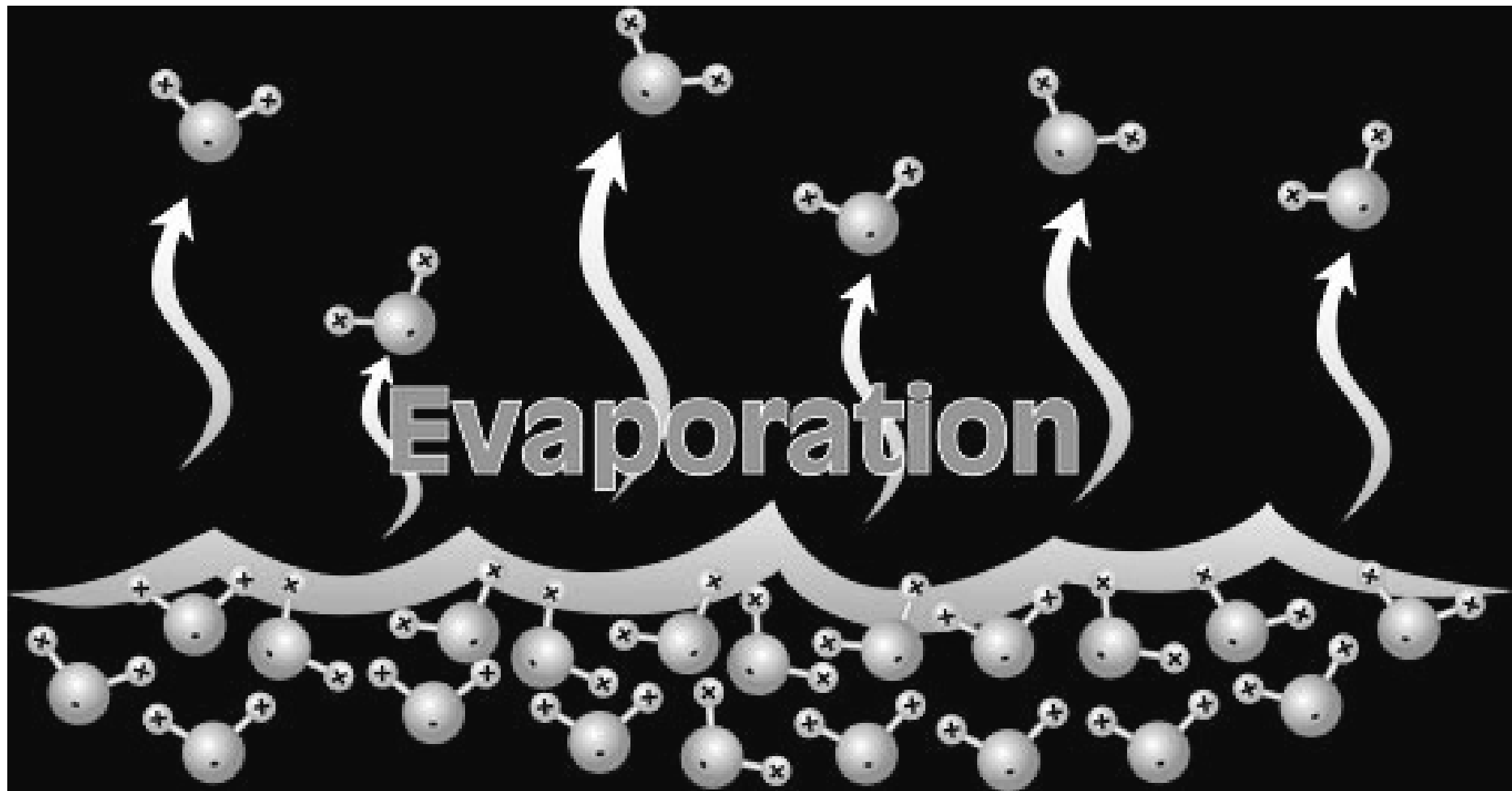


# EVAPORASI PENGUAPAN



# Soal 1

- *Single effect evaporator* menguapkan larutan 10% padatan menjadi 30% padatan dg laju 250 kg *feed* per jam. Tekanan dalam evaporator 77 kPa absolute, & steam tersedia dg tekanan 200 kPa gauge. Hitung jumlah steam yang dibutuhkan per jam & luas area permukaan pindah panas
- Diketahui: Koefisien pindah panas overall  $1700 \text{ Jm}^{-2}\text{s}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .
- Asumsi: suhu feed  $18^\circ\text{C}$ , titik didih larutan pada 77 kPa absolute =  $91^\circ\text{C}$ , panas spesifik larutan = air =  $4,186 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1}$ , panas laten penguapan = air pada kondisi yang sama

