

Evaporasi



SATUAN OPERASI DAN PROSES
TIP – FTP – UB
MAS'UD EFFENDI

Pendahuluan



- Evaporasi bertujuan untuk memekatkan atau menaikkan konsentrasi zat padat dari bahan yang berupa fluida.
- Contoh: pemekatan larutan gula, susu, juice buah-buahan, oleoresin, dan sebagainya.
- Larutan yang pekat adalah produk yang diinginkan dan cairan yang diuapkan adalah yang dibuang.
- Pemekatan dilakukan dengan penguapan air yang terdapat dalam produk.

Kecepatan Evaporasi Dipengaruhi



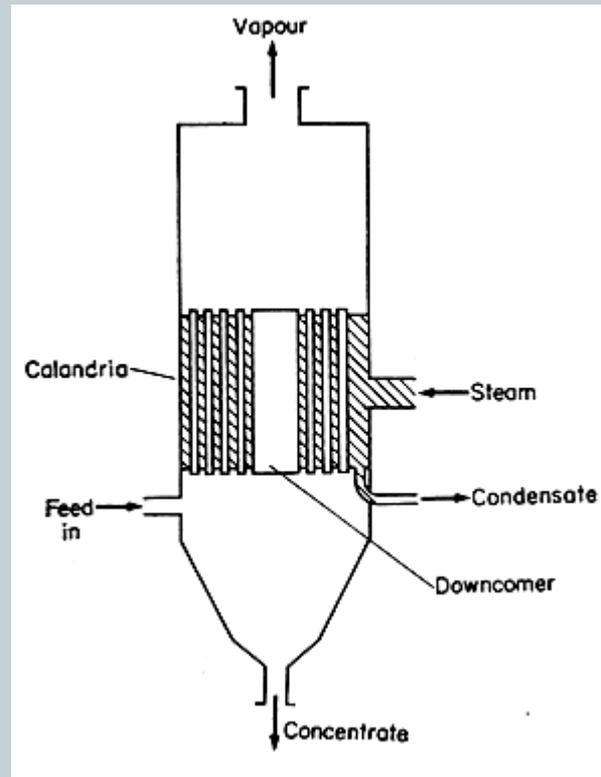
- Kecepatan perpindahan panas dari media pemanas ke produk
- Jumlah panas yang diperlukan untuk penguapan cairan (pelarut).
- Suhu maksimal yang diperbolehkan untuk setiap cairan.
- Tekanan dalam tangki evaporasi
- Perubahan-perubahan yang mungkin terjadi dalam cairan selama proses evaporasi berlangsung.



