

# KONDUKSI PANAS KONDISI MANTAP

## SATU DIMENSI

Rini Yulianingsih S.TP., MT.

## KONDUKSI

- Konduksi : Transport energi dalam suatu medium yang disebabkan karena perbedaan temperatur.
- Perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul secara langsung tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar.



## Konduksi mantap, 1 dimensi

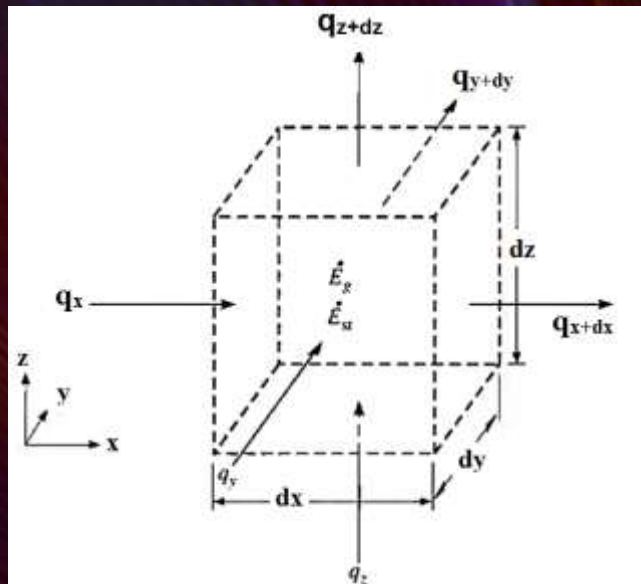
- Satu dimensi → hanya diperlukan satu koordinat untuk menggambarkan variasi spasial dari variabel tergantung
- Kondisi mantap → temperatur pada setiap titik tidak tergantung waktu

## Hukum Fourier

- Laju aliran panas proporsional terhadap gradien suhu pada suatu arah.
- Konstanta proporsionalitas → Konduktivitas thermal,  $k$

$$q_k = -kA \frac{\partial T}{\partial n}$$

# 1. DINDING DATAR



## 1. Laju pindah panas konduksi

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx$$

$$q_{y+dy} = q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy$$

$$q_{z+dz} = q_z + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz$$

Laju pindah panas komponen x pada  $x + dx$  sama dengan nilai komponen tersebut pada  $x$  ditambah dengan perubahan yang terjadi pada arah  $x$  kali dengan  $dx$

## 2. Pembangkitan energi thermal ( $\dot{E}_g$ )

$$\dot{E}_g = \dot{q} dx dy dz$$

Dimana  $\dot{q}$  : laju energi yang dbangkitkan per unit volume ( $\text{W/m}^3$ )

## 3. Energi yang disimpan ( $\dot{E}_{st}$ )

$$\dot{E}_{st} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz$$

Bentuk umum konservasi energi (berdasarkan laju):

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g - \dot{E}_{out} = \dot{E}_{st}$$

$$q_x + q_y + q_z + \dot{q} dx dy dz - q_{x+dx} - q_{y+dy} - q_{z+dz} =$$

$$\rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz$$

Substitusi persamaan

$$q_{x+dx} = q_x + \frac{\partial q_x}{\partial x} dx$$

$$q_{y+dy} = q_y + \frac{\partial q_y}{\partial y} dy$$

$$q_{z+dz} = q_z + \frac{\partial q_z}{\partial z} dz$$



$$-\frac{\partial q_x}{\partial x} dx - \frac{\partial q_y}{\partial y} dy - \frac{\partial q_z}{\partial z} dz + \dot{q} dx dy dz = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} dx dy dz$$

Laju pindah panas konduksi menurut hukum Fourier

$$q_x = -k dy dz \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$q_y = -k dx dz \frac{\partial T}{\partial y}$$

