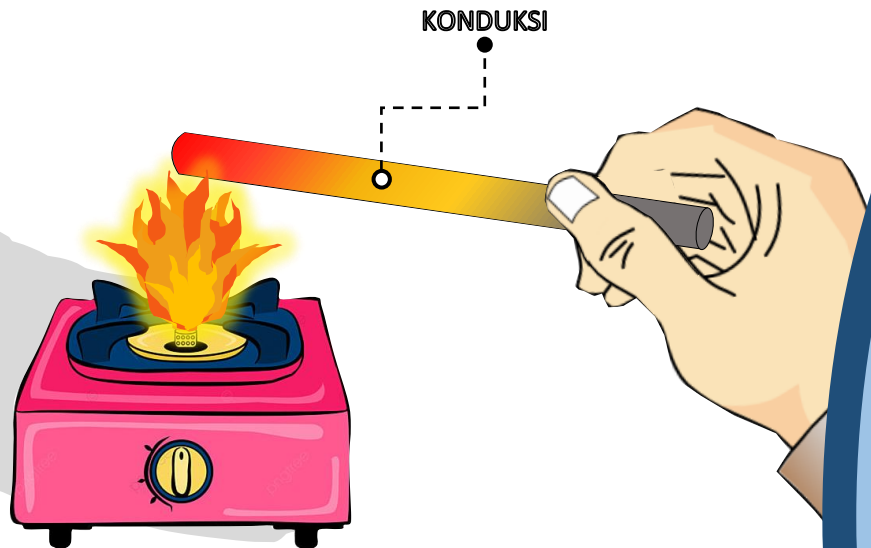




**Kampus
Merdeka**
INDONESIA JAYA

PERPINDAHAN PANAS



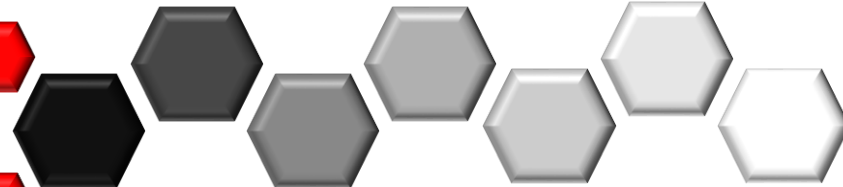
DAFTAR POKOK BAHASAN



Aspek umum perpindahan panas yang berhubungan dengan termodinamika

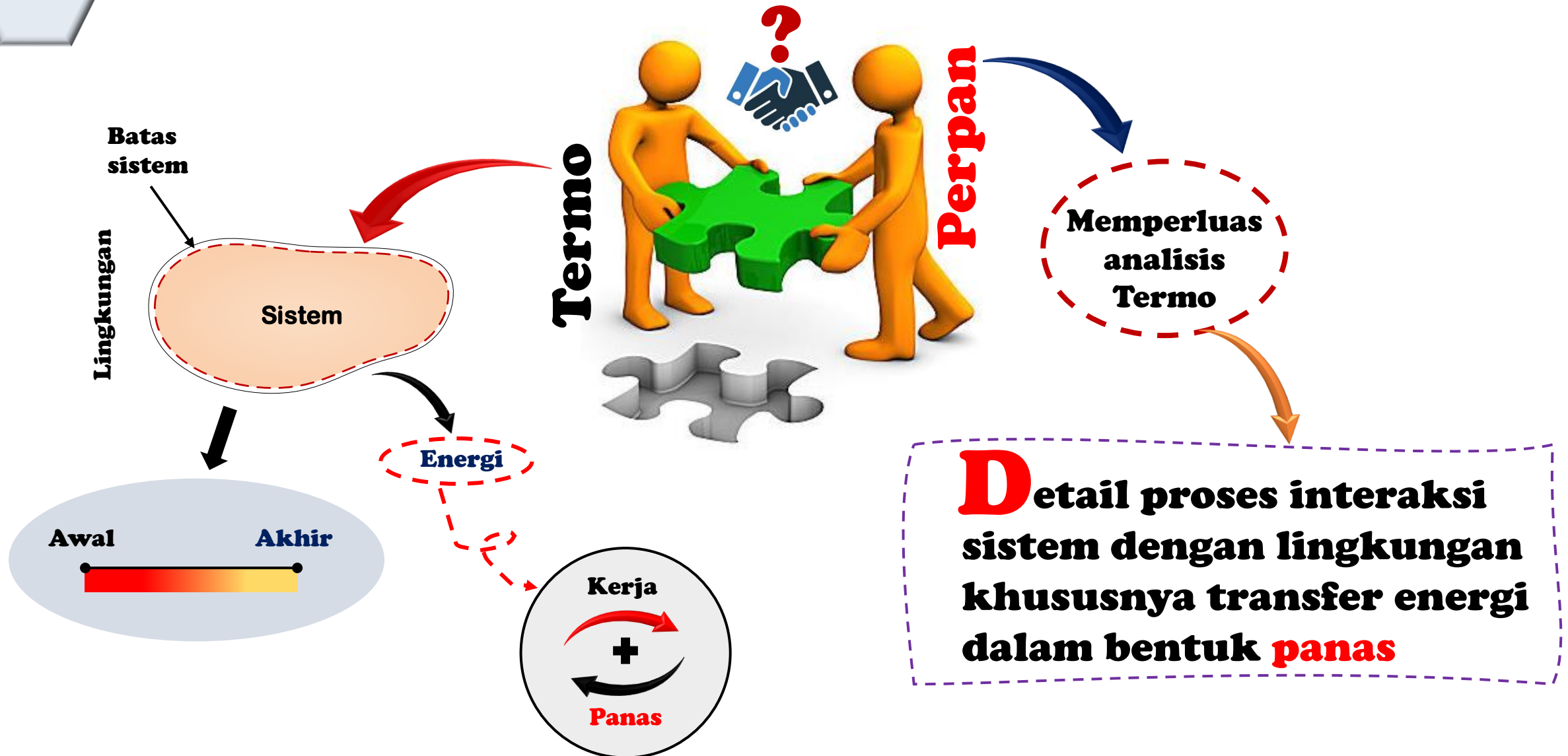


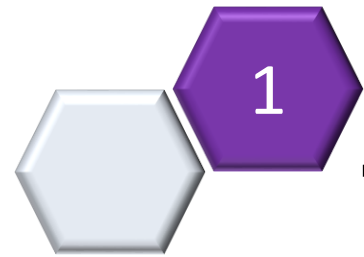
Dasar-dasar perpindahan panas steady satu dimensi secara konduksi, konveksi dan radiasi.



1

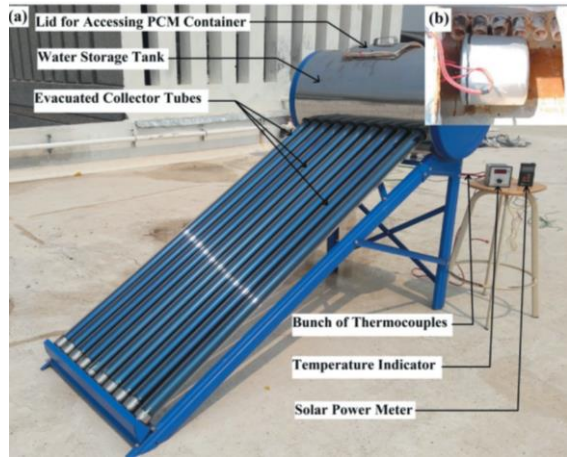
Aspek umum perpindahan panas yang berhubungan dengan termodinamika





Aspek umum perpindahan panas yang berhubungan dengan termodinamika

APLIKASI



Parameter terkait

Thermophysical Properties of Matter¹

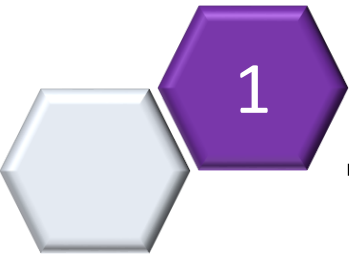
Table	Page
A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids	983
A.2 Thermophysical Properties of Selected Nonmetallic Solids	987
A.3 Thermophysical Properties of Common Materials	989
Structural Building Materials	989
Insulating Materials and Systems	990
Industrial Insulation	991
Other Materials	993
A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure	995
A.5 Thermophysical Properties of Saturated Fluids	1000
Saturated Liquids	1000
Saturated Liquid–Vapor, 1 atm	1002
A.6 Thermophysical Properties of Saturated Water	1003
A.7 Thermophysical Properties of Liquid Metals	1005
A.8 Binary Diffusion Coefficients at One Atmosphere	1006
A.9 Henry’s Constant for Selected Gases in Water at Moderate Pressure	1007

TABLE A.1 Thermophysical Properties of Selected Metallic Solids^a

Composition	Melting Point (K)	Properties at Various Temperatures (K)												
		Properties at 300 K				k (W/m · K)/ c_p (J/kg · K)								
		ρ (kg/m ³)	c_p (J/kg · K)	k (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	100	200	400	600	800	1000	1200		
Aluminum														
Pure	933	2702	903	237	97.1	302	237	240	231	218				
						482	798	949	1033	1146				
Alloy 2024-T6 (4.5% Cu, 1.5% Mg, 0.6% Mn)	775	2770	875	177	73.0	65	163	186	186					
						473	787	925	1042					
Alloy 195, Cast		2790	883	168	68.2			174	185					

