



Satuan Operasi :

EVAPORATION

Shinta Rosalia Dewi

Penilaian

- Ujian : 60%
- Tugas & presentasi : 40%

Reference :

- Earle, Unit Operation in Food Processing
- Heldman and Lund, Handbook of Food Engineering

SILABUS

- ✓ Evaporasi
- ✓ Pengeringan
- ✓ Pembekuan
- ✓ Presentasi (Tugas Kelompok)
- ✓ UAS

Introduction (con't)



- Evaporation is the process of a liquid becoming vaporized.
- Evaporation is very effective at utilizing small amounts of steam or electrical energy to generate large rates of evaporation.

Application

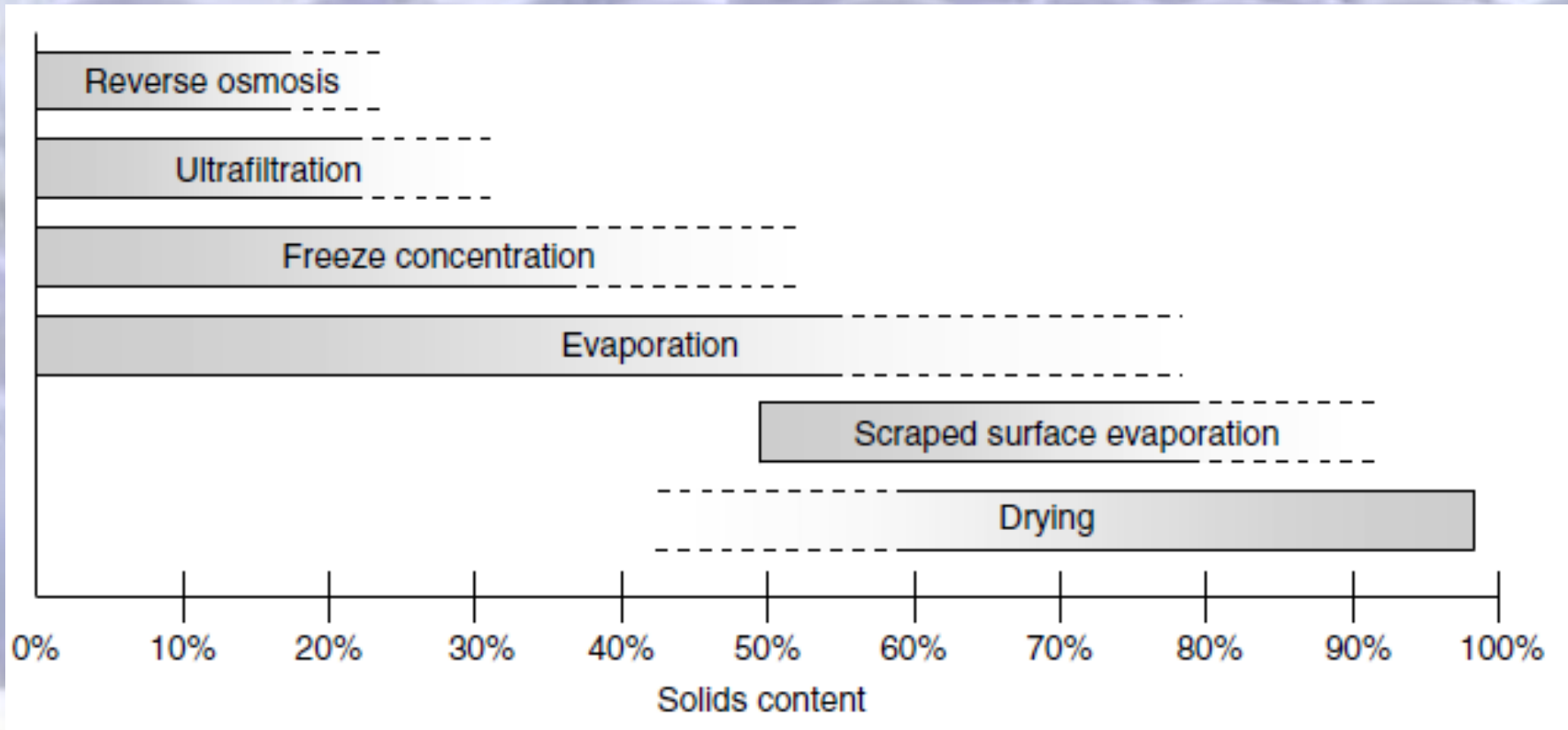


Application

- Fruit products → jam & jelly
- Dairy products → canned evaporated milk
- Sugars → concentrated syrup
- Salt → concentrated and crystallized in a manner similar to sugar.

Introduction

- In food processes, to produce a concentrated or dried product → evaporation, freeze concentration, reverse osmosis (or other membrane separations), and drying.



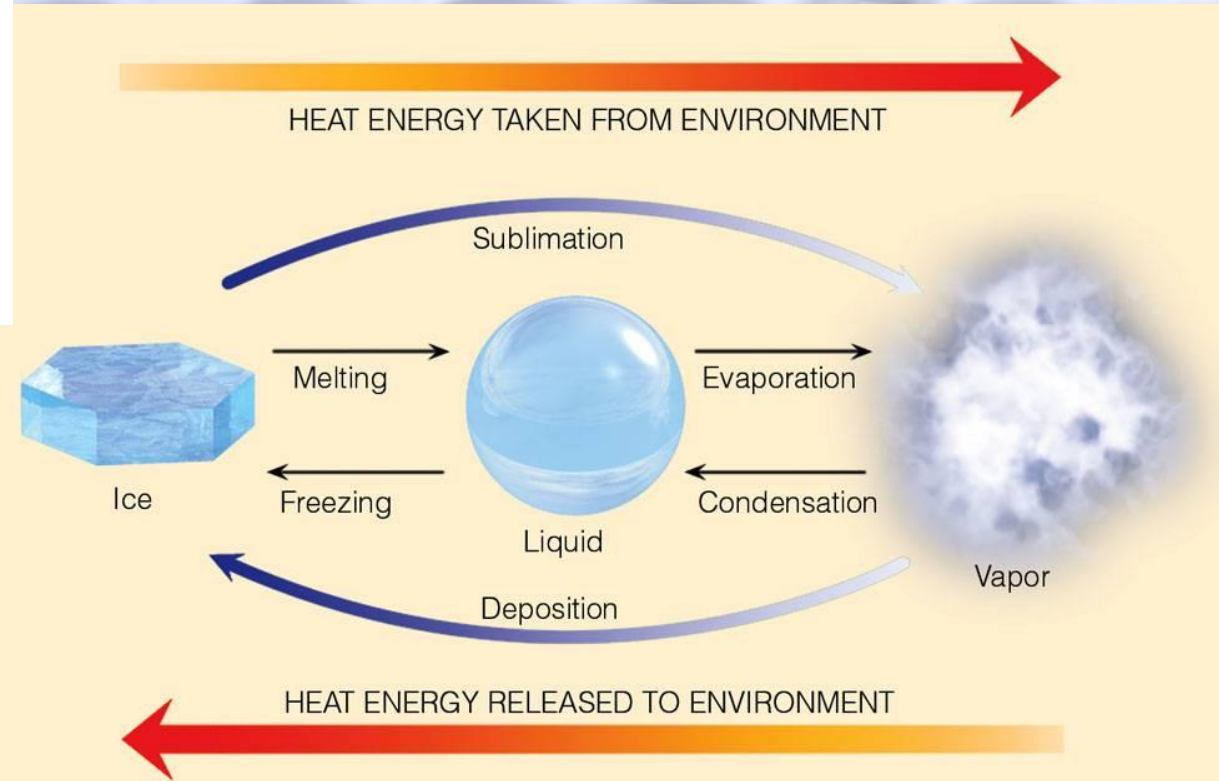
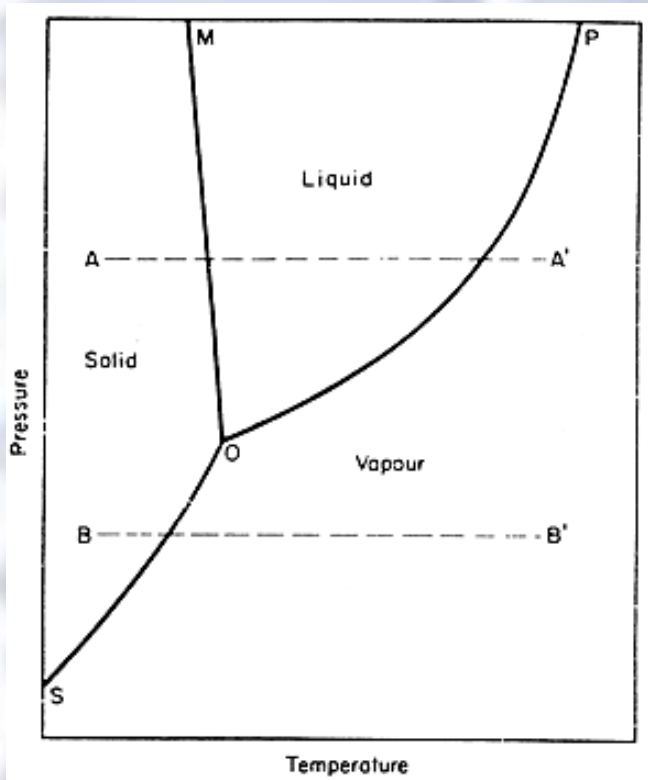
Objective

