$= 48779 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$= 0,48779 \text{ Bars}$$

Dari tabel 1 akan didapat, bahwa pada tekanan 0,48779 Bars, maka air yang terkandung didalam stroop C akan mulai menguap pada temperatur:

$$T = 353,8 \text{ K}$$

$$= 80,8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Karena temperatur permukaan pemanas ( $T_s = 90,5 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), masih lebih besar daripada temperatur jenuh air yang terkandung pada stroop C, baik pada bagian atas ( $80,8 \text{ } ^\circ\text{C}$ ) maupun pada bagian bawah ( $87,4 \text{ } ^\circ\text{C}$ ), maka asumsi bahwa penguapan terjadi pada permukaan bagian dalam pipa pemanas dapat dipakai.

Perhitungan panas

Panas yang dibutuhkan untuk menaikkan temperatur stroop C

$$q = \dot{m}_{\text{total}} C_{p,\text{stroop C}} (T_{\text{sat}} - T_{\text{stroop C}})$$

Dimana:

$$\dot{m}_{\text{total}} = 572,2 \frac{\text{kg}}{\text{jam}}$$

$$C_{p, \text{stroop C}} = (1 - 0,006 B) \frac{\text{kal}}{\text{gr } ^\circ\text{C}}$$

$$= (1 - 0,006 B) \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$= (1 - 0,006 \cdot 92,5) \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$= 0,445 \frac{\text{kcal}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$= 1,766 \frac{\text{Btu}}{\text{kg } ^\circ\text{C}}$$

$$\bar{T}_{\text{sat}} = \frac{80,8 + 87,4}{2}$$

$$= 84,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$\bar{T}_{\text{stroop C}} = 71 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Sehingga:

$$q_{\text{pemanas}} = 572,2 \cdot 1,766 \cdot (84,1 - 71)$$

$$= 13238 \frac{\text{Btu}}{\text{jam}}$$

$$= 3879 \text{ Watt}$$

Panas yang dibutuhkan untuk mengubah air yang terkandung di dalam stroop C menjadi uap air:

$$q_{\text{penguapan}} = q - q_{\text{pemanas}}$$

$$= 34619 - 3879$$

$$= 30740 \text{ Watt}$$