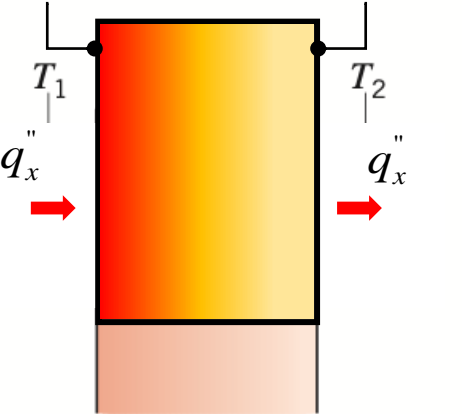
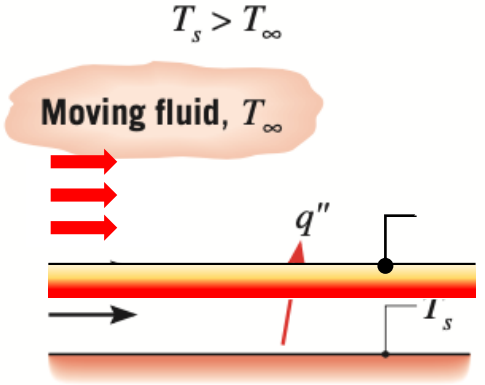
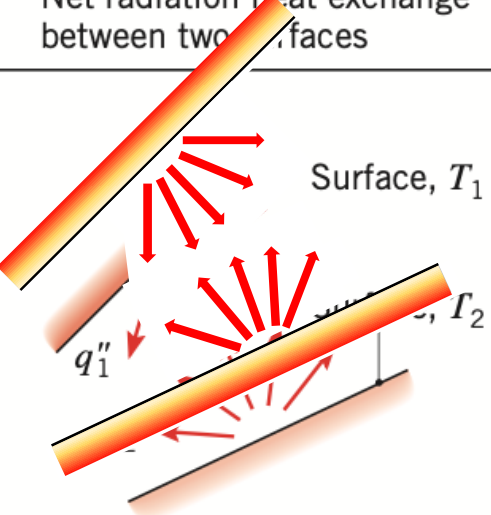
TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air, $\mathcal{M} = 28.97$ kg/kmol							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707



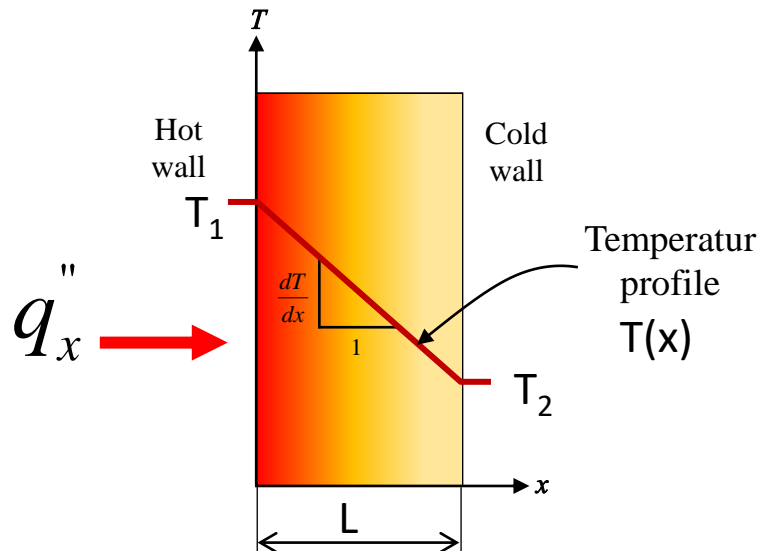
Aspek umum perpindahan panas yang berhubungan dengan termodinamika

Apa Itu panas?

Conduction through a solid or a stationary fluid	Convection from a surface to a moving fluid	Net radiation heat exchange between two surfaces
		

PERPINDAHAN PANAS KONDUKSI

- **Persamaan laju dapat digunakan untuk menghitung jumlah panas yang ditransfer:**
 - Untuk konduksi: Hukum Fourier
- **Untuk dinding 1-dimensi dengan distribusi temperatur $T(x)$**



$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (1.1)$$

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L}$$

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = k \frac{\Delta T}{L} \quad (1.2)$$



Baron Jean Baptiste Joseph Fourier
(1768–1830)

Material	Thermal conductivity (k) (W/mK)	Material	Thermal conductivity (k) (W/mK)
1. <i>Silver</i>	410	8. <i>Asbestos sheet</i>	0.17
2. <i>Copper</i>	385	9. <i>Ash</i>	0.12
3. <i>Aluminium</i>	225	10. <i>Cork, felt</i>	0.05 – 0.10
4. <i>Cast iron</i>	55–65	11. <i>Saw dust</i>	0.07
5. <i>Steel</i>	20–45	12. <i>Glass wool</i>	0.03
6. <i>Concrete</i>	1.20	13. <i>Water</i>	0.55 – 0.7
7. <i>Glass (window)</i>	0.75	14. <i>Freon</i>	0.0083