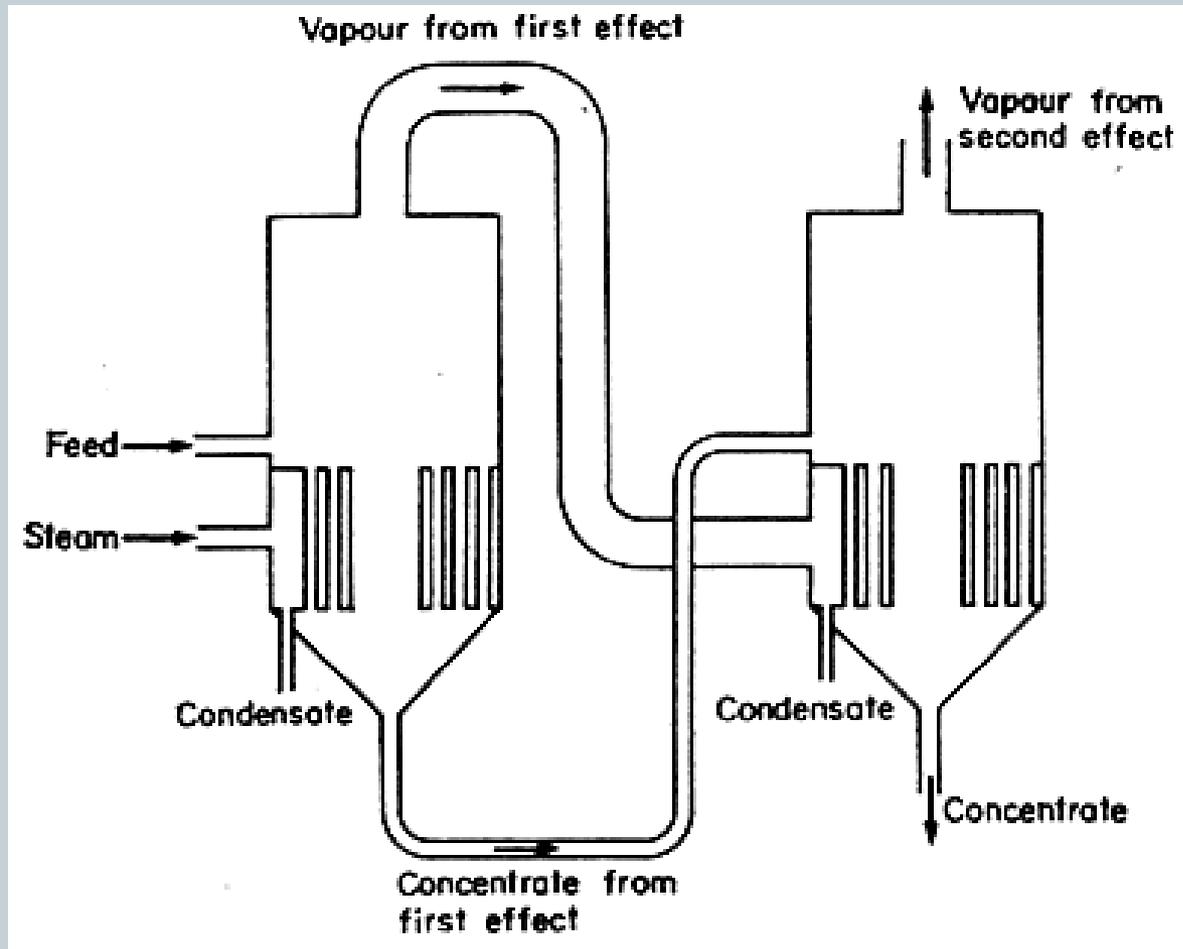
SINGLE
EFFECT
EVAPORATOR

MULTIPLE
EFFECT
EVAPORATOR

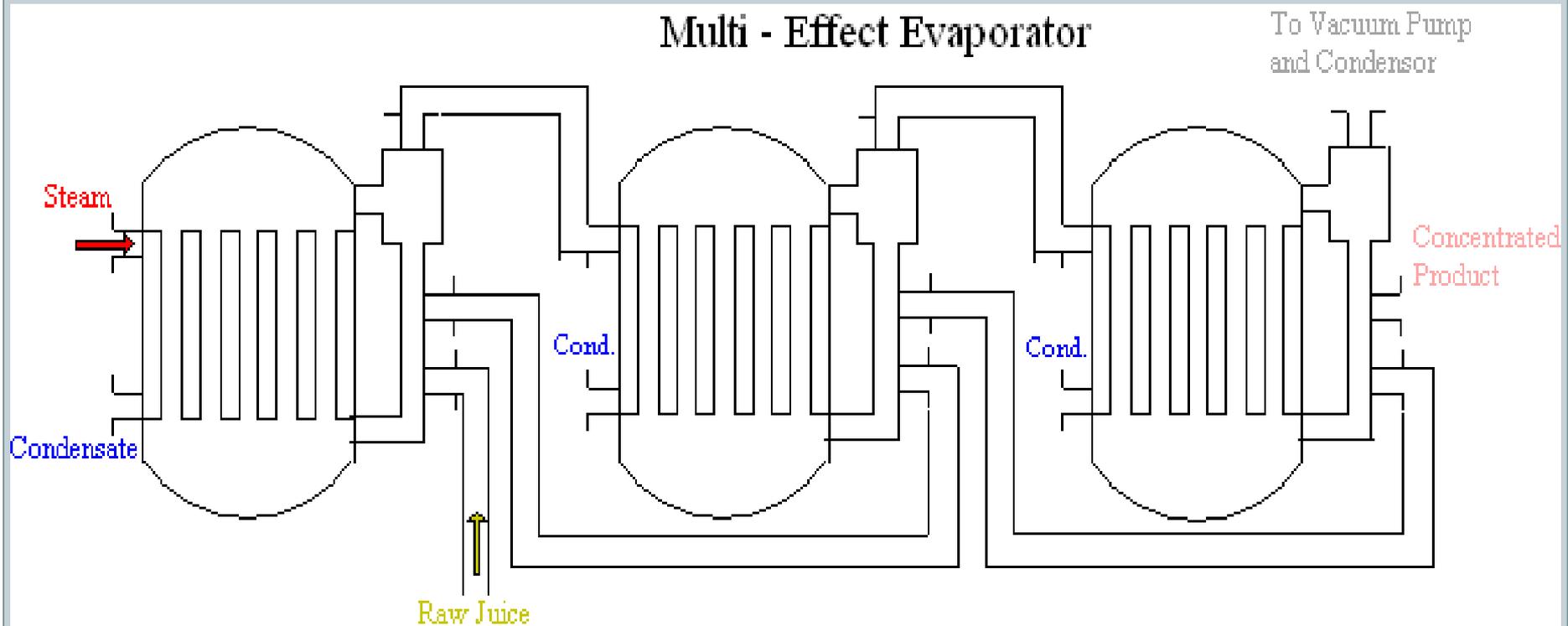
Single Effect Evaporator



Multiple Effect Evaporator



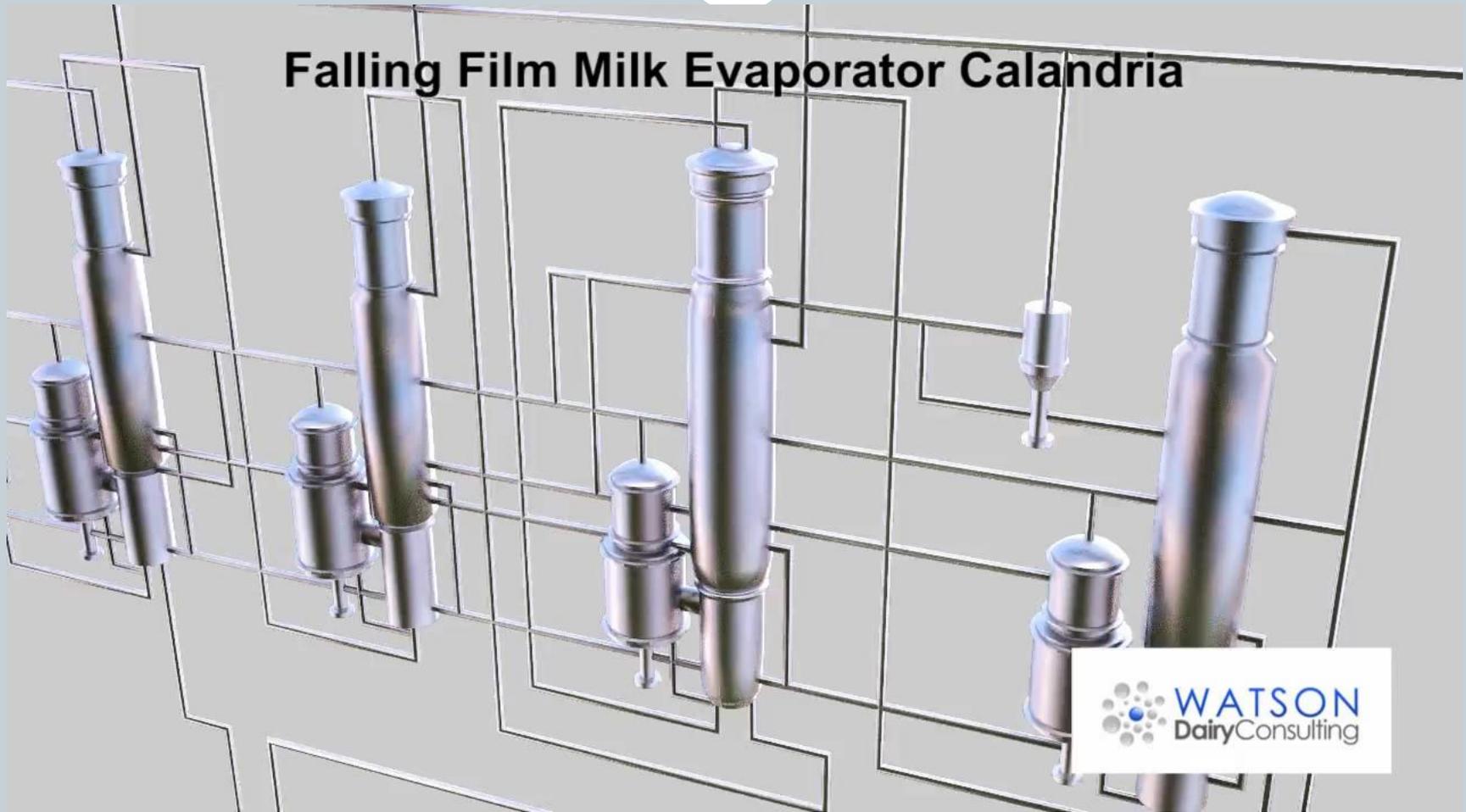
Multiple Effect Evaporator







Falling Film Milk Evaporator Calandria



Single Effect Evaporator



- Panas laten kondensasi dari uap (steam) pada bagian pemanas dipindahkan melalui satu permukaan pemanas untuk menguapkan air dari larutan yang mendidih di dalam ruang penguapan.

- Neraca massa:

$$\mathbf{F = V + P}$$

$$\mathbf{F \cdot x_f = P \cdot x_p}$$

- Neraca energy:

$$\mathbf{F \cdot c_{pf} \cdot T_f + w_s \cdot h_{fg} = V \cdot H_v + P \cdot c_{pp} \cdot T_p}$$

$$\mathbf{F \cdot c_{pf} \cdot T_f + w_s \cdot H_s = V \cdot H_v + P \cdot c_{pp} \cdot T_p + w_s \cdot H_c}$$



Keterangan:

- F = massa umpan
- x_f = fraksi zat padat dalam umpan
- x_p = fraksi zat padat dalam produk
- V = massa uap air
- P = massa produk
- c_{pf} = panas spesifik dari umpan
- c_{pp} = panas spesifik dari produk
- T_f = suhu umpan
- T_p = suhu produk atau suhu didih dalam evaporator
- w_s = massa uap (steam) yang mengembun di dalam ruang uap
- h_{fg} = panas latent kondensasi uap (steam)
- H_s = entalpi uap yang terjadi
- H_c = entalpi kondensat



$$w_s \cdot h_{fg} = q = U \cdot A \cdot (T_s - T_p)$$

keterangan:

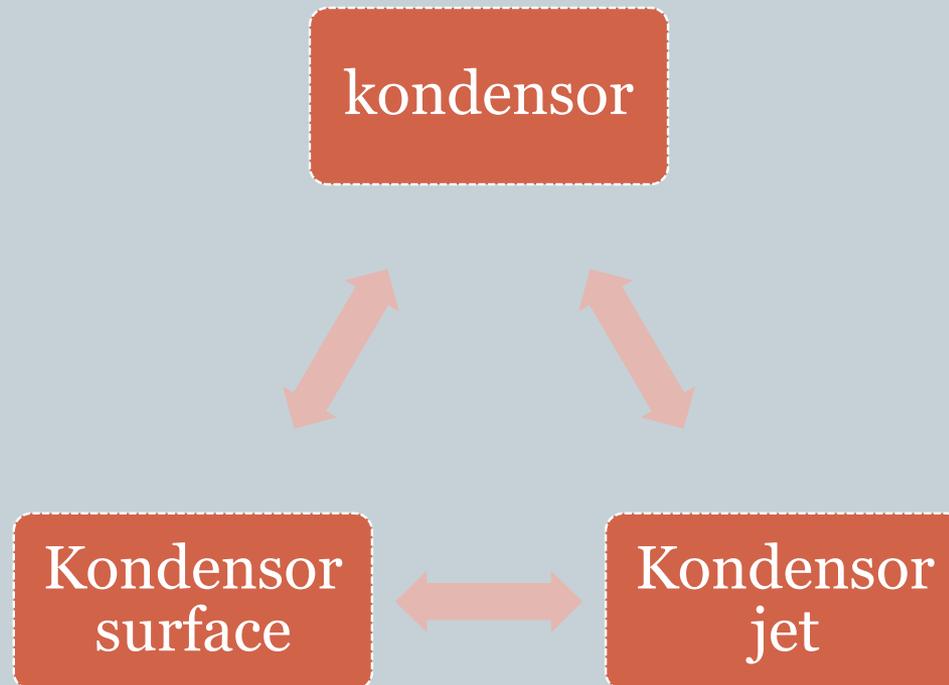
- U = koefisien pindah panas secara keseluruhan
- A = luas permukaan pindah panas dalam evaporator
- T_s = suhu uap (steam) yang mengembun
- T_p = suhu didih cairan di dalam evaporator
- q = kecepatan pindah panas

Efisiensi proses evaporasi berdasarkan penggunaan uap adalah $\frac{V}{w_s}$

Kondensor



- Dalam evaporator yang bekerja dibawah tekanan atmosfer, ada kondensor untuk memindahkan uap dengan mengkondensasi menjadi liquid.





1. Berapa banyak jumlah air yang dibutuhkan dalam jet kondensor untuk mengkondensasi uap dari evaporator yang mengevaporasi 5.000 kg air/jam dibawah vacuum 15 cm mercury? Air terkondensasi pada 18°C dan suhu tertinggi untuk air terpasang dari kondensor adalah 35°C .

Multiple Effect Evaporator



- Dua evaporator atau lebih dihubungkan, sehingga uap (vapour) dari evaporator pertama dihubungkan menjadi uap (steam) bagi evaporator kedua.

- Pada evaporator pertama:

$$q_1 = U_1 \cdot A_1 \cdot (T_s - T_1) = U_1 \cdot A_1 \cdot \Delta T_1$$

- Pada evaporator kedua:

$$q_2 = U_2 \cdot A_2 \cdot (T_1 - T_2) = U_2 \cdot A_2 \cdot \Delta T_2$$

- Di persamaan kedua ini, perlu diingat bahwa uap (steam) di evaporator kedua berasal dari uap (vapour) evaporator pertama, dan akan terkondensasi pada suhu yang hampir sama dengan titik didihnya.

- Jika evaporator bekerja seimbang dan semua uap (vapour) dari evaporator pertama terkondensasi di evaporator berikutnya, juga panas yang hilang dapat diabaikan, maka:

$$Q_1 = Q_2$$

- Jika kedua evaporator dibuat dengan $A_1 = A_2$, maka persamaannya:

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{\Delta T_1}{\Delta T_2}$$

- Pada two-effect evaporator (evaporator ganda), suhu uap (steam) di evaporator pertama lebih tinggi daripada di evaporator kedua dan titik didih di evaporator kedua lebih rendah daripada evaporator pertama.

Contoh soal



1. Triple effect evaporator, mengevaporasi 500kg/jam dari larutan 10% menjadi larutan 30%, uap tersedia pada 200 kPa gauge dan tekanan evaporasi pada effect terakhir adalah 60kPa absolute. Asumsi, koefisien pindah panas keseluruhan pada effect pertama, kedua, dan ketiga secara berturut-turut adalah 2.270, 2.000, dan 1.420 J/m².s.°C. Abaikan panas sensible dan pindah panas seimbang pada setiap effect. Hitung suhu evaporasi pada setiap effect?