- Remove the solvent (usually water) from a solution so as **to increase the concentration** of the solute with minimum total cost.
- **Decrease the volume** of liquid → minimize the storage and shipping volume
- **Decrease the water activity** → stability of product

Effect of evaporation

- Volatil compound → decreasing taste, increasing quality.
- Browning
- Loss of nutrients that are not heat resistant

Principle



Principle

Evaporation

A diagram illustrating the principle of evaporation. At the top, a blue oval contains the word "Evaporation". Below it, a large blue double-headed vertical arrow points both up and down. To the left of this arrow is a blue rounded rectangle containing the text "Heat transfer provide the necessary latent heat of vaporization". To the right is another blue rounded rectangle containing the text "Movement of water or water vapour through the food material". The background features a close-up of green plant leaves with water droplets.

Heat transfer
provide the
necessary
latent heat of
vaporization

Movement of
water or water
vapour through
the food
material

Latent heat of vaporization :
the quantity of energy required per kg of water to vaporize the water at any temperature

Substance	Latent Heat Fusion kJ/kg	Melting Point °C	Latent Heat Vaporization kJ/kg	Boiling Point °C
Alcohol, ethyl	108	-114	855	78.3
Ammonia	339	-75	1369	-33.34
Carbon dioxide	184	-78	574	-57
Helium			21	-268.93
Hydrogen(2)	58	-259	455	-253
Lead ^[4]	24.5	327.5	871	1750
Nitrogen	25.7	-210	200	-196
Oxygen	13.9	-219	213	-183
R134a		-101	215.9	-26.6
Toluene		-93	351	110.6
Turpentine			293	
Water	334	0	2260 (at 100°C)	100

Rate of evaporation

The basic factors that affect the rate of evaporation are the:

- quantity of heat required to evaporate each kg of water,
- maximum allowable temperature of the liquid,
- pressure at which the evaporation takes place,
- changes that may occur in the foodstuff during the course of the evaporation process.

Heat transfer in evaporation

- Heat transfer in evaporators is governed by the equations for heat transfer to boiling liquids and by the **convection and conduction** equations
- The heat must be provided from a source at a suitable temperature and this is condensing steam in most cases

Heat transfer in evaporation

Heat transfer equation :

$$q = U A dT$$

q : heat transfer rate (W)

U : overall heat transfer coefficient (W/m².K)

A : surface area (m²)

dT : overall temperature difference (K)

Example 1

- Udara pada suhu $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bertiup diatas plat panas $50 \times 75\text{ cm}$. Suhu plat dijaga tetap $250\text{ }^{\circ}\text{C}$. Koefisien perpindahan kalor konveksi adalah $25\text{ W/m}^2\text{ K}$. Hitunglah perpindahan kalor.

$$\begin{aligned}q &= U A (T_w - T_{\infty}) \\ &= (25)(0,50)(0,75)(250 - 20) \\ &= 2,156\text{ kW}\end{aligned}$$

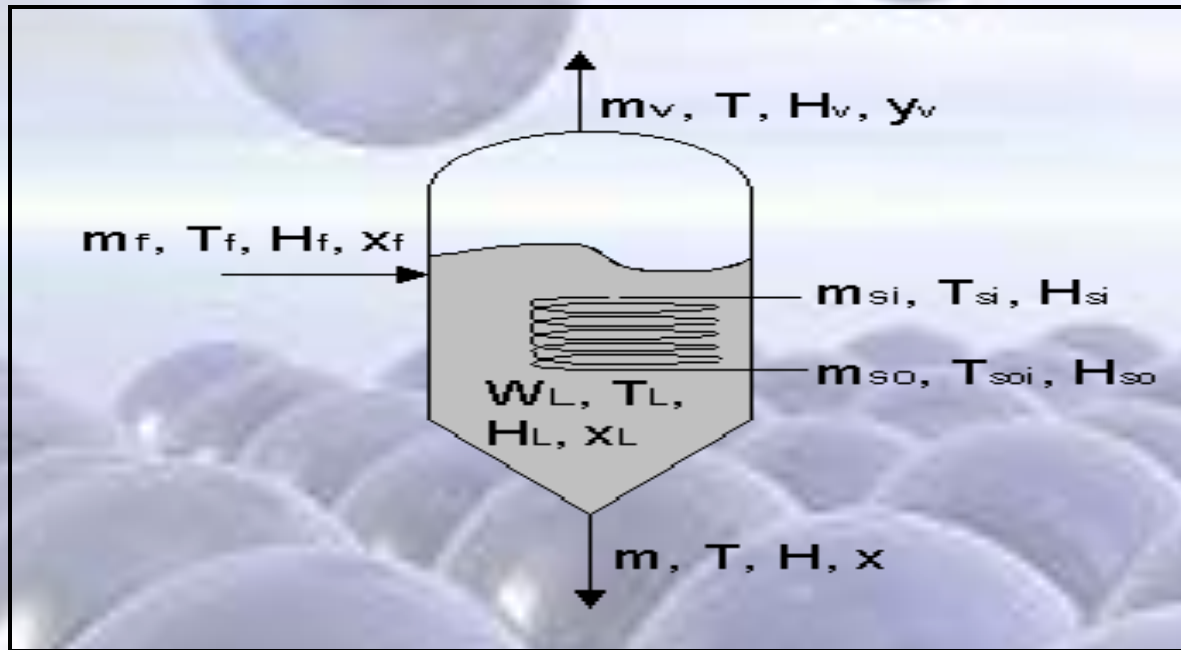
Problem 1

Apabila kalor pada evaporator sebesar 3 KW. Desain ini menjaga suhu plat pada 300 °C. Koefisien perpindahan kalor konveksi adalah 15 W/m²K. Berapakah suhu udara yang bertiup diatas plat panas 150 x 115 cm?

Problem 2

Tentukan ukuran plat yang tepat untuk evaporator yang digunakan untuk mengentalkan sukrosa. Apabila kalor pada evaporator sebesar 15 KW. Desain ini menjaga suhu plat pada 130 °C. Koefisien perpindahan kalor konveksi adalah 30 W/m² °C dengan suhu udara yang melewati plat sebesar 30 °C

Evaporator



dimana :

m : massa (kg)

T : suhu ($^{\circ}\text{C}$)

H : enthalpi (kJ/kg)

x : kadar (%)

y : kadar (%)

W : berat (N)

subkrip:

f : umpan

u : uap air

s : *steam*

L : larutan

i : inlet

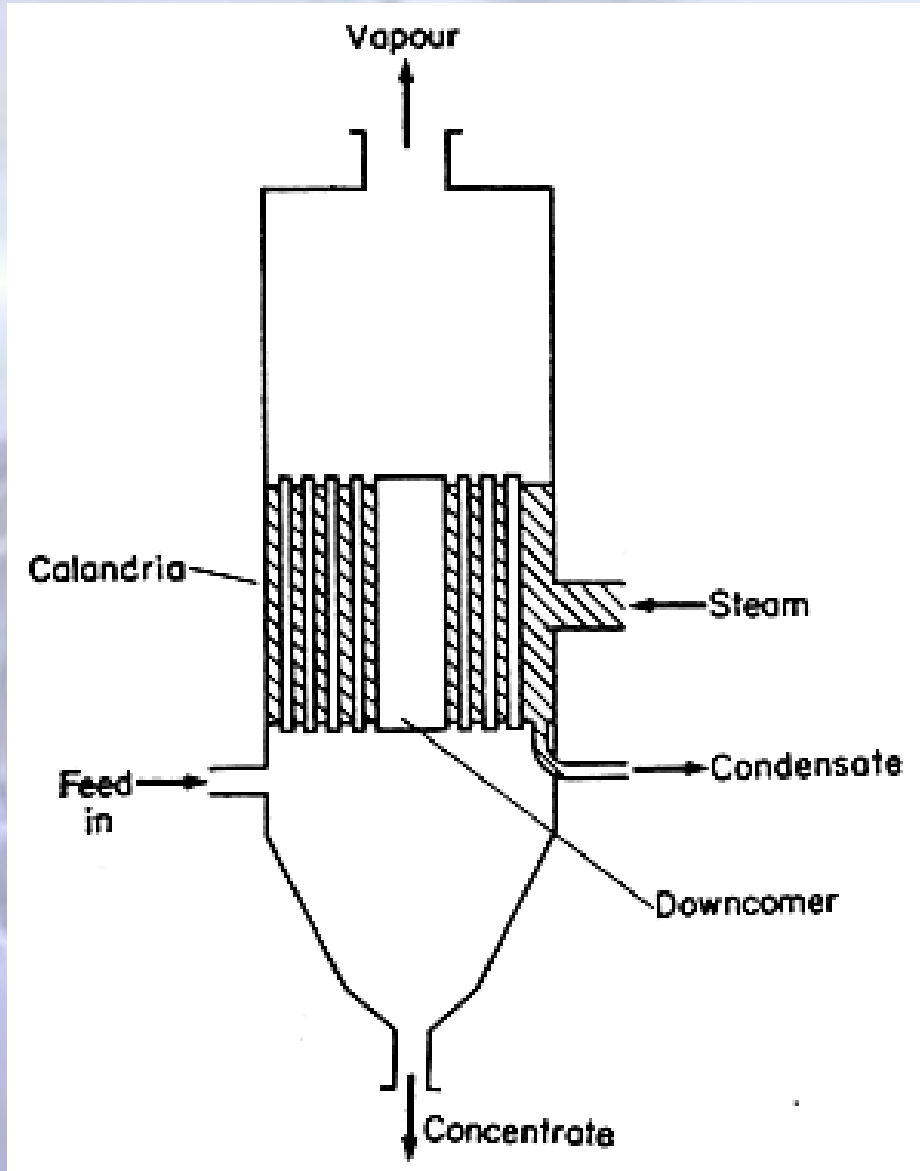
o : outlet

Components

The main components of evaporators are:

- Heat exchanger to provide the latent heat of vaporization.
- The evaporating section, where the liquid boils and evaporates
- Vapor/liquid separators to separate the vapor with minimal liquid carryover
- A condenser to remove energy from the vapor and/or to help maintain the vacuum
- A vacuum system to keep the boiling temperature low

Evaporator

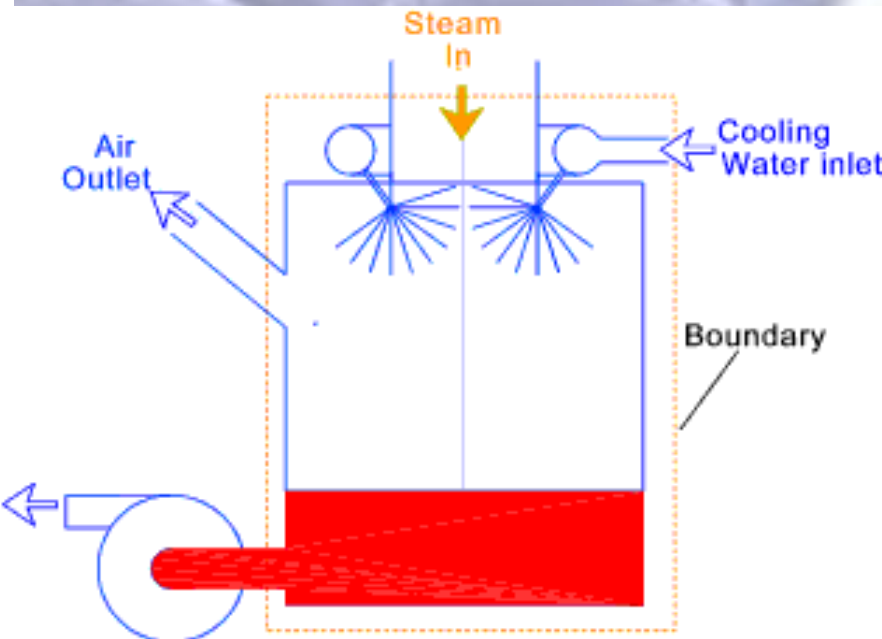
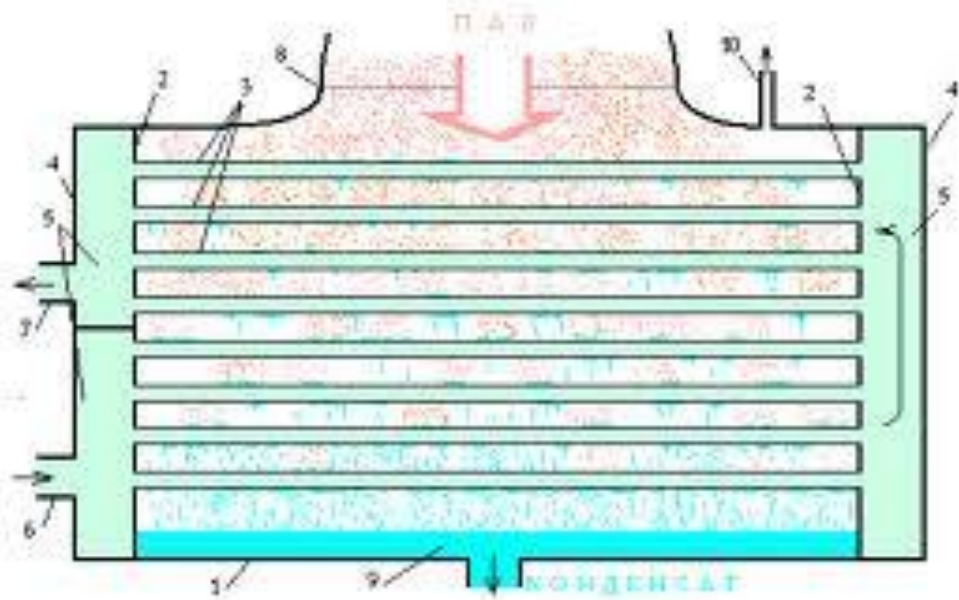


Components

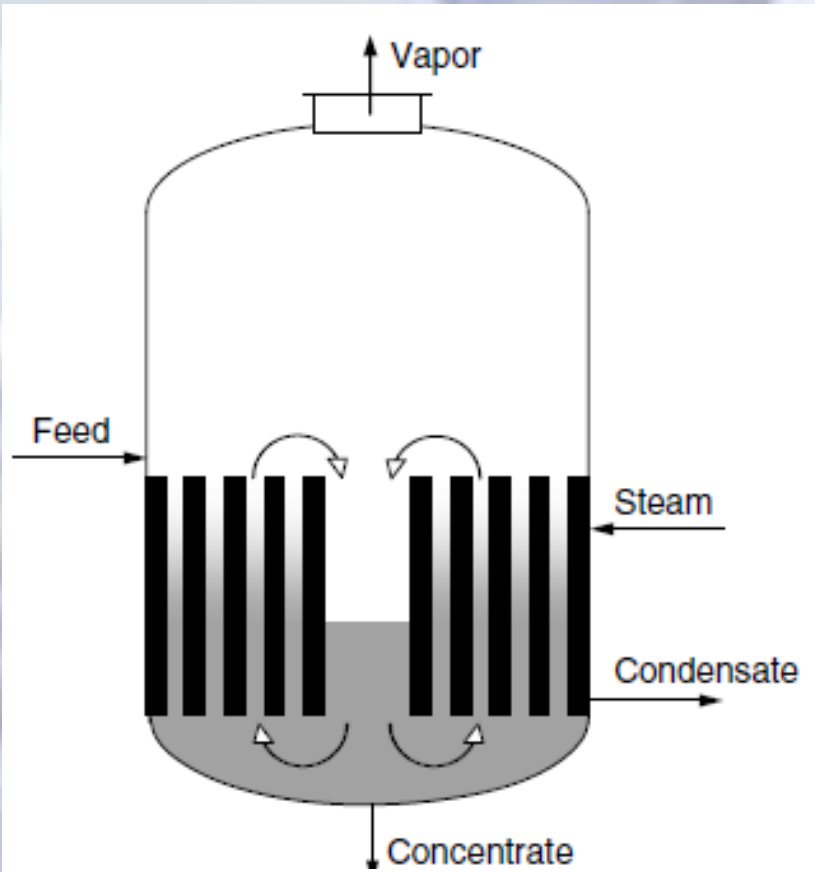
- In many evaporators, all three sections are contained in a single vertical cylinder.
- In the centre of the cylinder there is a steam heating section, with pipes passing through it in which the evaporating liquors rise.
- The top of the cylinder, there are baffles, which allow the vapours to escape but check liquid droplets that may accompany the vapours from the liquid surface.
- In the heat exchanger section, called a calandria in this type of evaporator, steam condenses in the outer jacket and the liquid being evaporated boils on the inside of the tubes and in the space above the upper tube plate.