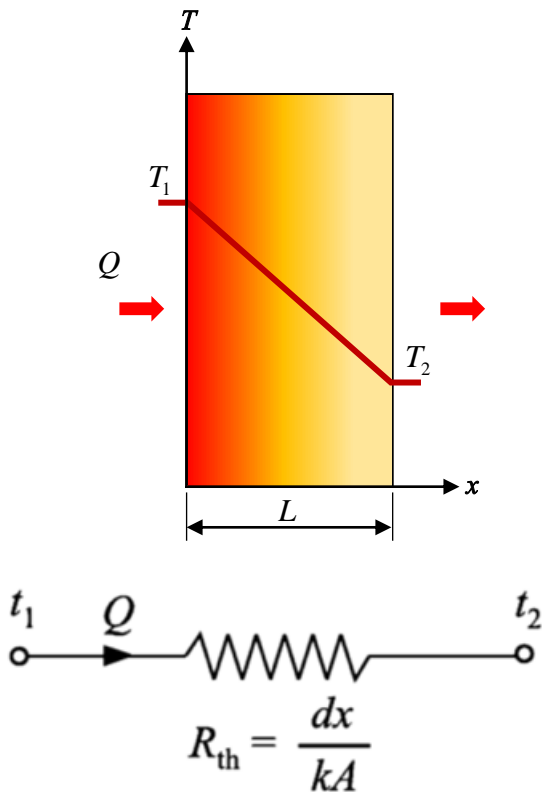
Tahanan Termal (Thermal Resistance, R_{th})

- Analogi Hukum Ohm (electric circuit theory):

$$\text{Arus } (I) = \frac{\text{Beda potensial } (dV)}{\text{Tahanan listrik } (R)}$$

$$\text{Laju aliran panas } (Q) = \frac{\text{Beda temperatur } (dt)}{(dx/kA)}$$

$$(dx/kA) = \text{tahanan termal konduksi } (R_{th})_{\text{kond}}$$



PERPINDAHAN PANAS KONDUKSI

Contoh 1.1:

Hitunglah laju perpindahan panas per satuan luas melalui plat tembaga dengan ketebalan 45 mm, dimana temperatur salah satu permukaan 350 °C dan permukaan yang lain 50 °C. Konduktivitas termal tembaga 370 W/m°C.

Penyelesaian:

Dik: $dT = (T_2 - T_1) = (50 - 350)$

$L = 45 \text{ mm} = 0,045 \text{ m}$

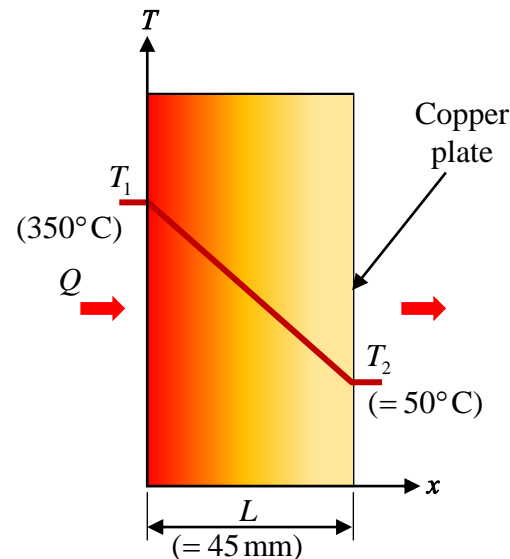
$k = 370 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Dit: $Q/A \dots ?$

Pers, dasar:

$$Q = -kA \frac{dT}{dx} = -kA \frac{T_2 - T_1}{L}$$

Skema:



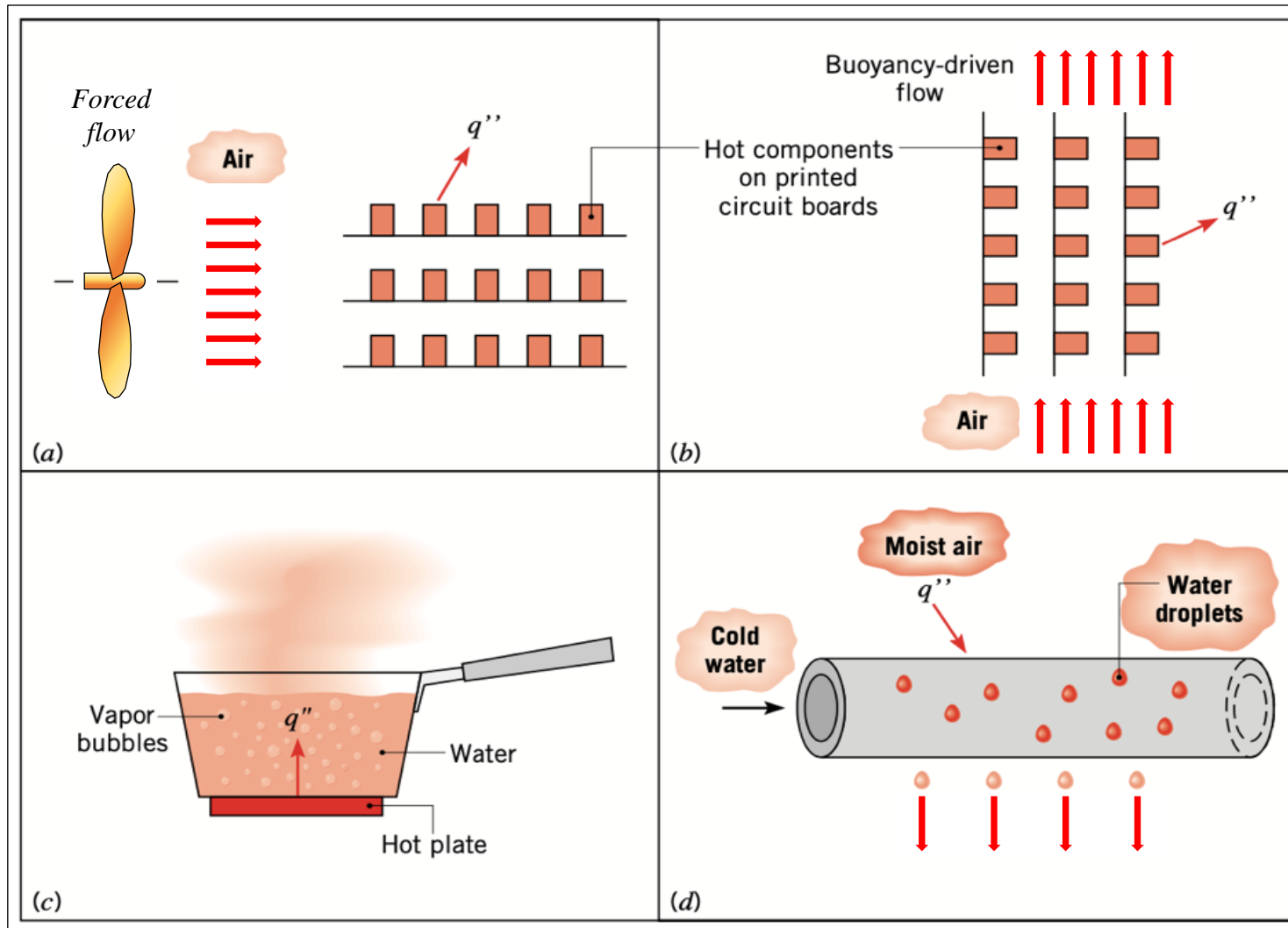
Hasil:

$$\begin{aligned} q_x'' &= \frac{Q}{A} = -k \frac{dT}{dx} \\ &= -370 \times \frac{(50 - 350)}{0,045} \\ &= 2,466 \times 10^6 \text{ W/m}^2 \text{ or } 2,466 \text{ MW/m}^2 \end{aligned}$$

PERPINDAHAN PANAS KOVEKSI

- **Dapat diklasifikasikan berdasarkan kondisi aliran fluida:**
 - Konveksi paksa: aliran fluida dibangkitkan dari luar (fan, pompa ataupun gerakan angin atmosfer)
 - Konveksi alami (bebas): aliran fluida karena gaya apung (buoyancy force)
 - Pendidihan dan kondensasi: selain panas sensible (energi dalam) juga terdapat panas laten karena perubahan fasa.
- **Konveksi gabungan paksa dan alami: jika kecepatan fluida karena pengaruh dari luar hampir sama or mirip dibanding kecepatan karena pengaruh gaya apung**

JENIS - JENIS PANAS KOVEKSI



Proses perpindahan panas konveksi:

- Konveksi Paksa Force Convection
- Konveksi Alami (Natural Convection)
- Pendidihan (Boiling)
- Kondensasi (Condensation)

PERPINDAHAN PANAS KOVEKSI

- **Persamaan laju perpindahan panas konveksi mengikuti hukum pendinginan Newton:**