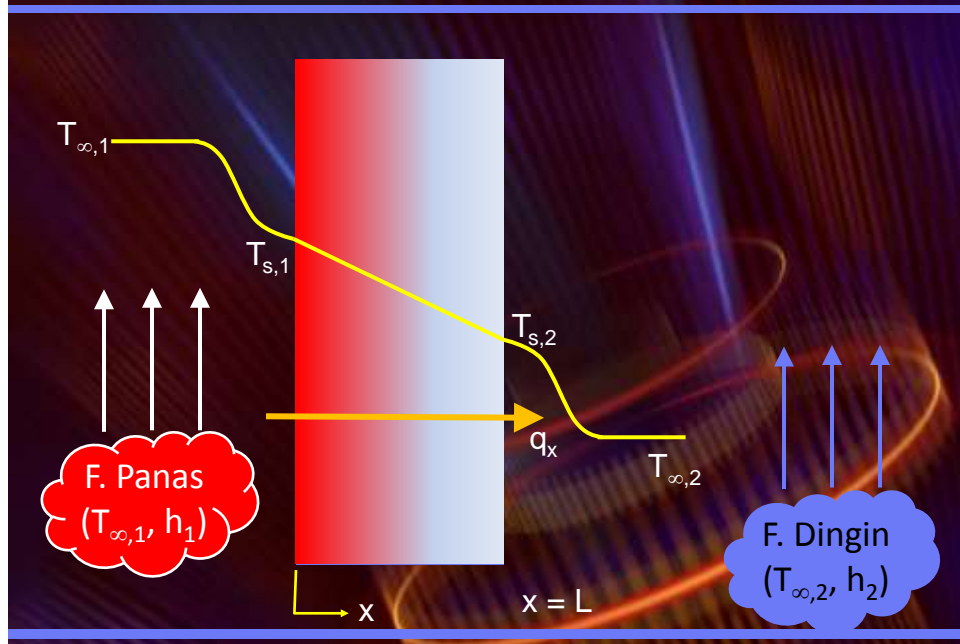
$$q_z = -k dx dy \frac{\partial T}{\partial z}$$

Substitusi dan pembagian dengan dx dy dz menghasilkan:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

Persamaan umum difusi panas dalam koordinat cartersian, digunakan sebagai dasar analisis pindah panas konduksi

## Dinding Datar 1 Dimensi



Dari persamaan

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \dot{q} = \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t}$$

Maka di dapatkan persamaan

$$\frac{d}{dx} \left( k \frac{dT}{dx} \right) = 0$$

- Satu dimensi
- Kondisi mantap
- Tidak ada pembangkitan panas
- Fluks panas konstan

$$T(x) = C_1 x + C_2$$

Kondisi batas

$$x = 0 \rightarrow T(0) = T_{s,1}$$

$$x = L \rightarrow T(L) = T_{s,2}$$

$$\text{Pada } x = 0 \rightarrow T_{s,1} = C_2$$

$$\text{Pada } x = L \rightarrow T_{s,2} = C_1 L + C_2 = C_1 L + T_{s,1}$$

$$C_1 = (T_{s,2} - T_{s,1}) / L$$

$$\text{Sehingga } T(x) = (T_{s,2} - T_{s,1}) \frac{x}{L} + T_{s,1}$$

$$\text{Laju pindah panas konduksi: } q_x = -kA \frac{dT}{dx} = \frac{kA}{L} (T_{s,1} - T_{s,2})$$

Fluks panas

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = \frac{k}{L} (T_{s,1} - T_{s,2})$$

## Contoh 1

Sebuah dinding memiliki tebal 0.2 m terbuat dari bahan yang memiliki konduktivitas thermal 1.78 W/m °C. Suhu dalam dan luar dinding adalah 60 °C dan 40 °C.

- Berapakah fluks panas?
- Berapakah laju pindah panas jika ukuran dinding 1 m x 2 m?
- Berapakah suhu dalam dinding pada posisi 0.075 m dari luar?

## Contoh 2

Suatu unit penjaga temperatur terbuat dari dinding dengan nilai konduktivitas thermal  $0.047 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  tebal  $0.05 \text{ m}$ . Jika fluks panas yang terjadi sebesar  $40 \text{ W/m}^2$

- Berapakah perbedaan suhu antara dinding dalam dan luar?
- Jika suhu dinding yang panas adalah  $80 \text{ }^\circ\text{C}$ , berapakah suhu dinding yang dingin?
- Jika laju pindah panas konduksi adalah  $24 \text{ W}$ , berapakah luasan dinding?

## Tahanan Thermal

Tahanan adalah rasio *driving potential* terhadap laju transfer.