- Banyaknya steam yg diperlukan / jam (kg steam / jam)

$$= \frac{\text{panas yang dibutuhkan (J/jam)}}{\text{panas yang tersedia (J/kg steam)}}$$

- Panas yang tersedia (steam)

$$= \text{panas laten} + \text{panas sensibel untuk mendinginkan ke } 91\text{C}$$

- Panas yang dibutuhkan larutan (dalam evaporator)

$$= \text{panas laten} + \text{panas sensibel untuk memanaskan ke } 91\text{C}$$

- Panas laten steam (yang tersedia) & panas laten dalam evaporator (yang dibutuhkan)?

Lihat steam table (Earle, Appendix 8)

Steam

$$P = 200 \text{ kPa (g)} \rightarrow T = ? \rightarrow \text{Panas laten} = ?$$

Evaporator

$$P = 77 \text{ kPa (abs)} \rightarrow T = 91^\circ\text{C} \rightarrow \text{Panas laten} = ?$$

$$\begin{aligned} P \text{ steam (abs)} &= P \text{ relatif} + P \text{ udara} \\ &= 200 \text{ kPa} + 101 \text{ kPa} = 301 \text{ kPa} \end{aligned}$$

APPENDIX 8

STEAM TABLE - SATURATED STEAM

Temperature (°C)	Pressure(Absolute) (kPa)	Enthalpy (sat. vap.) (kJ kg <sup>-1</sup> )	Latent heat (kJ kg <sup>-1</sup> )	Specific volume (m <sup>3</sup> kg <sup>-1</sup> )
---------------------	-----------------------------	---	---------------------------------------	---

Temperature Table

0	0.611	2501	2501	206
1	0.66	2503	2499	193
2	0.71	2505	2497	180
4	0.81	2509	2492	157
6	0.93	2512	2487	138
8	1.07	2516	2483	121
80	47.4	2644	2309	3.41
90	70.1	2660	2283	2.36
100	101.4	2676	2257	1.67
16	1.82	2531	2464	73.3
18	2.06	2534	2459	65.0
20	2.34	2538	2454	57.8
125	232.1	2714	2189	0.771
130	270.1	2721	2174	0.669
135	313.0	2727	2160	0.582
140	361.3	2734	2145	0.509
30	4.23	2530	2451	62.9
40	7.38	2574	2407	19.5

Dari data steam table (Earle, Appendix 8)

Steam

$$P = 200 \text{ kPa (g)} \rightarrow T = 134^\circ\text{C}$$

$$\text{Panas laten} = 2164 \text{ kJ/kg}$$

Evaporator

$$P = 77 \text{ kPa (abs)} \rightarrow T = 91^\circ\text{C}$$

$$\text{Panas laten} = 2281 \text{ kJ/kg} \rightarrow \text{beda hasil?}$$

Panas yang tersedia (steam)

$$= \text{panas laten} + \text{panas sensibel}$$

$$= 2,164 \times 10^6 + 4,186 \times 10^3(134 - 91)$$

$$= 2,34 \cdot 10^6 \text{ J/ kg steam}$$

Panas yang dibutuhkan larutan (evaporator)

$$= \text{panas laten} + \text{panas sensibel}$$

$$= 2281 \times 10^3 \times m_e? + m_f? \times 4,186 \times 10^3 \times (91 - 18)$$

Mass Balance (kg/jam)

	Solid	Liquid	Total
Feed	25	225	250
Product	25	58	83
Evaporation			167

Panas yang dibutuhkan larutan (evaporator)

$$\begin{aligned} &= \text{panas laten} + \text{panas sensibel} \\ &= 2281 \times 10^3 \times 167 + 250 \times 4,186 \times 10^3 \times (91 - 18) \\ &= 4,57 \cdot 10^8 \text{ J / jam} \end{aligned}$$