Jawab



- Kestimbangan Massa

	Padatan	Cairan	Total
Umpan	50	450	500
Produk	50	117	167
Evaporasi			333

- Kestimbangan Panas

Dari Steam Table, suhu kondensasi uap pada 200kPa (g) adalah 134°C dan panas latent nya 2.164 kJ/kg. suhu evaporasi pada effect terakhir dibawah tekanan 60kPa (abs) adalah 86°C dan panas latent nya 2.294 kJ/kg.



Persamaan pindah panas pada setiap effect:

$$q_1 = q_2 = q_3$$

$$U_1 \cdot A_1 \cdot \Delta t_1 = U_2 \cdot A_2 \cdot \Delta t_2 = U_3 \cdot A_3 \cdot \Delta t_3$$

$$\Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = (134 - 86)^\circ\text{C} = 48^\circ\text{C}$$

Jika $A_1 = A_2 = A_3$, maka $\Delta t_2 = \Delta t_1 (U_1 / U_2)$ dan $\Delta t_3 = \Delta t_1 (U_1 / U_3)$

$$\text{Jadi, } \Delta t_1 (1 + (U_1 / U_2) + (U_1 / U_3)) = 48^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_1 (1 + (2.270 / 2.000) + (2.270 / 1.420)) = 48^\circ\text{C}$$

$$3,73 \Delta t_1 = 12,9^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t_1 (U_1 / U_2) = 12,9^\circ\text{C} + (2.270 / 2.000) = 14,6^\circ\text{C}$$

$$\Delta t_3 = \Delta t_1 (U_1 / U_3) = 12,9^\circ\text{C} + (2.270 / 1.420) = 20,5^\circ\text{C}$$



- Jadi suhu evaporasi pada effect pertama = $(134 - 12,9)^{\circ}\text{C} = 121,1^{\circ}\text{C}$ dan panas latent nya (dari Steam Table) 2.200 kJ/kg.
- Suhu evaporasi pada effect kedua = $(121,1 - 14,6)^{\circ}\text{C} = 106,5^{\circ}\text{C}$ dan panas latent nya (dari Steam Table) 2.240 kJ/kg.
- suhu evaporasi pada effect ketiga = $(106,5 - 20,5)^{\circ}\text{C} = 86^{\circ}\text{C}$ dan panas latent nya (dari Steam Table) 2.294 kJ/kg.

Evaporasi Bahan Rentan Panas



- Pada evaporator dengan volume yang besar, waktu retensi dari produk pangan di dalam evaporator harus dipertimbangkan.
- Pada bahan yang rentan panas, hal ini dapat menyebabkan penurunan kualitas produk.
- Masalah ini dapat diatasi dengan evaporator berkecepatan aliran tinggi (high flow rate evaporator).
- Contoh: evaporator pipa panjang (long-tube evaporator) dan evaporator plat (plate evaporator).