Condenser

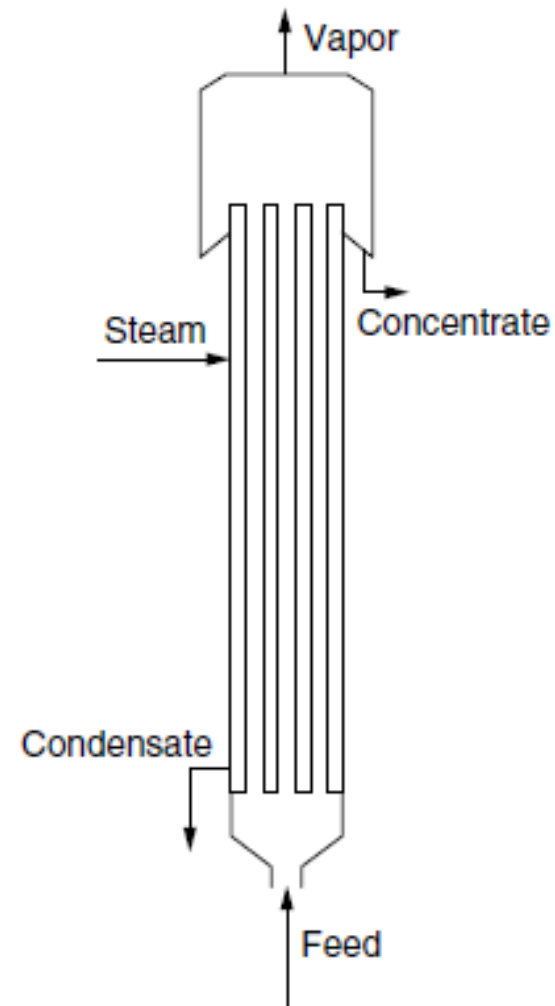
- In evaporators that are working under reduced pressure, a condenser, to remove the bulk of the volume of the vapours by condensing them to a liquid, often precedes the vacuum pump.
- Condensers for the vapour may be either surface or jet condensers.
- Surface condensers provide sufficient heat transfer surface, pipes for example, through which the condensing vapour transfers latent heat of vaporization to cooling water circulating through the pipes.
- In a jet condenser, the vapours are mixed with a stream of condenser water sufficient in quantity to transfer latent heat from the vapours.



Type of evaporator

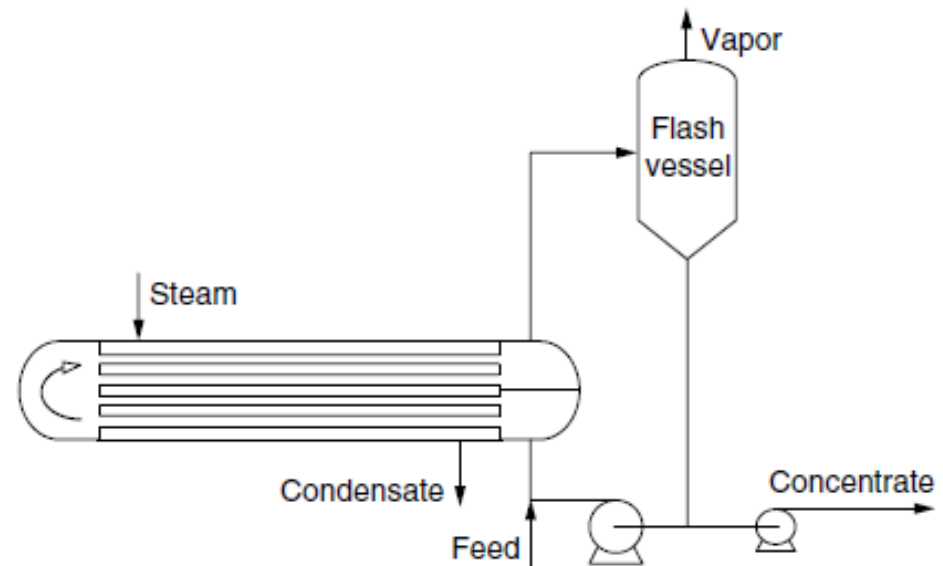
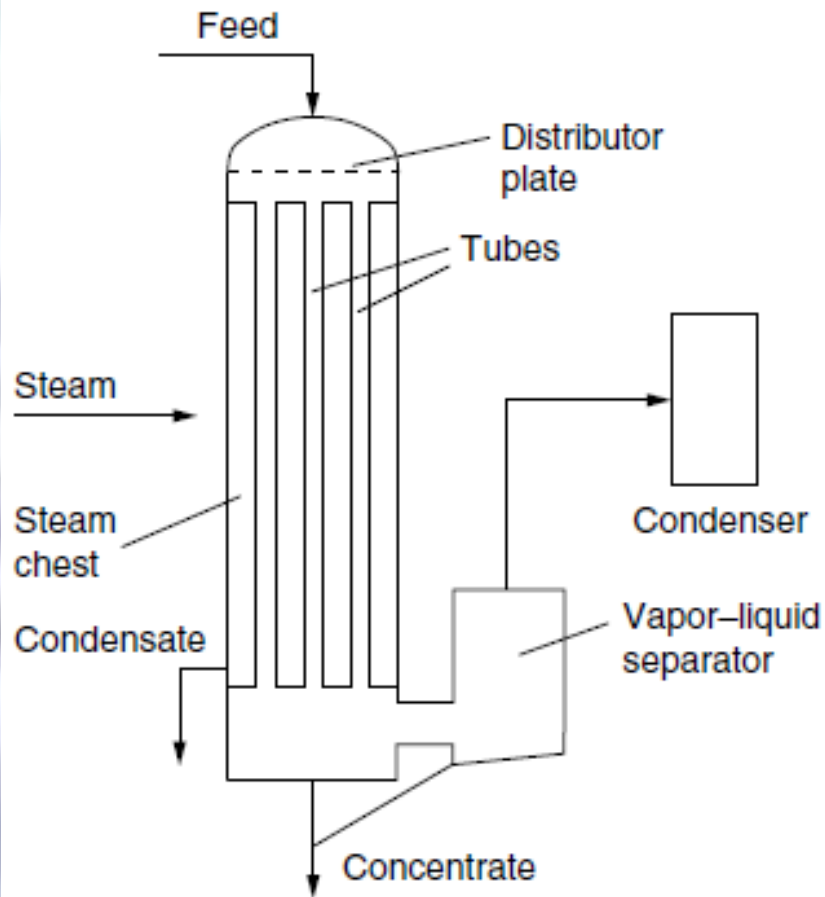


A short tube evaporator.



A long-tube vertical rising film evaporator.