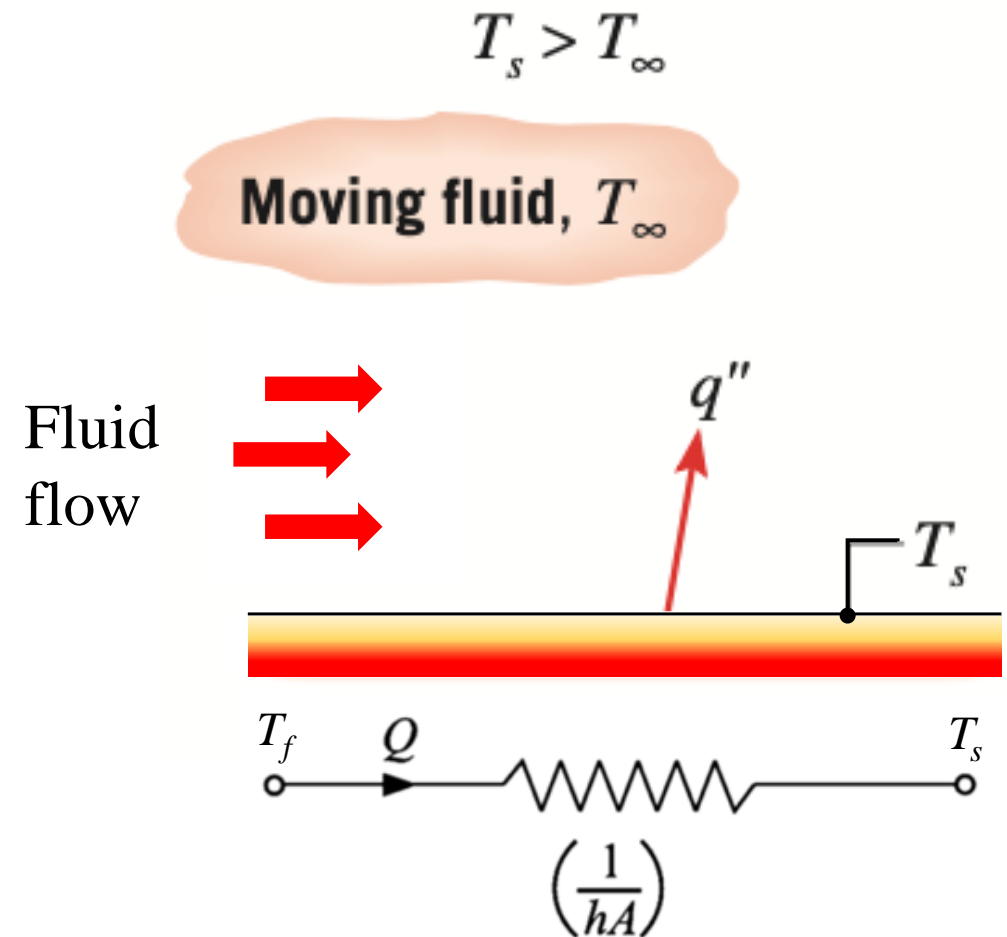
$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (1.3)$$

○ h = koefisien konveksi (W/m²K)

- **Persamaan (1.3) dapat ditulis juga dengan:**

$$q'' = h(T_\infty - T_s)$$

- **Nilai h tergantung pada kondisi lapisan batas yang dipengaruhi oleh geometri permukaan, gerakan fluida, sifat-sifat termodinamika dan transport (k)**

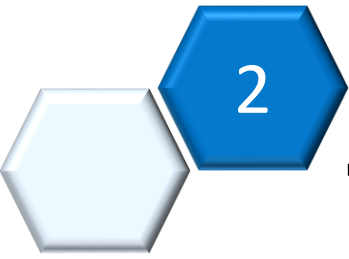


PERPINDAHAN PANAS KOVEKSI

TABLE 1.1 Typical values of the convection heat transfer coefficient

Process	h (W/m ² · K)
Free convection	
Gases	2–25
Liquids	50–1000
Forced convection	
Gases	25–250
Liquids	100–20,000
Convection with phase change	
Boiling or condensation	2500–100,000





Dasar-dasar perpindahan panas steady satu dimensi secara konduksi, konveksi dan radiasi.

Contoh 1.4:

Suatu plat panas yang berukuran $1\text{ m} \times 1,5\text{ m}$ bertemperatur $300\text{ }^\circ\text{C}$. Udara yang mempunyai temperatur $20\text{ }^\circ\text{C}$ dihembuskan di atas plat. Jika koefisien perindahan panas konveksi $20\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$, hitunglah laju perpindahan panas.

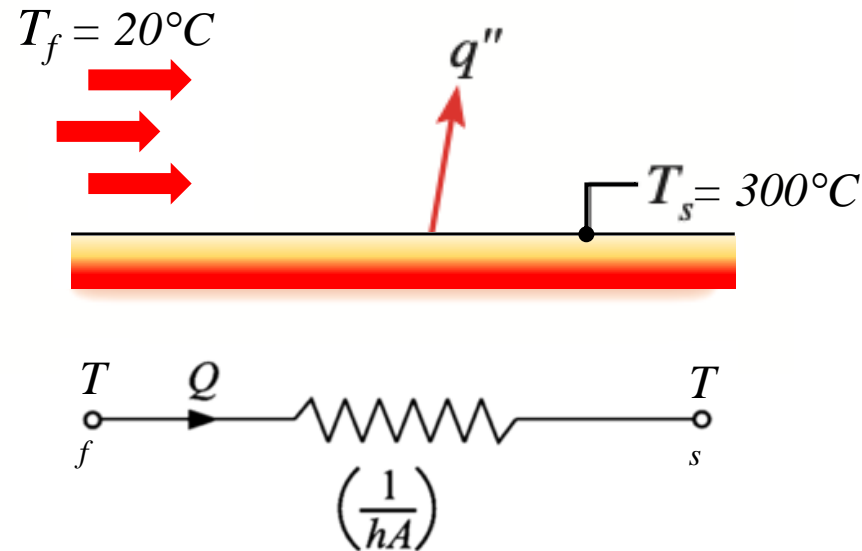
Penyelesaian:

Dik:

$A = 1 \times 1,5 = 1,5\text{ m}^2$, $t_s = 300\text{ }^\circ\text{C}$, $t_f = 20\text{ }^\circ\text{C}$, $h = 20\text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}$.

PERPINDAHAN PANAS KOVEKSI

Skema:



Pers. dasar:

$$Q = hA (T_s - T_f)$$

Hasil:

$$Q = 20 \times 1,5 (300 - 20) = 8400\text{ W}$$

atau 8,4 kW

PERPINDAHAN PANAS RADIASI

- **Radiasi termal adalah energi yang dipancarkan oleh suatu zat yang mempunyai temperatur di atas 0 K.**
 - Fasa padat, cair dan gas
- **Pancaran atau emisi radiasi dihubungkan dengan perubahan konfigurasi electron dari atom atau molekul suatu zat**
 - Dilakukan oleh gelombang elektromagnetik (photon)
- **Radiasi tidak memerlukan medium antara**

PERPINDAHAN PANAS RADIASI

- **Radiasi yang dipancarkan suatu permukaan berasal dari energi termal zat yang dibatasi oleh permukaan tersebut.**

- Daya emisi (E)

- **Daya emisi mengikuti hukum Stefan Boltzmann**

- Emisi maksimum (radiator ideal, blackbody):

$$E_b = \sigma T_s^4$$

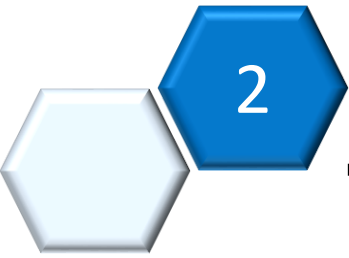
- T_s adalah temperature absolut permukaan
- σ adalah konstanta Stefan Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$ (1.4)

- **Radiasi oleh permukaan sebenarnya (aktual)**

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4$$

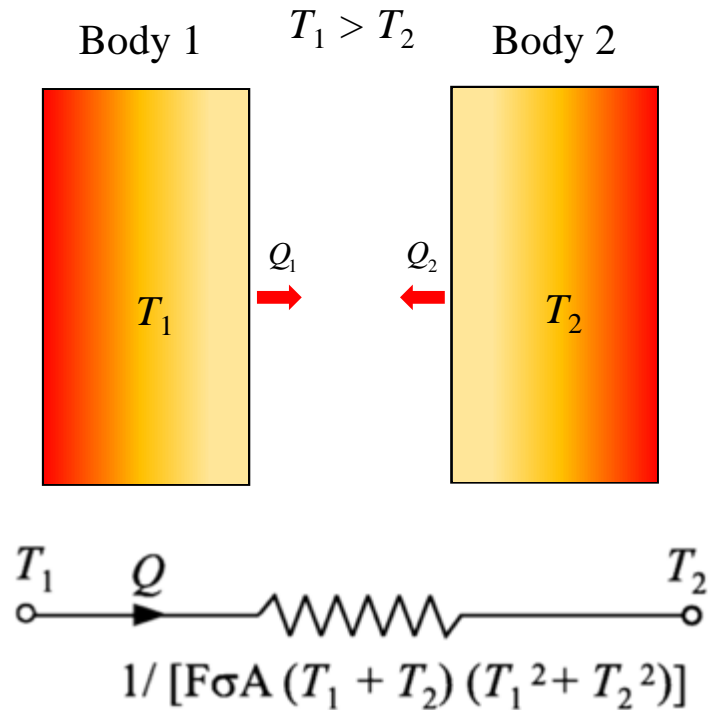
- **ε adalah emisivitas permukaan: ukuran seberapa efektif suatu permukaan memancarkan radiasi relatif terhadap blackbody**

$$0 \leq \varepsilon \leq 1$$



Dasar-dasar perpindahan panas steady satu dimensi secara konduksi, konveksi dan radiasi.

PERPINDAHAN PANAS RADIASI



- Hukum Stefan-Boltzmann

$$Q \approx T^4$$

$$Q = F \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

Dimana:

F = Faktor yang tergantung dari sifat geometri dan permukaan.

