

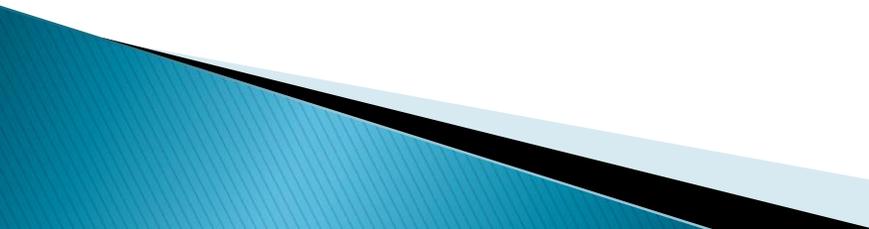
# Pindah panas

Satuan Operasi dan Proses

TIP – FTP – UB

# Pendahuluan

- ▶ Pasteurisasi susu, jus, dan lain sebagainya.
  - ▶ Pendinginan buah dan sayuran
  - ▶ Pembekuan daging
  - ▶ Sterilisasi pada makanan kaleng
  - ▶ Evaporasi
  - ▶ Destilasi
  - ▶ Pengeringan
  - ▶ Dan lain sebagainya
- 

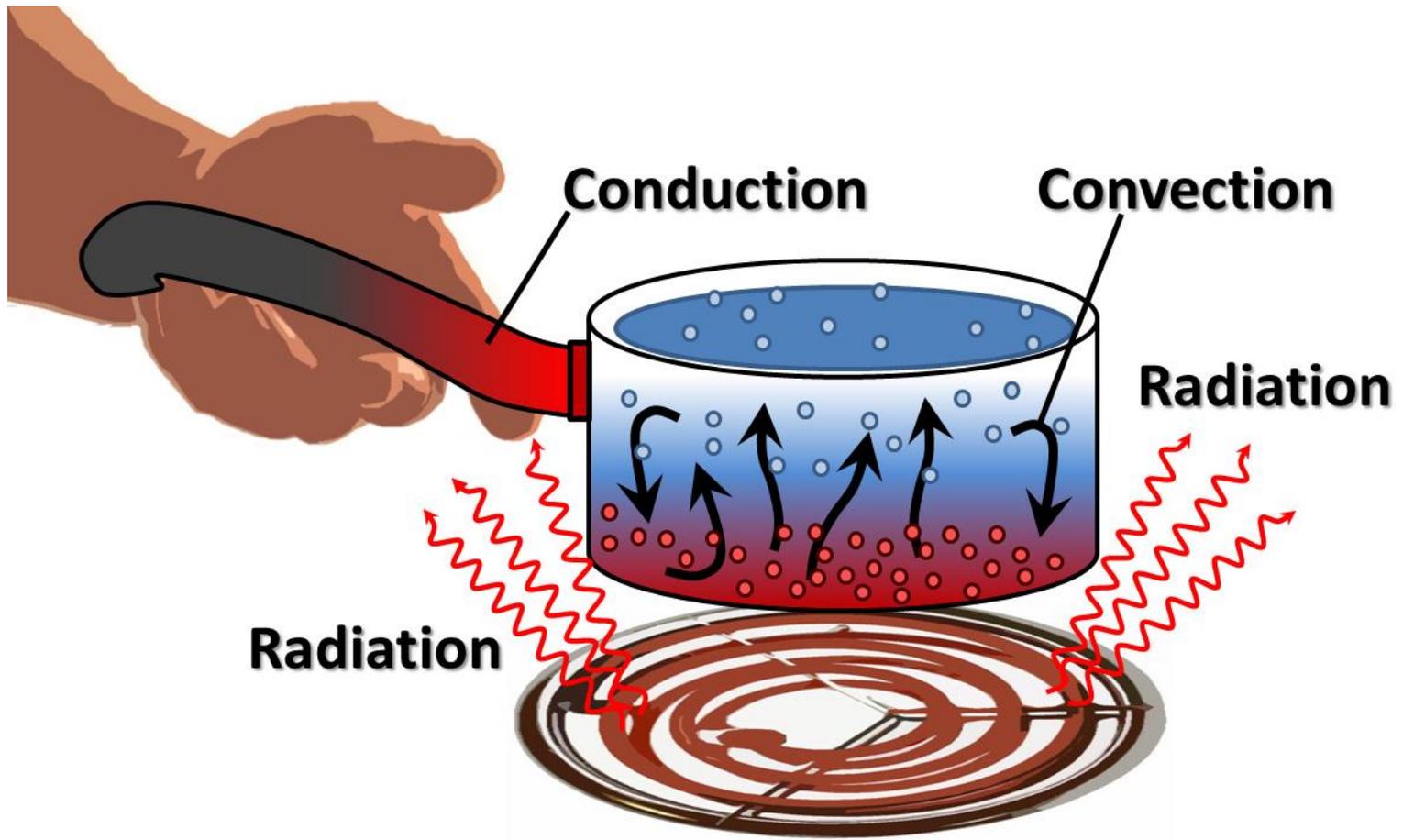
- ▶ Pindah panas adalah proses dinamis dimana panas dipindah secara spontan dari satu bagian ke bagian lain yang suhunya lebih rendah.
  - ▶ Laju pindah panas bergantung pada perbedaan suhu antara dua area (bagian), semakin besar perbedaan maka semakin cepat pindah panas yang terjadi.
  - ▶ Kecepatan pindah panas berbanding lurus dengan perbedaan suhu antara dua area terjadinya proses pindah panas.
- 