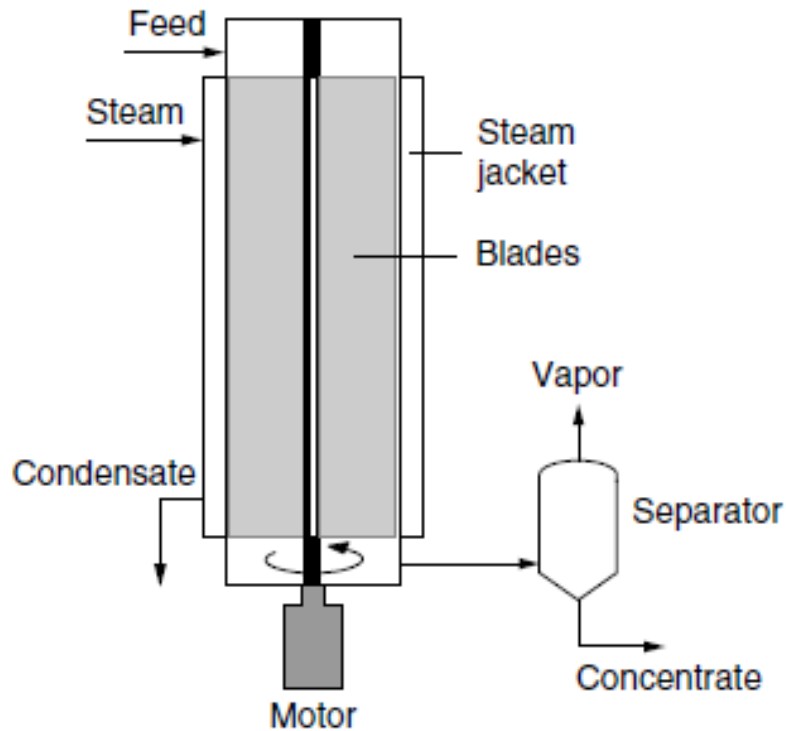
Type of evaporator



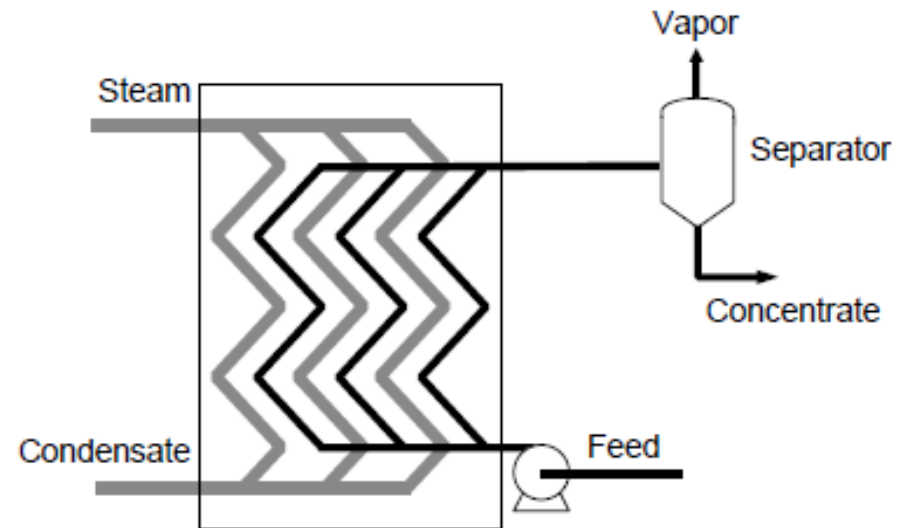
A forced circulation evaporator.

A long-tube vertical falling film evaporator.

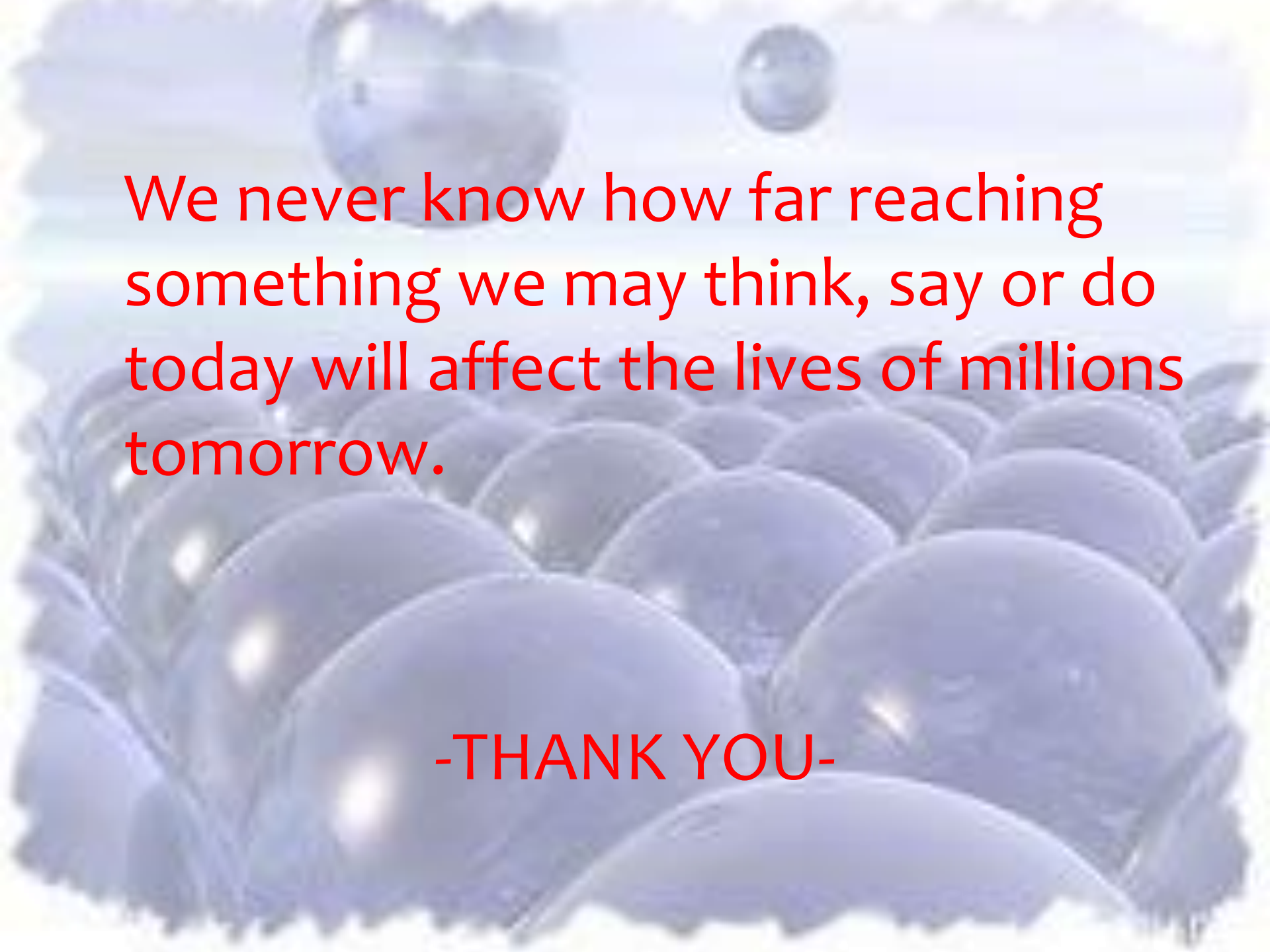
Type of evaporator



A scraped surface evaporator.



A plate evaporator.



We never know how far reaching something we may think, say or do today will affect the lives of millions tomorrow.

-THANK YOU-

- **Panas adalah** energi yang diterima oleh benda sehingga suhu benda atau wujudnya berubah. Ukuran jumlah panas dinyatakan dalam notasi British Thermal Unit (BTU). Air digunakan sebagai standar untuk menghitung jumlah panas karena untuk menaikkan temperature 1° F untuk tiap 1 lb air diperlukan panas 1 BTU.
- **Panas jenis suatu benda artinya** jumlah panas yang diperlukan benda itu agar temperaturnya naik 1° F.
- **Panas sensible adalah** panas yang menyebabkan terjadinya kenaikan/penurunan temperatur, tetapi fasa (wujud) tidak berubah.
- **Panas laten adalah** panas yang diperlukan untuk merubah fasa (wujud) benda, tetapi temperaturnya tetap.
- **Panas laten penguapan(latent heat of vaporization)** adalah jumlah panas yang harus ditambahkan kepada zat (cair)pada titik didihnya sampai wujudnya berubah menjadi uap seluruhnya pada suhu yang sama.