σ = Konstanta Stefan-Boltzmann
 $= 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$

A = luas, m^2

T_1, T_2 = temperatur, K

$$Q = \frac{T_1 - T_2}{1/[F \sigma A (T_1 + T_2) (T_1^2 + T_2^2)]}$$

$$(R_{\text{th}})_{\text{rad}} = 1/[F \sigma A (T_1 + T_2) (T_1^2 + T_2^2)]$$

PERPINDAHAN PANAS RADIASI

Contoh 1.3:

Suatu permukaan mempunyai luas $1,5 \text{ m}^2$ dan dipertahankan pada temperature $300 \text{ }^\circ\text{C}$ dimana terjadi perpindahan panas karena radiasi dengan permukaan lain pada $40 \text{ }^\circ\text{C}$. Faktor karena bentuk geometri dan emisivitas $0,52$, tentukanlah:

- (i) Kerugian panas akibat radiasi
- (ii) Tahanan termal
- (iii) Koefisien konveksi

Penyelesaian:

$$A = 1,5 \text{ m}^2, T_1 = t_1 + 273 = 573 \text{ K}, T_2 = t_2 + 273 = 313 \text{ K},$$

$$F = 0,52$$

(i) Heat lost by radiation, Q :

$$Q = F \sigma A (T_1^4 - T_2^4)$$

(where $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$)

or,

$$Q = 0.52 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 1.5 [(573)^4 - (313)^4]$$

$$= 0.52 \times 5.67 \times 1.5 \left[\left(\frac{573}{100} \right)^4 - \left(\frac{313}{100} \right)^4 \right]$$

(Please note this step)

or,

$$Q = 4343 \text{ W}$$

(ii) The value of thermal resistance, $(R_{th})_{rad}$:

We know that,

$$Q = \frac{(T_1 - T_2)}{(R_{th})_{rad}}$$

$$\therefore (R_{th})_{rad} = \frac{(T_1 - T_2)}{Q} = \frac{(573 - 313)}{4343} = \mathbf{0.0598 \text{ } ^\circ\text{C/W}}$$

(iii) The value of equivalent convection coefficient, h_r :

$$Q = h_r A (t_1 - t_2)$$

or,

$$h_r = \frac{Q}{A (t_1 - t_2)} = \frac{4343}{1.5 (300 - 40)} = \mathbf{11.13 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

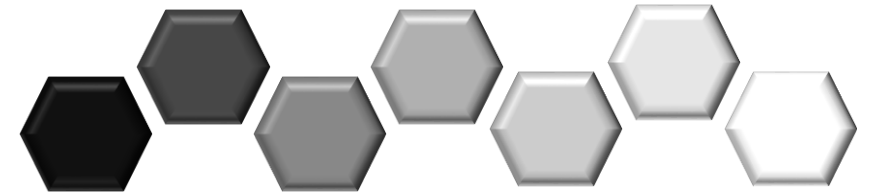
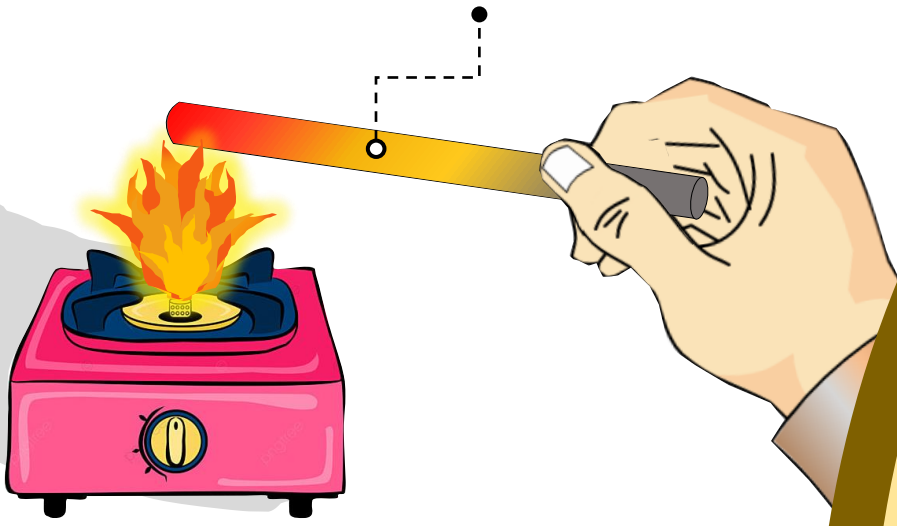
Alternatively,

$$\begin{aligned} h_r &= F \sigma (T_1 + T_2) (T_1^2 + T_2^2) && \dots \text{From eqn. (1.10)} \\ &= 0.52 \times 5.67 \times 10^{-8} (573 + 313) (573^2 + 313^2) \\ &= \mathbf{11.13 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}} \end{aligned}$$



**Kampus
Merdeka**
INDONESIA JAYA

KONDUKSI



 **FAKULTAS TEKNIK**
Universitas Pattimura

TERIMA KASIH

SELAMAT BELAJAR