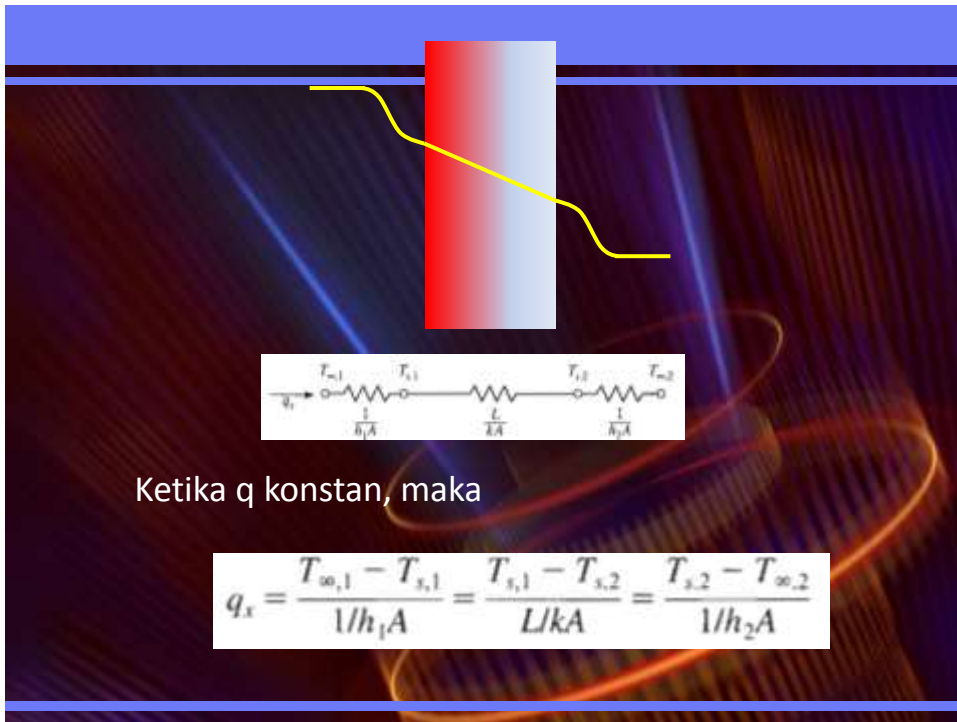
Tahanan thermal untuk konduksi :

$$R_{t,kond} \equiv \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{q_x} = \frac{L}{kA}$$

Tahanan thermal untuk konveksi :

$$R_{t,konv} \equiv \frac{T_s - T_\infty}{q} = \frac{1}{hA}$$





Ketika  $q$  konstan, maka

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{s,1}}{1/h_1A} = \frac{T_{s,1} - T_{s,2}}{L/kA} = \frac{T_{s,2} - T_{\infty,2}}{1/h_2A}$$

Pindah panas secara menyeluruh dapat dinyatakan dengan :

$$q_x = \frac{T_{\infty,1} - T_{\infty,2}}{R_{tot}}$$

Karena tahanan konduksi dan konveksi tersusun secara seri, maka  $R_{TOT}$  adalah :

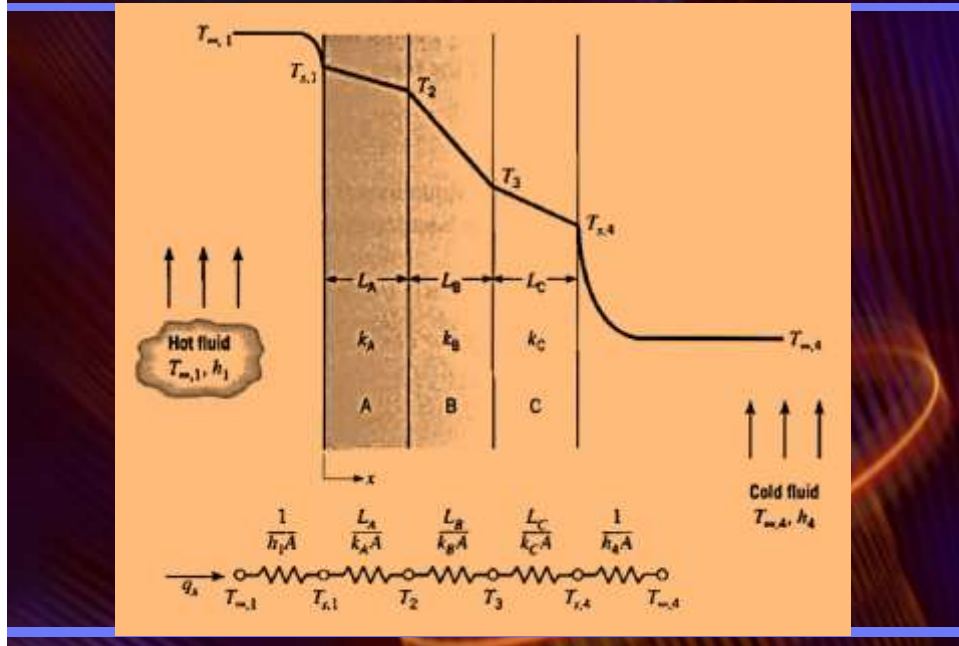
$$R_{tot} = \frac{1}{h_1A} + \frac{L}{kA} + \frac{1}{h_2A}$$