HW: Problem 3

A single effect evaporator is required to concentrate a solution from 10% solids to 30% solids at the rate of 250 kg of feed per hour. If the pressure in the evaporator is 77 kPa absolute, and if steam is available at 200 kPa gauge, calculate the quantity of steam required per hour and the area of heat transfer surface if the overall heat transfer coefficient is $1700 \text{ J m}^{-2} \text{ s}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Assume that the temperature of the feed is 18°C and that the boiling point of the solution under the pressure of 77 kPa absolute is 91°C . Assume, also, that the specific heat of the solution is the same as for water, that is $4.186 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, and the latent heat of vaporization of the solution is the same as that for water under the same conditions.

diketahui :

- Larutan : 10% solid (10% solid, 90% liquid)
- Laju : 250 kg umpan/jam
- P pada evaporator : 77 kPa
- P pada uap 200 kPa [gauge]
- $U = 1700 \text{ J/m}^2\text{s}^\circ\text{C}$
- T larutan = 18 °C
- T pada saat 77 kPa = 92,5 °C
- Panas spesifik = $4,186 \times 10^6 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$

Jawab :

Dari tabel uap $\rightarrow T$ pada saat P uap 200 kPa gauge [300 kPa absolute] :

- $T = 134^{\circ}\text{C}$
- Panas laten : 2164 kJ/kg

Asumsi : Pada evaporator P 77 kPa :

- $T = 92,5^{\circ}\text{C}$
- Panas laten : 2277 kJ/kg

[Fundamentals of Food Process Engineering\back-matter.pdf](#)

Jawab :

- Neraca massa (kg/jam)

	Solid	Liquid	Total
Umpan (10%)	25	225	250
Produk (30%)	25	58	83
Evaporasi			167

Jawab :

- Neraca panas :

panas per kg uap = panas laten + panas sensibel pendinginan

$$= 2,164 \times 10^6 + (4,186 \times 10^3 \times (134-92,5))$$

$$= 2,164 \times 10^6 + 1,7 \times 10^5 = 2,33 \times 10^6 \text{ J}$$

panas yg dibutuhkan larutan = panas laten + panas sensibel pemanasan

$$= (2277 \times 10^3 \times 167) + (250 \times 4,186 \times 10^3 \times (92,5-18))$$

$$= 3,8 \times 10^8 + 7,8 \times 10^7 = 4,58 \times 10^8 \text{ J/jam}$$

Jawab :

panas uap = panas larutan

$$\text{jumlah uap per jam} = \frac{4,58 \times 10^8}{2,33 \times 10^6} = 197 \text{ kg / jam}$$

$$\text{jumlah uap per kg air yang teruapkan} = \frac{197}{167} = 1,18 \text{ kg uap/kg air}$$

Area pindah panas :

$$T \text{ uap pada pendingin} = 134^\circ\text{C}$$

$$\text{perbedaan } T \text{ pada evaporator} = (134 - 92,5)^\circ\text{C} = 41,5^\circ\text{C}$$

$$\text{laju pindah panas} = q = U A dT$$

$$\frac{4,58 \times 10^8}{3600} = 1700 \times A \times 43$$

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



Single effect evaporator

Vapor chamber

- Suhu di dalam evaporator ditentukan oleh P absolut di dalam ruang uap.
- Larutan dimasukkan dan dipanaskan sampai di atas titik didih cairan yang akan diuapkan (pelarut), sehingga pelarut menguap dan diperoleh produk yang kental.
- Kebanyakan makanan merupakan adalah senyawa organik, kenaikan titik didih dapat ditulis :

$$\Delta T_b = 0,51m$$

$$m = \text{molalitas} = \frac{\text{mol}}{1000 \text{ g solven}}$$

Vapor chamber

- Kenaikan titik didih juga dipengaruhi oleh tekanan. Tekanan di dalam kolom lebih tinggi dari tekanan absolut uap dan adanya perbedaan tekanan dapat meningkatkan suhu larutan.
- P kolom cair dengan ketinggian h dan densitas ρ adalah :

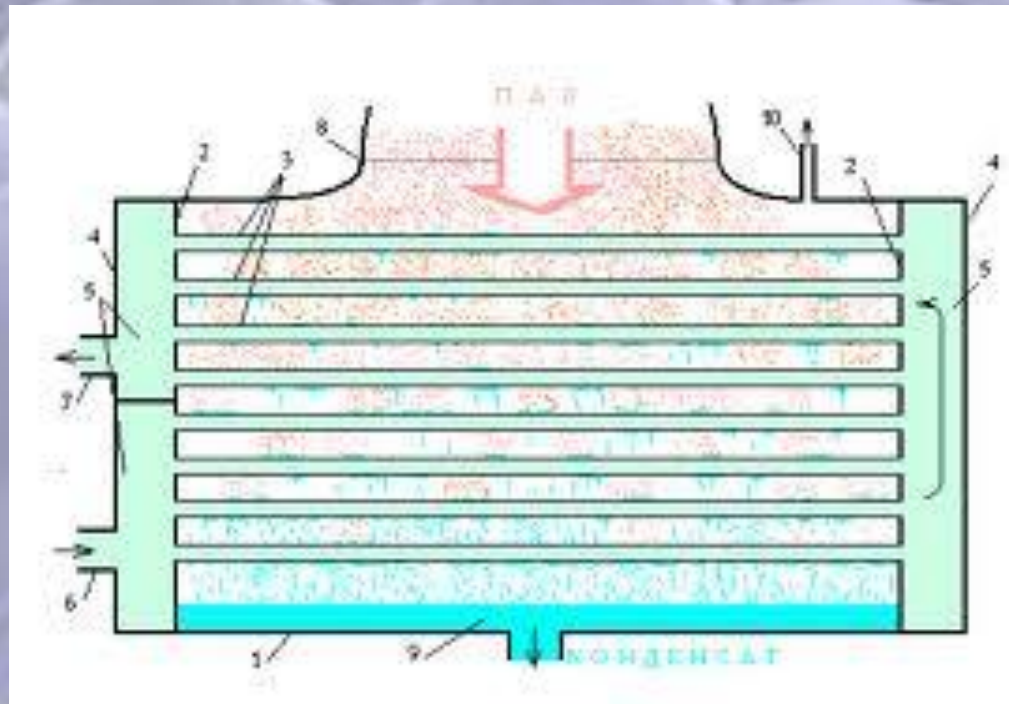
$$P = \rho gh$$

Latihan

- Hitunglah titik didih cairan glukosa ($C_6H_{12}O_6$) yang mengandung 30% padatan dengan ketinggian 5 ft di dalam evaporator. Tekanan uap absolut = 4,91 psia, densitas glukosa = 62 lb/ft³, dan $g = 6,94 \times 10^{-3} \text{ ft}^2/\text{in}^2$!

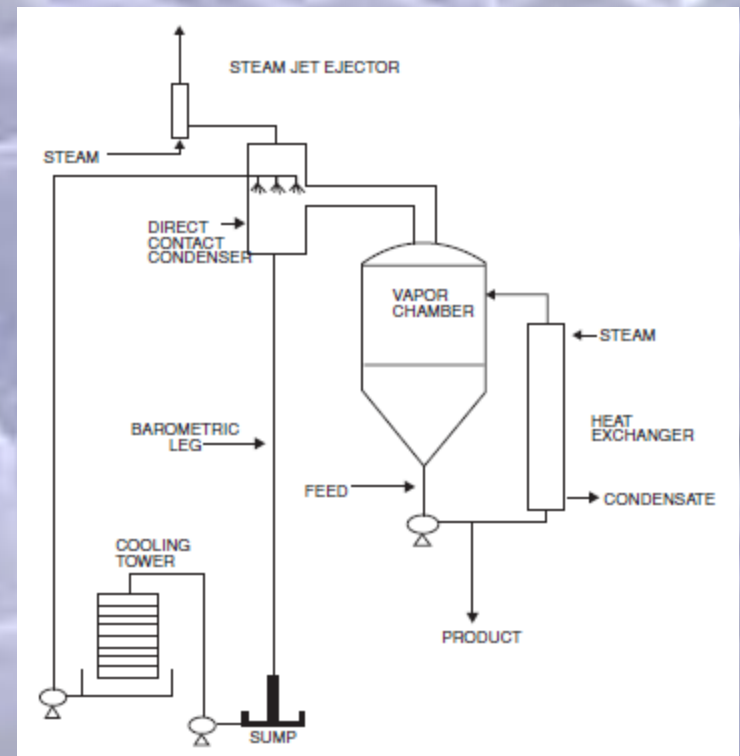
Condensor

- Kondesor permukaan → uap yang digunakan dapat direcovery. Kondensat dipompa keluar kondensator.
- Kekurangan : mahal



Condensator

- contact condenser → T campuran kondensat-air harus 5°F ($2,78^{\circ}\text{C}$) di bawah T uap di dalam ruang uap supaya aliran uap terus menerus ke kondensator



Condensor

- Ketinggian barometrik harus cukup untuk memungkinkan campuran kondensat dan air pendingin keluar dari kondensor.
- Jumlah panas yang harus dilepaskan untuk mengkondensasi uap = (q_c)

$$q_c = V(h_g - h_{fc})$$

V = jumlah uap yang terkondensasi

h_g = entalpi uap dalam chamber evaporator

h_{fc} = entalpi kondensat

Condensor

- Untuk kondensor kontak langsung, jumlah air per unit jumlah uap yang terkondensasi dapat ditentukan dengan :

Neraca massa :

$$W(h_{fc} - h_{fw}) = V(h_g - h_{fc})$$

$$\frac{W}{V} = \frac{h_g - h_{fc}}{h_{fc} - h_{fw}}$$

W = jumlah air yang dibutuhkan

h_{fw} = entalpi air yang masuk kondensor

Soal

- Hitunglah rasio air terhadap uap pada kondensor kontak langsung, jika evaporator bekerja pada T 150°F !

