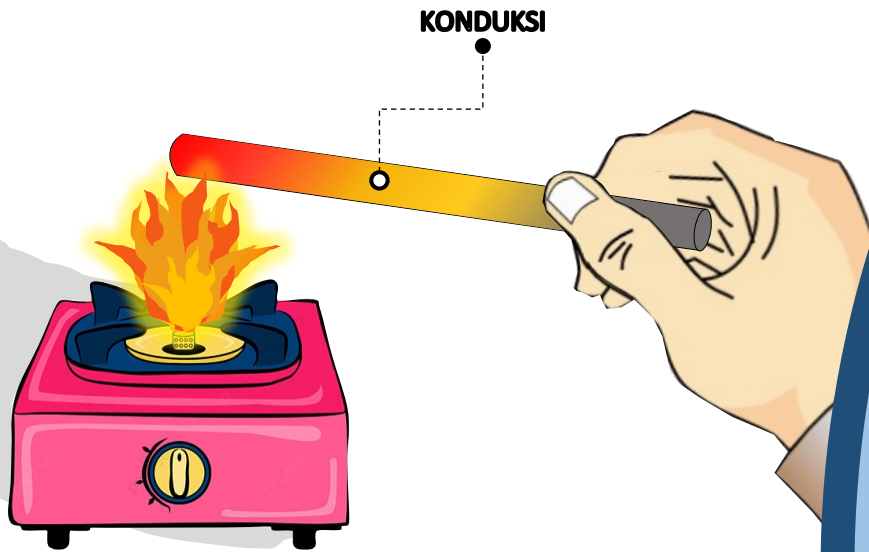




**Kampus  
Merdeka**  
INDONESIA JAYA

# KONDUKSI PANAS DENGAN SUMBER PANAS INTERNAL



## DAFTAR POKOK BAHASAN



Ketebalan kritis insulasi



Konduksi panas dengan pembangkitan panas internal.



Perpindahan panas untuk permukaan yang diperluas/ extended surfaces (sirip/fin).



**FAKULTAS TEKNIK**  
Universitas Pattimura

**SPEAKER**

## Insulasi Termal

- Insulasi termal umumnya digunakan untuk menurunkan atau mengurangi laju perpindahan panas.
- Material insulasi termal memiliki nilai konduktivitas panas yang rendah.
- Pada bidang datar, penambahan lapisan insulasi selalu menurunkan laju perpindahan panas →  $q_x'' = -k \frac{dT}{dx}$
- Pada silinder dan bola, penambahan lapisan insulasi dapat meningkatkan maupun menurunkan laju perpindahan panas

# Ketebalan kritis insulasi (Critical Thickness of Insulation)

## Silinder terisolasi

- Persamaan perpindahan panas untuk silinder terisolasi

$$Q = \frac{\Delta T}{R_{th,tot}} = \frac{\Delta T}{R_k + R_c} = \frac{T_i - T_f}{\left( \frac{\ln(r_o / r_i)}{2\pi k L} \right) + \left( \frac{1}{r_o h_c} \right)}$$

- Ketebalan optimum insulasi berkaitan dengan jari-jari ( $r$ ) untuk memperoleh laju perpindahan panas minimum atau tahanan termal ( $R$ ) maksimum

- Untuk menentukan jari-jari insulasi dimana  $q$  minimum, digunakan persamaan:

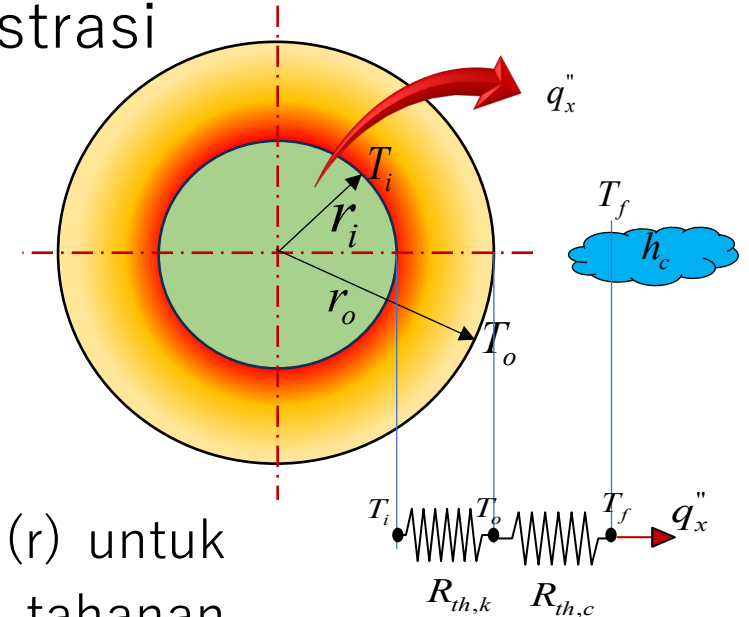
$$\frac{dq}{dr_o} = 0$$

- Dari penyelesaian turunan di atas, diperoleh:

$$r_o = \frac{k}{h} = r_c$$

Dimana:  $r_c$  merupakan jari-jari isolasi kritis

- Ilustrasi



## **Ketebalan kritis insulasi (Critical Thickness of Insulation)**

---

- Apabila nilai  $r_c > r_o$ , maka perpindahan panas akan meningkat dengan penambahan tebal insulasi.
- Kondisi ini diinginkan misalnya pada aliran arus listrik melalui kabel, dimana penambahan insulasi akan membantu perpindahan panas yang terdisipasi di dalam kabel ke lingkungan sekitar.
- Apabila nilai  $r_c < r_o$ , maka perpindahan panas akan menurun dengan penambahan tebal insulasi.
- Kondisi ini diinginkan misalnya pada aliran uap didalam pipa, dimana penambahan insulasi akan mengurangi perpindahan panas yang hilang ke lingkungan sekitar.

- Insulasi (*insulation*) adalah suatu material yang dapat menghambat laju aliran panas secara efektif.
- Aplikasi: ketel dan pipa uap; sistem *air conditioning*, tempat penyimpanan makanan dan refrigerator; dapur pembakaran (*furnaces*); preservasi cairan dan gas.
- Faktor-faktor yang mempengaruhi konduktivitas termal ( $k$ ) insulator:
  - a. temperatur
  - b. densitas atau massa jenis
  - c. arah aliran panas
  - d. tekanan udara
  - e. konveksi pada insulator

# Ketebalan kritis insulasi (Critical Thickness of Insulation)

## Contoh 9.

Aplikasi pemanas elektrik menggunakan kawat yang berdiameter 2 mm dengan tebal insulasi 0,8 mm panas ( $h_o$ ) pada permukaan insulasi  $35 \text{ W/m}^2\text{C}$  ( $k = 0,12 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ). Koefisien perpindahan. Hitunglah ketebalan kritis insulasi pada kasus ini dan presentase perubahan laju perpindahan panas jika ketebalan kritis digunakan, dimana diasumsikan perbedaan temperatur antara permukaan kawat dengan udara sekitar tidak berubah.