Tahanan thermal untuk radiasi

$$R_{t,rad} = \frac{T_s - T_{sur}}{q_{rad}} = \frac{1}{h_r A}$$

$$h_r \equiv \varepsilon \sigma (T_s + T_{sur})(T_s^2 + T_{sur}^2)$$

## Dinding Komposit



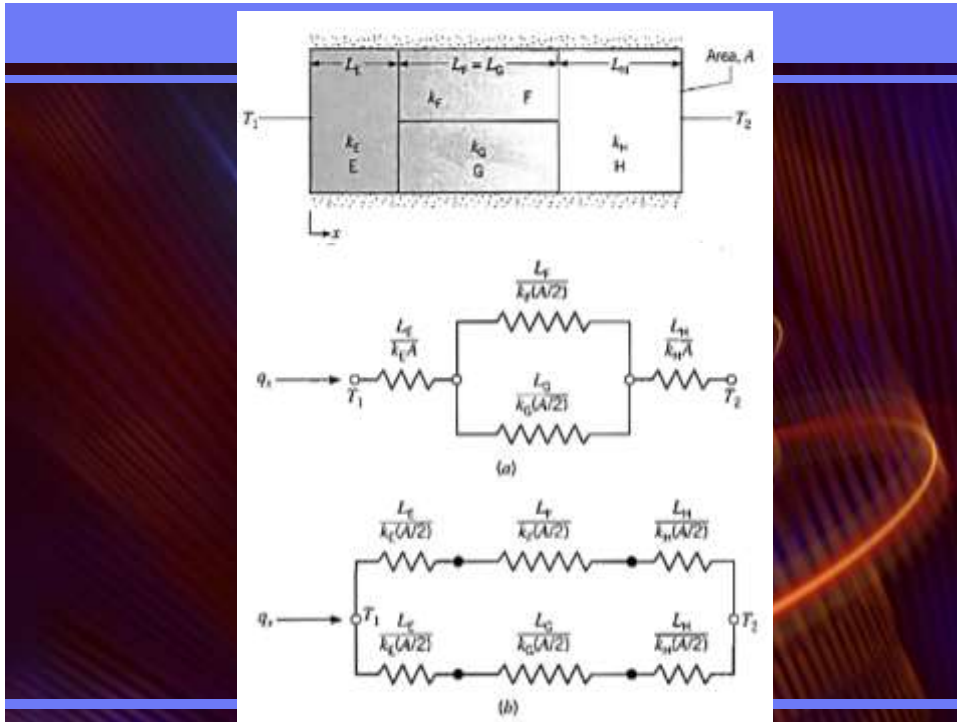
Laju pindah panas:

$$q_x = \frac{T_{m,1} - T_{m,4}}{\left[ \frac{1}{h_1 A} + \frac{L_A}{k_A A} + \frac{L_B}{k_B A} + \frac{L_C}{k_C A} + \frac{1}{h_4 A} \right]}$$

Untuk sistem komposit, biasa digunakan koefisien pindah panas menyeluruh yang dinyatakan dengan U.

$$q_x \equiv UA \Delta T$$

$$U = \frac{1}{R_{tot} A} = \frac{1}{\left[ \frac{1}{h_1} + \frac{L_A}{k_A} + \frac{L_B}{k_B} + \frac{L_C}{k_C} + \frac{1}{h_4} \right]}$$



### CONTOH 3

Sebuah dinding tanur terdiri dari dua lapisan, bata tahan api ( $k = 0,8 \text{ Btu/h ft F}$ ) setebal 9 inch dan bata isolasi ( $k = 0,1 \text{ Btu/hftF}$ ) setebal 5 inch. Suhu di dalam tanur 3.000 F dan koefisien konveksi dinding dalam,  $12 \text{ Btu/hft}^2\text{F}$ . Suhu udara lingkungan 80 F dan koefisien konveksi dinding luar,  $2 \text{ Btu/hft}^2\text{F}$ . Tentukan laju kerugian panas menyeluruh per  $\text{ft}^2$  dinding.

## Homework

Suatu oven terbuat dari 3 lapis dinding, dua di antaranya diketahui nilai konduktivitas thermalnya,  $k_A = 20 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$  dan  $k_C = 50 \text{ W/m } ^\circ\text{C}$ , dan ketebalan  $L_A = 0.3 \text{ m}$  dan  $L_C = 15 \text{ m}$ . Material B yang terletak di antara A dan C, memiliki ketebalan  $0.15 \text{ m}$  dan nilai konduktivitas Thermal yang tidak diketahui. Pada kondisi mantap, suhu bagian luar dinding  $20 \text{ } ^\circ\text{C}$  dan bagian dalam  $600 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Suhu di dalam oven mencapai  $800 \text{ } ^\circ\text{C}$ . Koefisien pindah panas konveksi pada bagian dalam oven adalah  $25 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ . Berapakah nilai Konduktivitas Thermal bahan B?