Berapa tinggi kolom air kaki barometrik dalam evaporator pada kondisi tersebut, jika diketahui suhu air pendingin 70°F dan tekanan atmosfernya 760 mmHg?

Jawab :

Pada T 150°F :

- P absolut uap jenuh = 25,6 kPa
- $h_g = 2,619$ MJ/kg
- $h_{fc} = 0,262$ MJ/kg
- $h_{fw} = 0,088$ MJ/kg

$$\frac{W}{V} = \frac{h_g - h_{fc}}{h_{fc} - h_{fw}} = \frac{2,619 - 0,262}{0,262 - 0,088} = 13,55$$

Jawab :

Tinggi kolom :

- Tekanan atmosfer = 760 mmHg = 101,3 kPa
- P absolut pada T 150°F = 25,6 kPa

$$\Delta P = \rho gh$$

- T campuran kondensat-air harus 5°F (2,78°C) di bawah T uap \rightarrow T camp = 150 – 5°F = 145°F
- Densitas air pada 145°F adalah $1/V = 981,7$ kg/m³

Jawab :

$$\Delta P = \rho gh$$

$$(101,3 - 25,6) \text{ kPa} = (981,7 \text{ kg} / \text{m}^3) \times (9,8 \text{ m} / \text{s}^2) \times h$$

$$h = \frac{75.700 \text{ kg} / \text{m}}{(981,7 \text{ kg} / \text{m}^3) \times (9,8 \text{ m} / \text{s}^2)} = 7,868 \text{ m}$$

Jadi tinggi kolom = 7,868 m

Latihan

Hitunglah rasio air-uap pada kondenser barometrik jika evaporator dijalankan pada suhu 130°F , dan berapa tinggi minimum kolom pada barometric leg yang dibutuhkan. Suhu air 50°F dan tekanan atmosfer 1 atm !



Multiple effect evaporator

Evaporator efek banyak

Prinsip Umum

- Ditinjau dirangkai tiga buah evaporator ,masing-masing unit memiliki suhu dan tekanan T_1, T_2, T_3 , dan P_1, P_2, P_3 , jika cairan tidak mempunyai kenaikan titik didih maka kalor berpindah per satu satuan waktu melintas setiap efek akan menjadi :

$$\text{Efek 1 } q_1 = U_1 A_1 dT_1, \quad \text{dimana } dT_1 = (T_o - T_1),$$

$$\text{Efek 2 } q_2 = U_2 A_2 dT_2, \quad \text{dimana } dT_2 = (T_1 - T_2),$$

$$\text{Efek 3 } q_3 = U_3 A_3 dT_3, \quad \text{dimana } dT_3 = (T_2 - T_3)$$

T_o = suhu steam awal, T_f = suhu umpan.

- Dengan mengabaikan kalor yang diperlukan untuk memanasi umpan dari T_f to T_1 , kalor Q_1 yang dipindah melintas A_1 muncul sebagai kalor laten di dalam uap dT_1 dan digunakan sebagai steam dalam efek kedua , dan :

$$q_1 = q_2 = q_3$$

sedemikian hingga

$$U_1 A_1 dT_1 = U_2 A_2 dT_2 = U_3 A_3 dT_3$$

Evaporator efek banyak

Jika , seperti dalam banyak kasus. Masing-masing efek sama , $A_1 = A_2 = A_3$, sehingga :

$$U_1 dT_1 = U_2 dT_2 = U_3 dT_3$$

Simplifikasi ditunjukkan dengan :

- kalor yang dibutuhkan untuk memanasi umpan dari T_0 ke T_1 telah diabaikan, dan
- cairan yang melintas dari efek (1) ke efek (2) membawa kalor ke dalam efek ke dua dan ini dipergunakan untuk evaporasi demikian pula sama untuk efek ke tiga .

Air yang diuapkan di dalam setiap efek sebanding dengan Q selama kalor laten mendekati konstan.

Jadi kapasitas totalnya :

$$\begin{aligned} q &= q_1 = q_2 = q_3 \\ &= U_1 A_1 dT_1 = U_2 A_2 dT_2 = U_3 A_3 dT_3 \end{aligned}$$

Jika dipergunakan nilai rata-rata koefisien U_{av} maka

$$q = U_{av} (dT_1 + dT_2 + dT_3) A$$

dengan asumsi luas setiap efek sama .

Example

Suhu di dalam efek-efek evaporator efek banyak

Sebuah evaporator tiga efek mengentalkan suatu cairan dengan tanpa kenaikan titik didih . Jika suhu steam pada efek ke satu sebesar 395 K dan vakum diberlakukan pada efek ke tiga sehingga titik didihnya sebesar 325 K, berapakah titik-titik didih di dalam ke tiga efek tersebut ? Diambil koefisien perpindahan kalor keseluruhan masing-masing 3.1, 2.3 dan 1.1 kW/ m².K .

Penyelesaian

Untuk beban thermal yang sama dalam tiap efek , yaitu $q_1 = q_2 = q_3$,

$$U_1 A_1 dT_1 = U_2 A_2 dT_2 = U_3 A_3 dT_3$$

atau untuk area pertukaran kalor yang sama dalam setiap efek

$$U_1 dT_1 = U_2 dT_2 = U_3 dT_3$$

Dalam hal ini ,

$$3.1 dT_1 = 2.3 dT_2 = 1.1 dT_3$$

$$dT_1 = 0.742 dT_2 \text{ dan } dT_3 = 2.091 dT_2$$

Penyelesaian

Sekarang

$$\Sigma dT = dT_1 + dT_2 + dT_3 = (395 - 325) = 70 \text{ K}$$

$$0.742 dT_2 + dT_2 + 2.091 dT_2 = 70$$

$$dT_2 = 18.3 \text{ K}$$

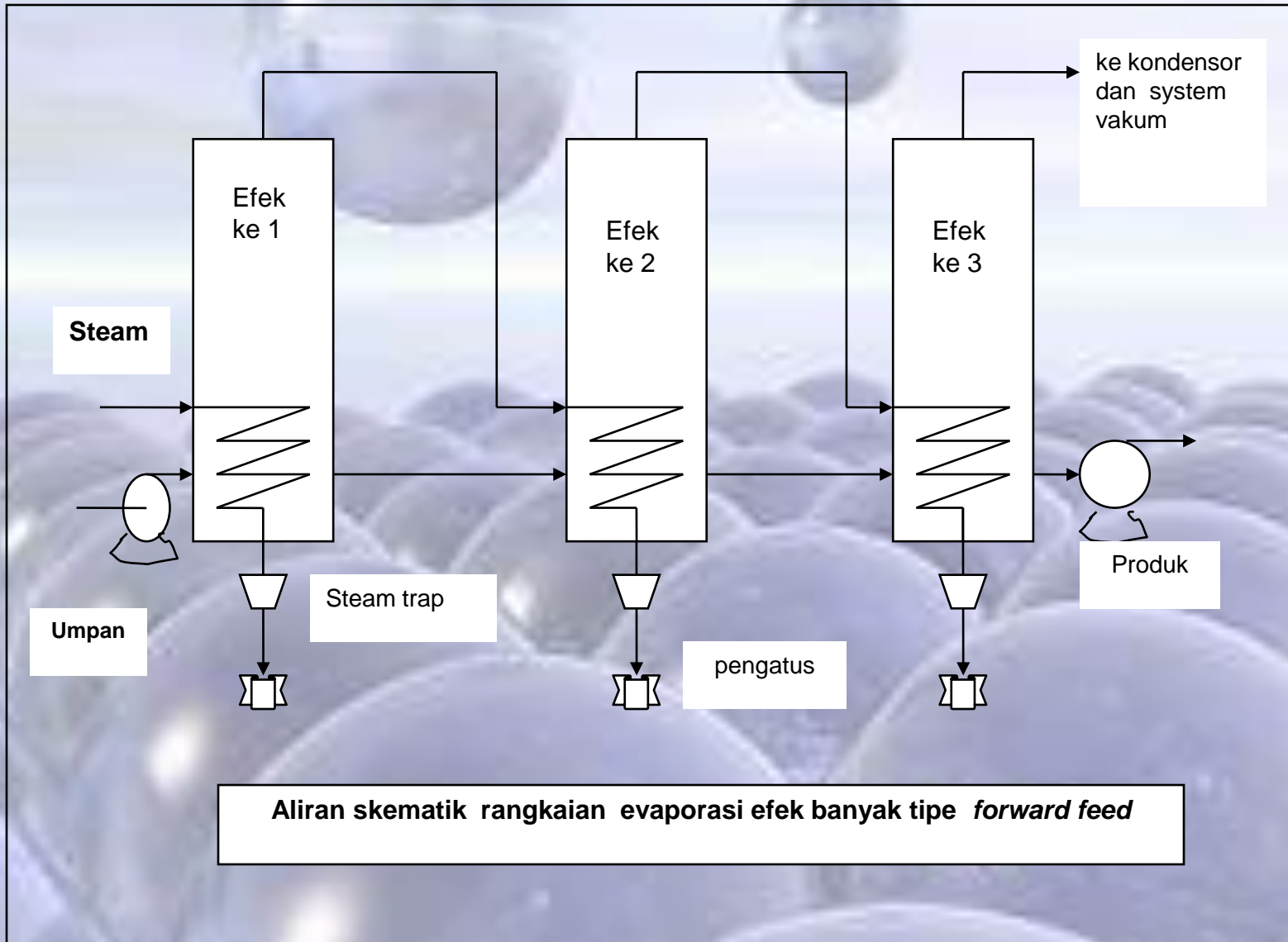
$$\text{dan } dT_1 = 13.58 \text{ K}, \quad dT_3 = 38.25 \text{ K}$$