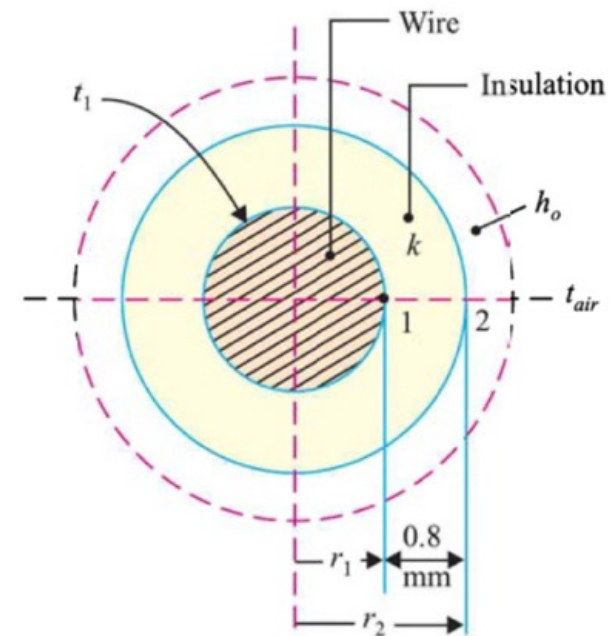
*Dik:*

$$r_1 = \frac{2}{2} = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$$

$$r_2 = 1 + 0.8 = 1.8 \text{ mm} = 0.0018 \text{ m}$$

$$k = 0.12 \text{ W/m}^\circ\text{C}, h_o = 35 \text{ W/m}^2\text{C}.$$

*Skema:*



1

## **Ketebalan kritis insulasi (Critical Thickness of Insulation)**

*Penyelesaian:*

Ketebalan kritis insulasi:

$$r_c = \frac{k}{h_0} = \frac{0.12}{35} = 3.43 \times 10^{-3} \text{ m or } 3.43 \text{ mm.}$$

Persentase perubahan laju perpindahan panas:

- **Kasus I.** Laju aliran panas melalui kawat terinsulasi.

$$Q_1 = \frac{2\pi L(t_1 - t_{air})}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{k} + \frac{1}{h_0 \cdot r_2}} = \frac{2\pi L(t_1 - t_{air})}{\frac{\ln L(0.0018/0.001)}{0.12} + \frac{1}{35 \times 0.0018}} = \frac{2\pi L(t_1 - t_{air})}{20.77}$$

## Ketebalan kritis insulasi (Critical Thickness of Insulation)

*Penyelesaian:*

- **Kasus II.** Laju aliran panas melalui kawat terinsulasi, dimana ketebalan kritis digunakan.

$$Q_1 = \frac{2\pi L(t_1 - t_{air})}{\frac{\ln(r_2/r_1)}{k} + \frac{1}{h_0 \cdot r_2}} = \frac{2\pi L(t_1 - t_{air})}{\frac{\ln L(0.0018/0.001)}{0.12} + \frac{1}{35 \times 0.0018}} = \frac{2\pi L(t_1 - t_{air})}{20.77}$$

- Persentase peningkatan laju perpindahan panas dengan menggunakan ketebalan kritis insulasi.

$$= \frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \times 100 = \frac{\frac{1}{18.6} - \frac{1}{20.77}}{\frac{1}{20.77}} \times 100 = \mathbf{11.6\%}$$



# Ketebalan kritis insulasi (Critical Thickness of Insulation)

## 2. Ketebalan kritis insulasi pada bola

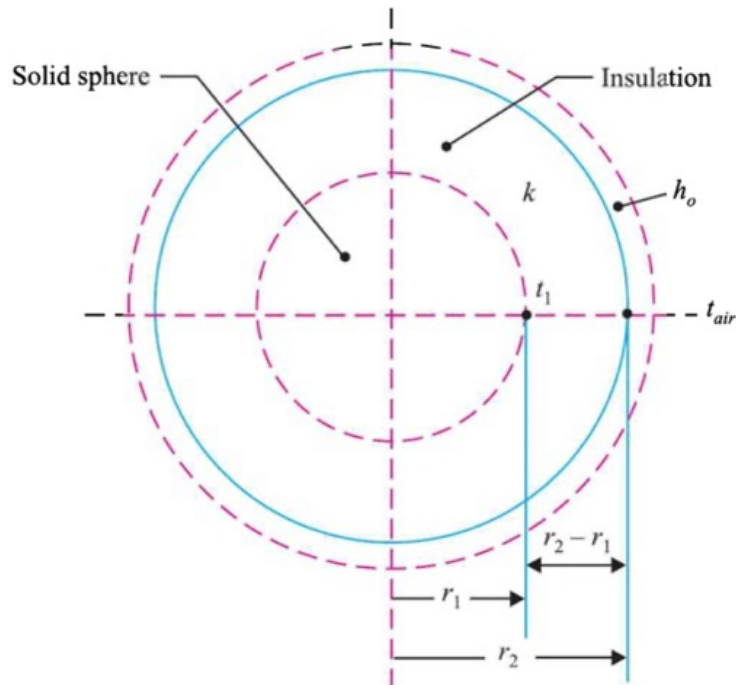


Fig. 2.87. Critical thickness of insulation for sphere.