Banyaknya steam yg diperlukan / jam (kg steam / jam)

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{panas yang dibutuhkan (J/jam)}}{\text{panas yang tersedia (J/kg steam)}} \\ &= 195 \text{ kg steam / jam} \end{aligned}$$

Banyaknya steam utk menguapkan 1 kg air

$$= 195 / 167 = 1,17 \text{ kg steam / kg air}$$



Luas permukaan perpindahan panas

$$q = U \cdot A \cdot \Delta t$$

$$A = 1,74 \text{ m}^2$$

## Soal 2

- Hitung air yang dibutuhkan *jet condenser* untuk mengembunkan uap dari evaporator yang menguapkan 5000 kg/jam air pada kondisi vakum 20 kPa (atau tekanan 15 cmHg)
- Air kondensasi (*condensing water*) terjadi pada 18°C & suhu maksimum untuk mengeluarkan air dari 35°C

$$P = Z \cdot \rho \cdot g = 0.15 \times 13.6 \times 1000 \times 9,81 = 20 \text{ kPa}$$

Dari steam table,  $P = 20 \text{ kPa}$

→  $T = 60^\circ\text{C}$ ; panas laten = 2358 kJ

Panas yg dipindahkan dari tiap kg kondensat

= panas laten + panas sensibel

$$= 2358 \times 10^3 + (60 - 35) \times 4,186 \times 10^3$$

$$= 2,46 \times 10^6 \text{ J/kg}$$

Panas yg diterima oleh tiap kg air pendingin

= panas sensibel

$$= (35 - 18) \times 4,186 \times 10^3$$

$$= 7,1 \times 10^4 \text{ J/kg}$$

Jumlah panas dipindahkan dari kondensat per jam

$$= 5000 \times 2,46 \times 10^6 \text{ J/jam}$$

Jumlah air pendingin tiap jam

$$= 5000 \times 2,46 \times 10^6 / 7,1 \times 10^4$$

$$= 1,7 \times 10^5 \text{ kg/jam}$$

# Soal 3

- Hitung luas area pindah panas yang dibutuhkan oleh *surface condenser* yang bekerja seperti *jet condenser* pada contoh sebelumnya.

Asumsi, nilai  $U$   $2270 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , & *sub-cooling* cairan tidak dipertimbangkan.

- Beda suhu rata-rata  

$$= (60 - 18)/2 + (60 - 35)/2$$

$$= 33,5^{\circ}\text{C}.$$
- Jumlah panas yang dibutuhkan kondensat
 
$$q = U A \Delta T$$

$$5000 \times 2,46 \times 10^6 = 2270 \times A \times 33,5 \times 3600$$
- $A = 45 \text{ m}^2$
- Luas area pindah panas yang dibutuhkan =  $45 \text{ m}^2$

# Soal 4

- Hitung kebutuhan steam, luas permukaan pindah panas, & suhu penguapan pada setiap '*effect*' dari *triple effect evaporator* yang menguapkan 500 kg/jam 10% padatan menjadi 30% padatan. Steam tersedia pada tekanan 200 kPa gauge & tekanan di dalam evaporator pada '*effect*' terakhir 60 kPa absolute.
- Asumsi koefisien pindah panas keseluruhan (*overall*) 2270, 2000, & 1420 J m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup> di '*effect*' I, II, & III. Pengaruh panas sensibel diabaikan, tidak ada kenaikan titik didih, dan pindah panas di setiap '*effect*' adalah sama.

- **Kesetimbangan Massa** (kg/jam)

	Solids	Liquids	Total
Feed	50	450	500
Product	50	117	167
Evaporation			333

- **Kesetimbangan Panas**

Dari tabel steam, suhu condensing steam pada 200 kPa (g) = 134°C, panas laten 2164 kJ kg<sup>-1</sup>.