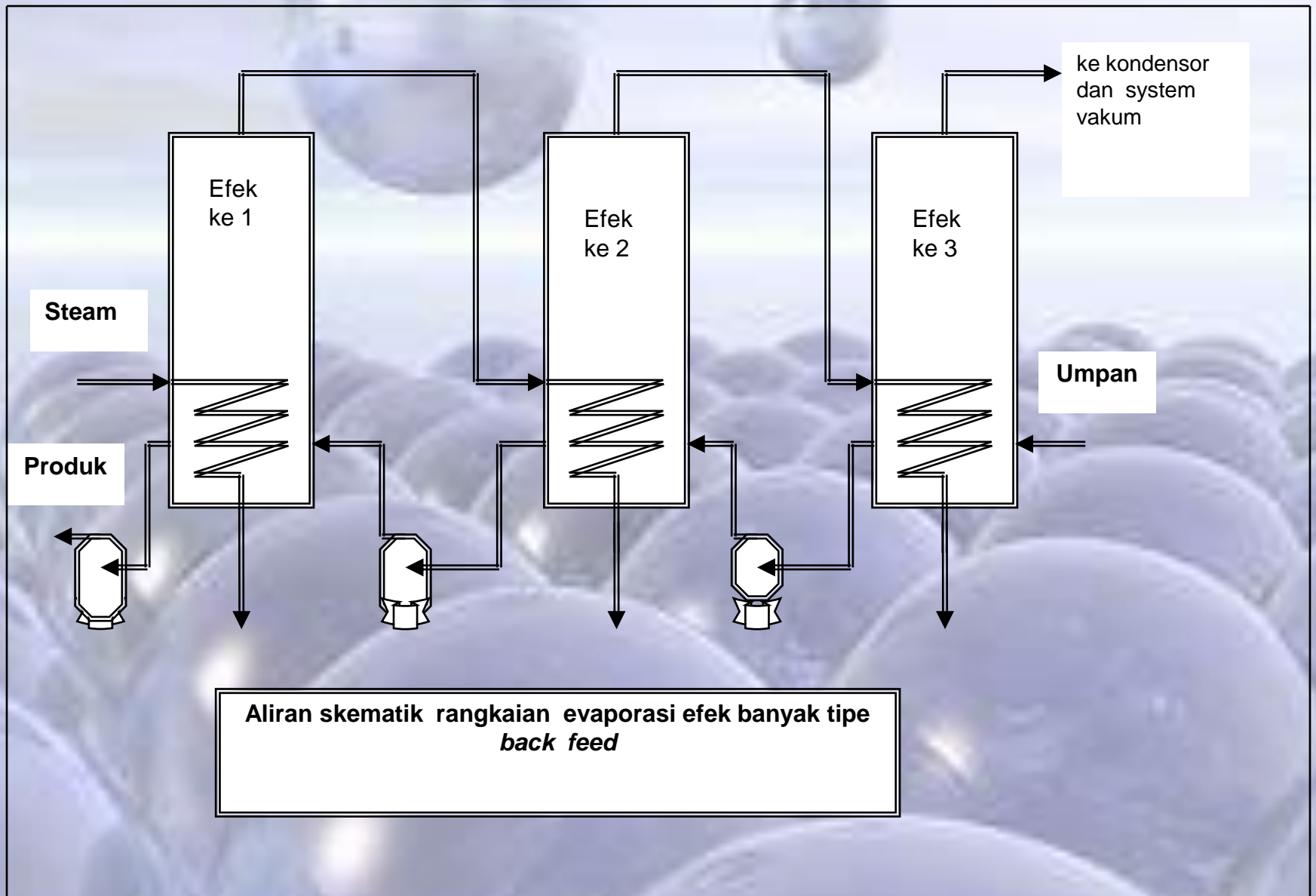
Suhu di dalam setiap efek karenanya adalah :

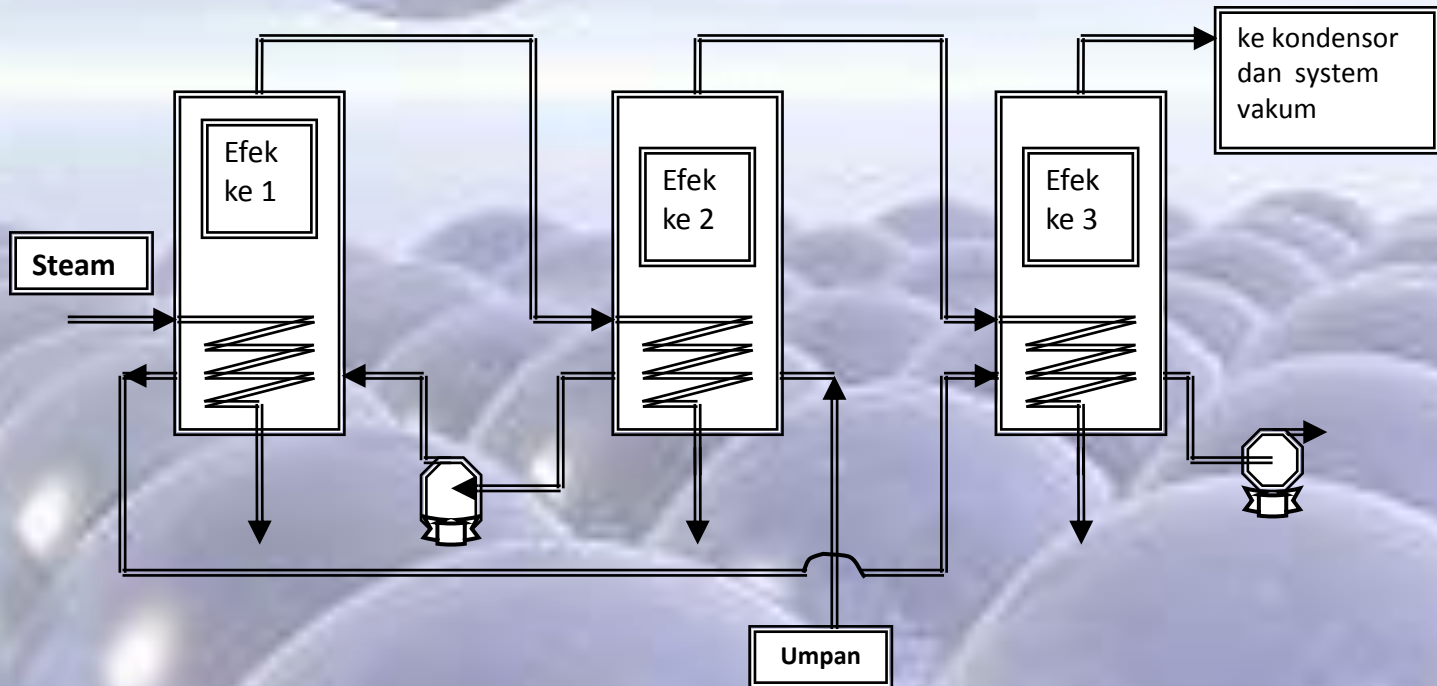
$$T_1 = (395 - 13.58) = 381.42 \text{ K}$$

$$T_2 = (381.5 - 18.3) = 363.2 \text{ K}$$

$$T_3 = (363.2 - 38.2) = 324.95 \text{ K}$$







Aliran skematik rangkaian evaporasi efek banyak tipe umpan campur (*mixed feed*)