$$Q = \frac{(t_1 - t_{air})}{\left[ \frac{r_2 - r_1}{4\pi k r_1 r_2} \right] + \frac{1}{4\pi r_2^2 \cdot h_o}}$$

$$\frac{d}{dr_2} \left[ \frac{r_2 - r_1}{4\pi k r_1 r_2} + \frac{1}{4\pi r_2^2 \cdot h_o} \right] = 0$$

$$\frac{d}{dr_2} \left[ \frac{1}{k r_1} - \frac{1}{k r_2} + \frac{1}{r_2^2 h_o} \right] = 0$$

$$\frac{1}{k r_2^2} - \frac{2}{r_2^3 h_o} = 0$$

$$r_2^3 h_o = 2k r_2^2$$

$$r_2 (= r_c) = \frac{2k}{h_o}$$

# Konduksi panas dengan pembangkitan panas internal

## 1. DINDING DATAR DENGAN SUMBER PANAS INTERNAL

- Konduksi panas pada jarak  $x$ :  $Q_x = -kA \frac{dt}{dx}$
- Panas yang dibangkitkan dalam elemen:  $Q_g = A \cdot dx \cdot q_g$   
dimana:  $q_g$  = panas yang dibangkitkan per satuan volume per satuan waktu dalam elemen.
- Konduksi panas yang keluar ( $x + dx$ ):
- $Q_g$  = peningkatan energi dalam elemen volume, kesetimbangan energi dalam elemen pada ketebalan  $dx$ :

$$Q_x + Q_g = Q_{(x+dx)}$$

$$= Q_x + \frac{d}{dx}(Q_x) dx$$

$$Q_g = \frac{d}{dx}(Q_x) dx$$

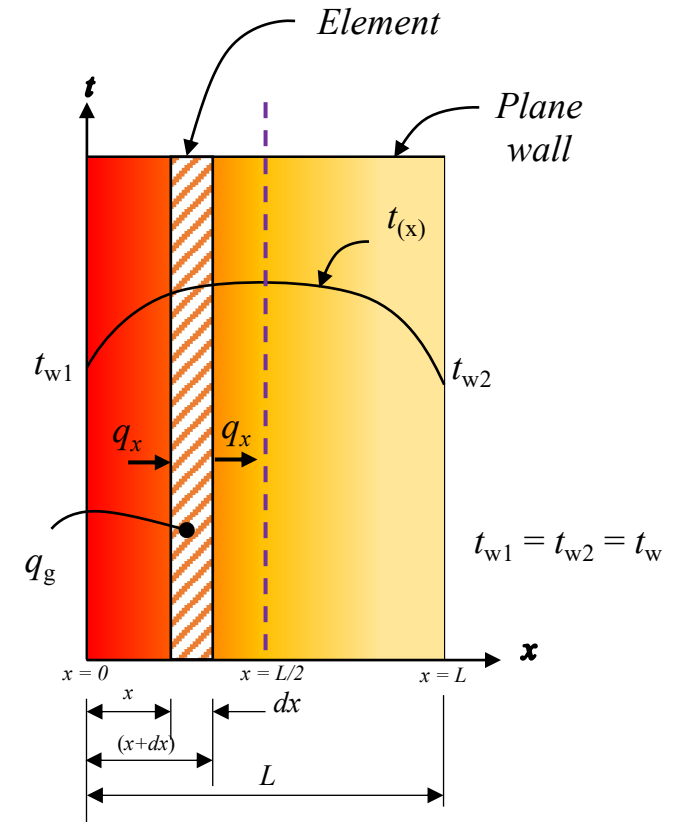
$$q_g \cdot A \cdot dx = \frac{d}{dx} \left[ -k A \frac{dt}{dx} \right] dx$$

$$= -k A \cdot \frac{d^2 t}{dx^2} \cdot dx$$

$$\frac{d^2 t}{dx^2} + \frac{q_g}{k} = 0$$

$$\frac{dt}{dx} = -\frac{q_g}{k} x + C_1$$

$$t = -\frac{q_g}{2k} \cdot x^2 + C_1 x + C_2$$



## Konduksi panas dengan pembangkitan panas internal

**Kasus I: Kedua permukaan mempunyai temperatur yang sama.**

(Lihat gambar di samping)