# Cara Pindah Panas

Konduksi

Konveksi

Radiasi



- ▶ Kecepatan pindah = driving force / resistance
- ▶ Kecepatan pindah panas = perbedaan suhu / media resistance aliran panas
- ▶ Hukum Ohm => kecepatan pindah (jumlah yang dipindah per satuan waktu) sebanding dengan driving force dan berbanding terbalik dengan resistance dari media pindah.

$$|q = \frac{dQ}{dt} = \frac{F}{R} = kF$$

$$k = 1/R$$

- ▶ keterangan:
- ▶  $q = dQ/dt =$  kecepatan pindah panas
- ▶  $F =$  driving force
- ▶  $R =$  resistance media pindah panas
- ▶  $k =$  konduktan media pindah panas
- ▶ Flux panas (J) = kecepatan pindah sebanding dengan dengan area  $A$  yang tersedia untuk perpindahan (kecepatan pindah per satuan area  
 $\Rightarrow q/A$

# Kondisi Pindah Panas

## Steady state

- kondisi stabil (semua factor stabil terhadap waktu)

## Unsteady state

- kondisi tidak stabil

# Konduksi

$$\text{▶ } \frac{q}{A} = \frac{dQ}{A \cdot dt} = -k \frac{dT}{dz} \quad \text{||} \quad q = \frac{Q}{t} = k \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{z}$$

- ▶ Keterangan:
- ▶ Q = panas yang dipindah (J)
- ▶ T = suhu (K)
- ▶ t = waktu (s)
- ▶ k = konduktivitas thermal (J/s.m.K)(W/m.K)
- ▶ z = jarak perpindahan (m)

# Konduktivitas thermal

- Kemampuan bahan dalam memindahkan panas.

# Diffusivitas thermal

- Rasio kemampuan bahan untuk memindah panas dengan kapasitasnya untuk menyimpan panas.

1. Hitung kecepatan transfer panas dari bahan 3x4 m, tebal 0,2m, di satu sisi 0°C dan di sisi lainnya 35°C. Jika bahan tersebut adalah alumunium ( $k = 220 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{°C}^{-1}$ ).

# Penelitian Sweat (1986)

- ▶  $k = 0.25X_c + 0.155X_p + 0.16X_f + 0.135X_a + 0.58X_w$

- ▶ keterangan:

- ▶  $X$  = fraksi massa

- ▶  $c$  = carbohydrate (karbohidrat)

- ▶  $p$  = protein (protein)

- ▶  $f$  = fat (lemak)

- ▶  $a$  = ash (abu)

- ▶  $w$  = water (air)

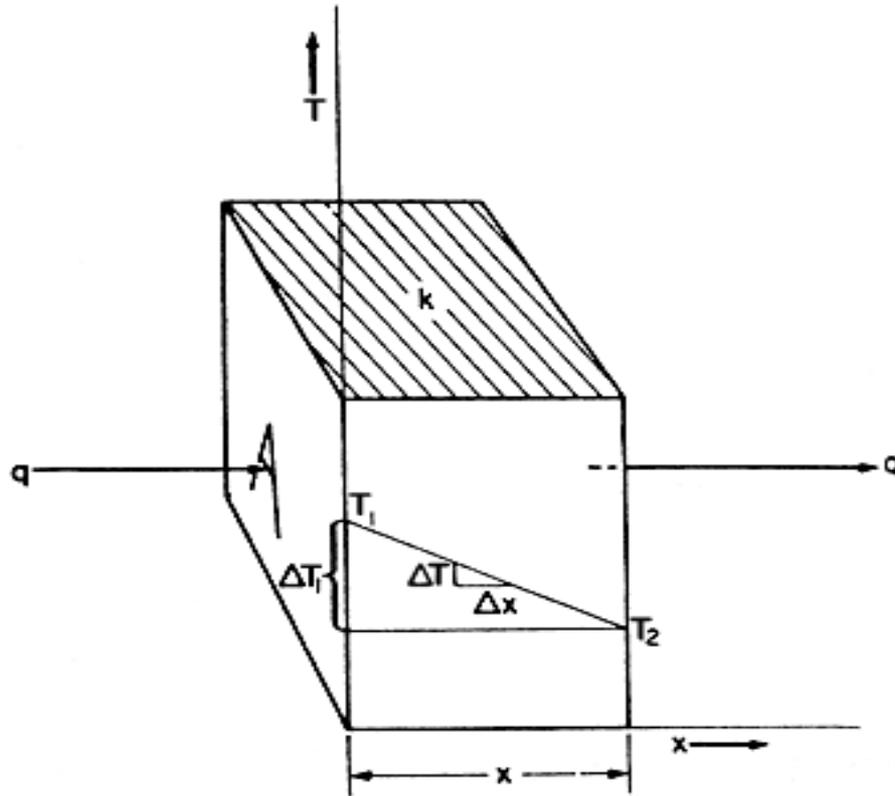
# Contoh soal:

1. Hitung konduktivitas thermal dari daging yang mengandung 21% protein, 12% lemak, 10% karbohidrat, 1,5% abu, dan 55,5% air.

Jawab:

$$\begin{aligned}k &= (0,25 \times 0,1) + (0,155 \times 0,21) + (0,16 \times \\ &0,12) + (0,135 \times 0,015) + (0,58 \times 0,555) \\ &= 0,401 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}\end{aligned}$$

# Papan Single



$$q = \frac{Q}{t} = k \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{z}$$

# Konduksi melalui Papan Berlapis

$$\frac{q}{A} = \frac{k_1(T_2 - T_1)}{z_1} = \frac{k_2(T_3 - T_2)}{z_2} = \frac{k_3(T_4 - T_3)}{z_3}$$

$$\frac{q}{A} \sum_i^n \frac{z_i}{k_i} = \sum \Delta T$$

$$\frac{q}{A} \cdot \frac{Z}{K} = T_2 - T_1$$

$$j = \frac{\Delta T}{Z/K}$$

1. Sebuah dinding penyimpanan dingin terdiri dari 11 cm batu bata pada bagian paling luar, kemudian 7,5 cm beton, terakhir 10 cm gabus. Suhu rata-rata dalam ruang penyimpanan dipertahankan  $-18^{\circ}\text{C}$  dan suhu rata-rata permukaan luar gabus  $18^{\circ}\text{C}$ .  
hitung flux panas dinding penyimpanan dingin tersebut.

# Konduksi melalui Papan Silinder

$$\frac{q}{A} = \frac{q}{2\pi rL} = k \frac{dT}{dr} \quad r \cong z$$

$$\frac{dr}{r} = \frac{2\pi Lk}{q} \cdot dt$$

$$\int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{2\pi L}{q} \cdot \int_{t_2}^{t_1} k \cdot dt$$

$$\ln r_2 - \ln r_1 = \frac{2\pi Lk}{q} \cdot (t_1 - t_2) \quad q = \frac{2\pi Lk \cdot (t_1 - t_2)}{\ln(r_2/r_1)}$$

1. Pipa baja berdiameter 5cm membawa uap air pada  $150^{\circ}\text{C}$ . Pipa disekat dengan lapisan penyekat silinder ketebalan 3cm ( $k=0.03\text{W/mK}$ ). Hitung kecepatan panas hilang per meter panjang pipa, jika suhu lapisan terluar adalah  $35^{\circ}\text{C}$ ?

# Konveksi

## Konveksi alami

- ketika pergerakan disebabkan oleh pindah panas itu sendiri

## Konveksi paksa

- ketika pergerakan disebabkan oleh factor yang tidak bergantung oleh perpindahan

- ▶ Lapisan stationer (film) dari fluida yang kontak dengan permukaan benda padat, itulah yang dianggap ketebalannya  $\delta$ .
- ▶ Suhu pada massa bulk sebagai  $T_2$ , sedangkan suhu pada lapisan pembatas sebagai  $T_1$ .
- ▶ Koefisien konveksi pindah panas adalah

$$h = \frac{k}{\delta}$$

$$q = k \cdot A \cdot \frac{T_2 - T_1}{\delta}$$

$$q = h \cdot A \cdot \Delta T$$

$$\delta \cong z$$

- ▶ Nilai  $h$  bergantung pada sifat fluida (panas spesifik, viskositas, densitas, dan konduktivitas thermal), turbulensi (kelajuan rata-rata), dan geometri system.
  - ▶ Parameter-parameter ini adalah kelompok tak berdimensi yang digunakan dalam pindah panas.
- 

$$\text{Reynolds } Re = \frac{d \cdot v \cdot \rho}{\mu}$$

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.3-0.4}$$

$$\text{Nusselt } Nu = \frac{h \cdot d}{k}$$

$$Nu = 0.027 Re^{0.8} \cdot Pr^{0.33} \cdot \left(\frac{\mu}{\mu_0}\right)^{0.14}$$