Suhu evaporasi di “effect” akhir pada tekanan 60 kPa (abs.) = 86°C, tidak ada kenaikan titik didih, panas laten 2294 kJ kg<sup>-1</sup>.



$$q_1 = q_2 = q_3$$

$$U_1 A_1 \Delta T_1 = U_2 A_2 \Delta T_2 = U_3 A_3 \Delta T_3$$

$$\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 = (134 - 86) = 48^\circ\text{C}.$$

$$\text{Jika } A_1 = A_2 = A_3$$

$$\text{Maka } \Delta T_2 = U_1 \Delta T_1 / U_2 \text{ dan } \Delta T_3 = U_1 \Delta T_1 / U_3$$

$$\Delta T_1 + (U_1 \Delta T_1 / U_2) + (U_1 \Delta T_1 / U_3) = 48^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_1 (1 + U_1 / U_2 + U_1 / U_3) = 48,$$

$$\Delta T_1 \times [1 + (2270/2000) + (2270/1420)] = 48$$

$$\Delta T_1 = 12,9^\circ\text{C},$$

$$\Delta T_2 = \Delta T_1 \times (2270/2000) = 14,6^\circ\text{C}$$

$$\Delta T_3 = \Delta T_1 \times (2270/1420) = 20,6^\circ\text{C}$$

- Suhu evaporasi:
- Effect I:  $134 - 12,9 = 121^{\circ}\text{C}$ ; panas laten (Tabel Steam)  $2200 \text{ kJ kg}^{-1}$ .
- Effect II:  $121 - 14,6 = 106,5^{\circ}\text{C}$ ; panas laten  $2240 \text{ kJ kg}^{-1}$
- Effect III:  $106,5 - 20,6 = 86^{\circ}\text{C}$ , panas laten  $2294 \text{ kJ kg}^{-1}$
- Perubahan panas sensibel diabaikan,
- Jika  $w_1, w_2, w_3$  = jumlah yang dievaporasi di effect I, II & III,  $w_s$  = jumlah steam terkondensasi per jam di Effect I,

$$\begin{aligned}
 w_1 \times 2200 \times 10^3 &= w_2 \times 2240 \times 10^3 \\
 &= w_3 \times 2294 \times 10^3 \\
 &= w_s \times 2164 \times 10^3
 \end{aligned}$$

$$w_1 + w_2 + w_3 = 333$$

$$w_1 = 113 \text{ kg jam}^{-1} \quad w_2 = 111 \text{ kg jam}^{-1} \quad w_3 = 108 \text{ kg jam}^{-1}$$

$$w_s = 115 \text{ kg jam}^{-1}$$

- **Konsumsi Steam**

Dibutuhkan 115 kg steam ( $w_s$ ) untuk menguapkan total 333 kg air :  
0.35kg steam/kg air menguap.

- **Luas Permukaan Heat exchanger.**

$$(113 \times 2200 \times 1000)/3600 = 2270 \times A_1 \times 12,9$$

$$A_1 = 2,4 \text{ m}^2 = A_2 = A_3$$

$$\underline{\text{total area} = A_1 + A_2 + A_3 = 7,2 \text{ m}^2.}$$

# Soal 5

- Jus tomat dipekatkan dari 12% padatan menjadi 28% padatan dalam *climbing film evaporator*, tinggi 3 m & diameter 4 cm. Suhu maksimum jus 57°C. Jus dimasukkan ke evap. pada 57°C, & pada suhu ini panas laten penguapan 2366 kJ kg<sup>-1</sup>. Steam digunakan di 'jaket' evaporator pada tekanan 170 kPa (absolute). Jika koefisien pindah panas keseluruhan 6000 J m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>, hitung jumlah jus tomat yang dimasukkan per jam.

Mass balance (basis 100 kg feed)

	Solids	Liquids	total
Feed	12	88	100
Product	12	31	43
Evaporation			57

Heat balance

$$\begin{aligned} \text{Luas area evaporator tube} &= \pi \times 0,04 \times 3 \\ &= 0,38 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Suhu condensing steam pada 170 kPa = 115°C (tabel steam)

$$q = U A \Delta t$$

$$= 6000 \times 0,38 \times (115 - 57)$$

$$= 1,32 \times 10^5 \text{ J s}^{-1}$$

- Panas yang dibutuhkan per kg feed untuk evaporasi

$$= 0,57 \times 2366 \times 10^3$$

$$= 1,34 \times 10^6 \text{ J}$$

- Jumlah terevaporasi =  $(1,32 \times 10^5)/(1,34 \times 10^6)$   
= 0,1 kg s<sup>-1</sup>  
= 360 kg jam<sup>-1</sup>