Pada  $x = 0$   $t = t_1 = t_w$  dan

Pada  $x = L$   $t = t_2 = t_w$  (dimana  $t_w$  = temperatur permukaan)

Dengan menggunakan kondisi batas, diperoleh:

$$C_2 = t_w \text{ and } C_1 = \frac{q_g}{2k} \cdot L$$

Subtitusikan nilai  $C_1$  dan  $C_2$ :

$$t = -\frac{q_g}{2k}x^2 + \frac{q_g}{2k} \cdot L \cdot x + t_w$$

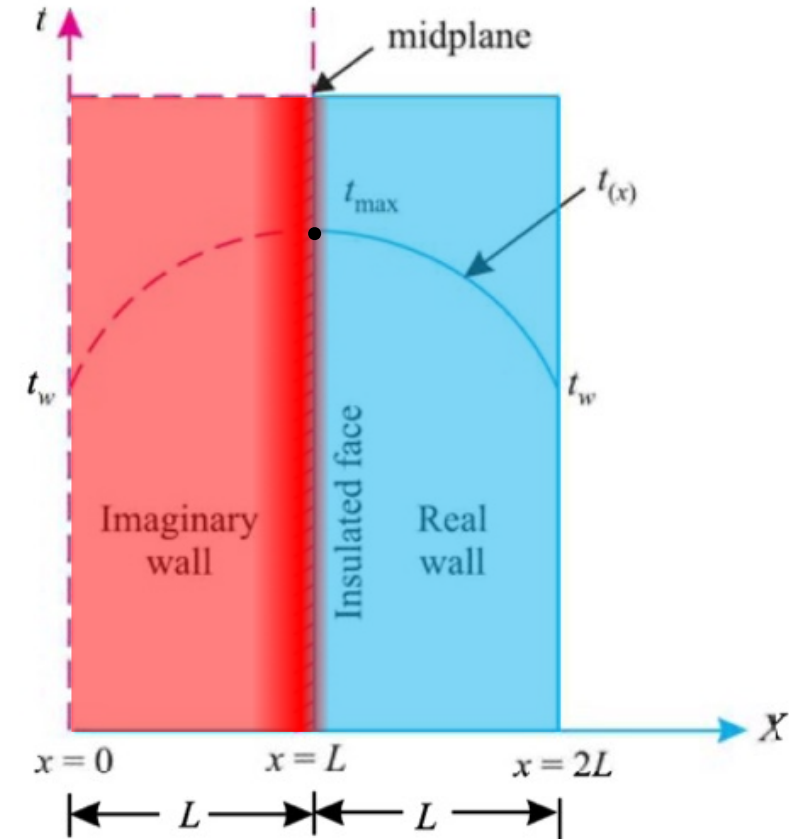
$$t = \frac{q_g}{2k}(L - x)x + t_w$$

Untuk menentukan letak temperatur maksimum, persamaan dideferensialkan:

$$\frac{dt}{dx} = \frac{q_g}{2k}(L - 2x) = 0$$

$$\frac{q_g}{2k} \neq 0, \text{ therefore,}$$

$$L - 2x = 0 \quad \text{or} \quad x = \frac{L}{2}$$



## Konduksi panas dengan pembangkitan panas internal

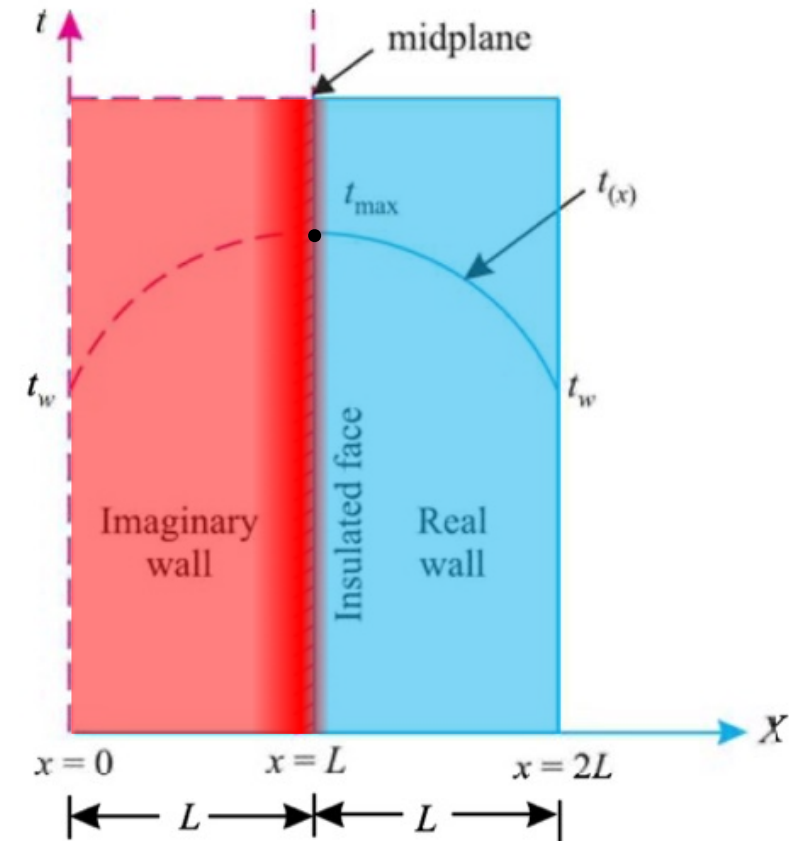
Distribusi temperatur adalah parabol dan simetris pada tengah.

Temperatur maksimum pada  $x = L/2$ :

$$t_{\max} = \left[ \frac{q_g}{2k} (L - x) x \right]_{x=\frac{L}{2}} + t_w = \left[ \frac{q_g}{2k} \left( L - \frac{L}{2} \right) \frac{L}{2} \right] + t_w = \frac{q_g}{8k} \cdot L^2 + t_w$$

Distribusi temperatur dan temperature maksimum pada tengah-tengah bidang:

$$t = \frac{q_g}{2k} (2L - x) x + t_w \qquad t_{\max} = \frac{q_g}{2k} L^2 + t_w$$



## Konduksi panas dengan pembangkitan panas internal

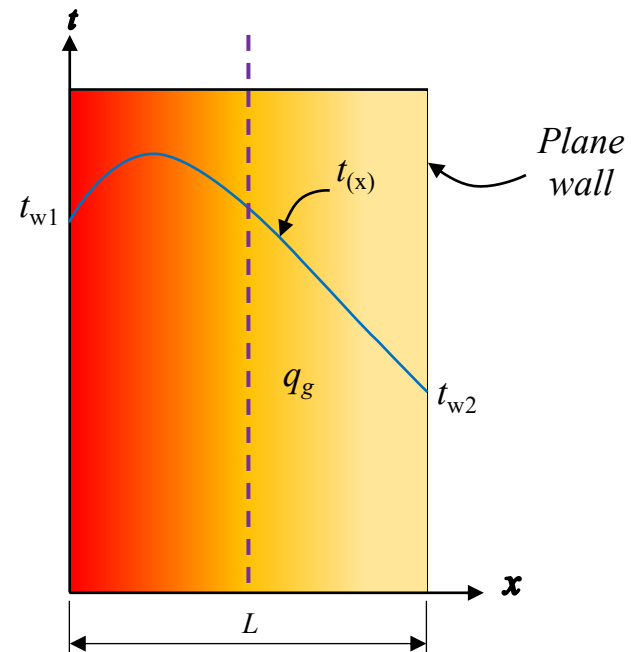
Kasus II: Kedua permukaan dinding mempunyai temperatur berbeda