$$\text{Prandtl } Pr = \frac{c_p \cdot \mu}{k}$$

$$Nu = 2 + 0.6 Re^{0.5} \cdot Pr^{0.33}$$

$$\text{Grashof } Gr = \frac{d^3 \cdot \rho \cdot \Delta \rho \cdot g}{\mu^2}$$

$$Nu = 0.59 Gr^{0.25} \cdot Pr^{0.25}$$

$$Nu = 2 + 0.6 Gr^{0.25} \cdot Pr^{0.33}$$

Forced  
convection

Natural  
convection

- ▶ Keterangan:
- ▶  $d$  = diameter, height, length, etc = diameter, tinggi, panjang, dsb (m)
- ▶  $v$  = velocity = kecepatan (m/s)
- ▶  $\rho$  = density = densitas ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
- ▶  $h$  = coefficient of convective heat transfer = koefisien konveksi pindah panas ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ )
- ▶  $k$  = thermal conductivity = konduktivitas thermal ( $\text{W}/\text{mK}$ )
- ▶  $c_p$  = specific heat = panas specific ( $\text{J}/\text{kgK}$ )
- ▶  $\mu$  = viscosity = viskositas (Pa.s)
- ▶  $g$  = gravity = gravitasi ( $\text{m}/\text{s}^2$ )

# Radiasi

- ▶ meliputi kesatuan fenomena yang luas yang melibatkan perpindahan energy *dalam bentuk gelombang*, pada rentang panjang gelombang  $10^{-7}$  sampai  $10^{-4}$  m.
- ▶ Pada proses radiasi, akan mendinginkan bagian yang memancarkan panas dan memanaskan bagian yang menerima panas.
- ▶ Pada kondisi  $> 0^{\circ}\text{K}$ , semua zat memancarkan radiasi elektromagnetik.
- ▶ Pindah panas dengan radiasi tidak memerlukan adanya media perantara.

# *Black body*

- ▶ bagian yang menyerap radiasi secara keseluruhan, absorbtivitas (penyerapan) *black body* adalah satu dan reflektivitas (pemantulan) dan transmisivitas (daya tembus) nya adalah nol.
- ▶ Emmisivitas ( $\epsilon$ ) adalah rasio daya emmisiv suatu zat dibanding *black body* pada suhu sama; selalu kurang dari satu.

$$E_b = \sigma \cdot T^4$$

- ▶ keterangan:
- ▶  $E_b$  = emissive power of black body = daya emmisivitas black body ( $\text{w.m}^2$ )
- ▶  $\sigma$  = Stefan-Boltzmann's constant = konstanta Stefan-Boltzmann's =  $5.669 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{°K}^4$
- ▶  $T$  = absolute temperature = suhu absolute ( $\text{°K}^4$ )

$$q = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4$$

$$q = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

- ▶ Keterangan:
- ▶  $T_1$  = suhu absolute suatu zat
- ▶  $T_2$  = suhu absolute lingkungan

# Contoh soal:

1. Hitung net heat transfer dengan radiasi dari sebungkah roti di oven pada suhu  $177^{\circ}\text{C}$ , jika emissivitasnya 0,85 dgn total luas area  $0,0645 \text{ m}^2$  dan suhu  $100^{\circ}\text{C}$ ?

Jawab:

$$q = \varepsilon \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

$$= 0,0645 \times 0,85 \times 5,669 \times 10^{-8} \times (450^4 - 373^4)$$

$$= 67,46 \text{ Js}^{-1}$$

# HEAT EXCHANGER

- ▶ Aplikasi dari pindah panas.
- ▶ Energy panas dipindah dari satu bagian atau satu aliran fluida ke yang lainnya.
- ▶ Alat untuk menukar panas ini dipisahkan oleh penyekat, dimana penyekatnya adalah dinding padat penghantar panas, biasanya terbuat dari logam.
- ▶ Peralatan heat exchanger ada dengan berbagai nama, seperti, boiler, pasteurizer, jacketed pan, freezer, air heater, cooker, oven, chilled water generator, dan sebagainya.

# Continuous Flow Heat Exchanger



Jacketed  
pan

Kumparan  
pemanas

Plate heat  
exchanger

1. Hitung thermal konduktivitas dari buah apel dengan kadar air 84,1%, protein 0,3%, lemak 0,4%, dan karbohidrat 14,9%!
  2. Apa yang dimaksud dengan pindah panas dan heat exchanger?
  3. Jelaskan perbedaan konduksi, konveksi, dan radiasi (dengan contoh masing)!
  4. Jelaskan perbedaan konveksi alami dan konveksi paksa (dengan contoh masing)!
- 