Type-type Evaporator



open pans

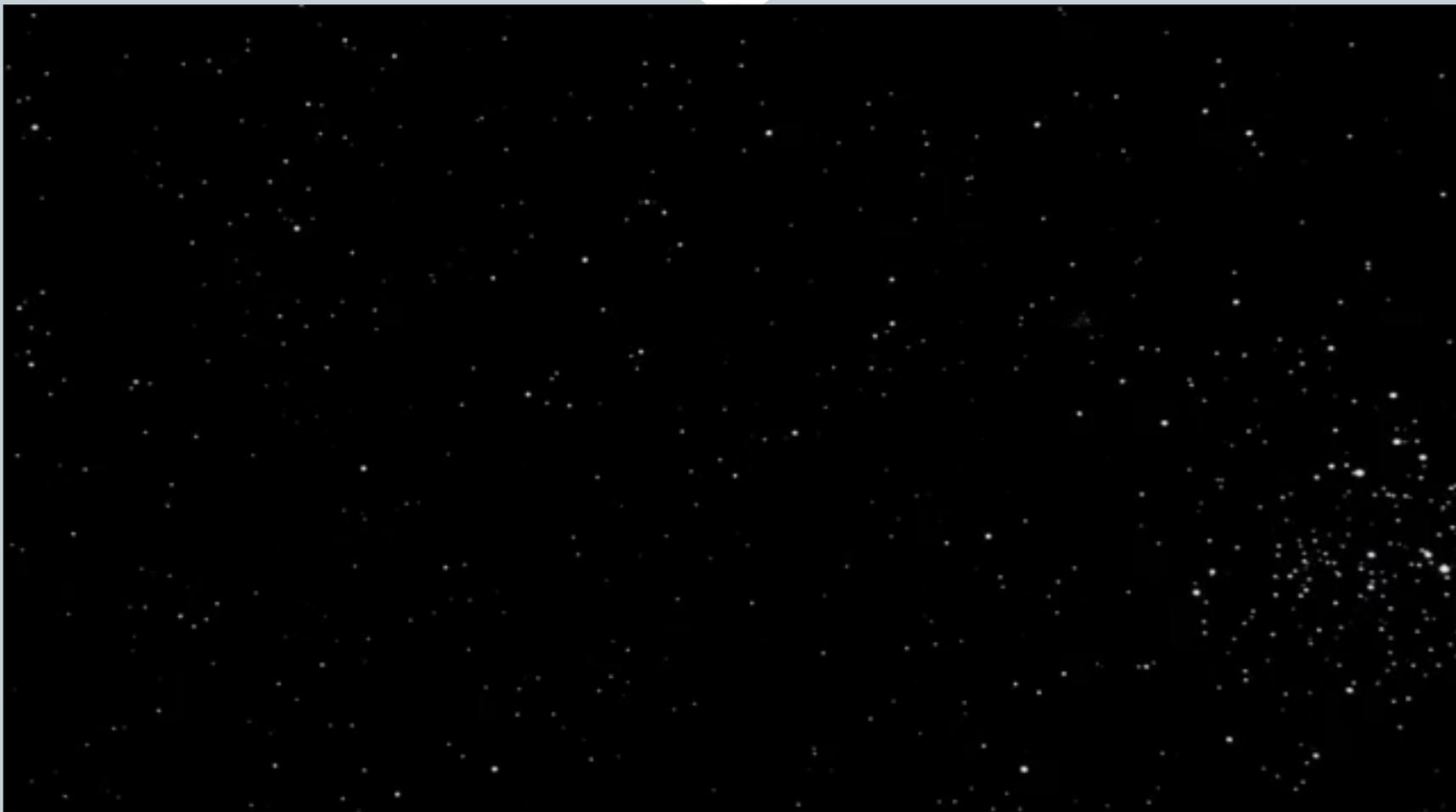
*Vertical
long-tube
evaporators*

*horizontal-
tube
evaporators*

*Falling film
evaporator*

*vertical-tube
evaporators*

*forced-
circulation
evaporators*





1. Single-effect evaporator dibutuhkan untuk memekatkan larutan dari 10% total padatan menjadi 30% total padatan pada kecepatan 250kg umpan/jam. Jika tekanan evaporator 77kPa, dan jika steam tersedia pada 200kPa gauge, hitung jumlah steam yang dibutuhkan per jam dan luas area pindah panas jika koefisien pindah panas keseluruhan $1.700 \text{ Jm}^{-2}\text{s}^{-1}\text{C}^{-1}$. Suhu umpan 18°C dan titik didih larutan dibawah 77kPa adalah 91°C , panas spesifik larutan sama dengan air, yaitu $4,186 \times 10^3 \text{ Jkg}^{-1}$, dan panas latent penguapan larutan sama dengan air pada kondisi yang sama.
2. Apa yang mempengaruhi kecepatan evaporasi?
3. Jelaskan perbedaan *single-effect evaporator* dan *multiple-effect evaporator*!