$$\frac{t_{\max} - t_{w2}}{t_{w1} - t_{w2}} = \left[ 1 - \frac{Z - 1}{2Z} \right] \left[ Z \times \left( \frac{Z - 1}{2Z} \right) + 1 \right]$$

$$\frac{t_{\max} - t_{w2}}{t_{w1} - t_{w2}} = \left( \frac{Z + 1}{2Z} \right) \left( \frac{Z + 1}{2} \right)$$

$$= \frac{(Z + 1)^2}{4Z}$$

$$Z = \frac{q_g}{2k} \cdot \frac{L^2}{(t_{w1} - t_{w2})}$$



Plane wall with uniform heat generation—  
Both the surfaces of the wall having different  
temperatures.

## Konduksi panas dengan pembangkitan panas internal

### Kasus III: Arus listrik melalui konduktor

$$Q_g = I^2 R, \text{ where } R = \frac{\rho L}{A}$$

$I$  = Current flowing in the conductor,

$R$  = Electrical resistance,

$\rho$  = Specific resistance or resistivity,

$L$  = Length of the conductor, and

$A$  = Area of cross-section of the conductor.

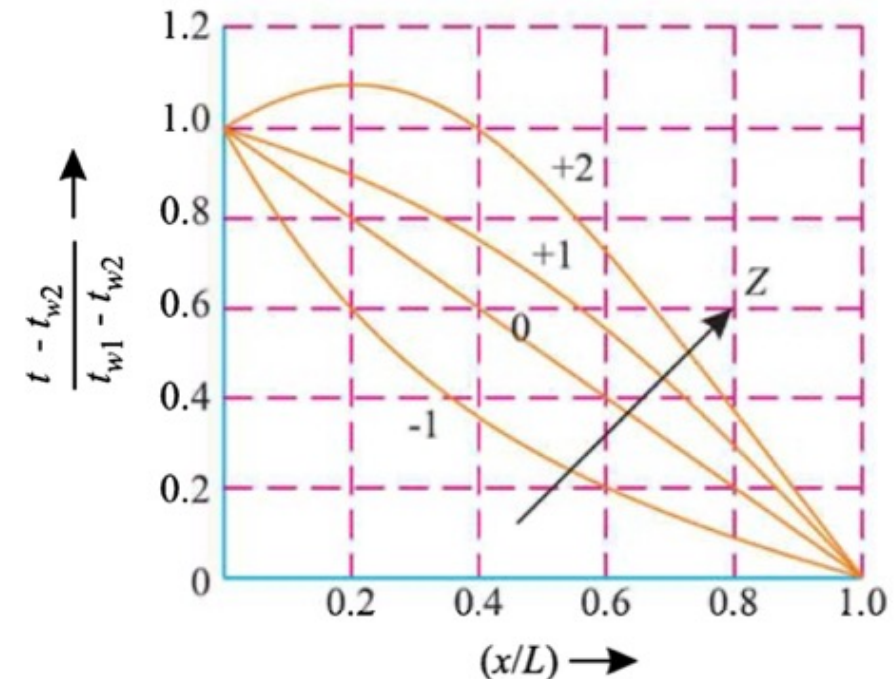
$$Q_g = q_g \times A \times L$$

$$q_g \times A \times L = I^2 \times \frac{\rho L}{A} \quad \text{or,} \quad q_g = I^2 \times \frac{\rho L}{A} \times \frac{1}{AL} = \frac{I^2 \rho}{A^2}$$

$$q_g = \left( \frac{I}{A} \right)^2 \rho = J^2 \rho = \frac{J^2}{k_e}$$

$J$  = Current density;

$k_e$  = Electrical conductivity (reciprocal of  $\rho$ ).



Effect of factor  $Z$  on the temperature distribution in the plane wall.

## Konduksi panas dengan pembangkitan panas internal

### Contoh 1:

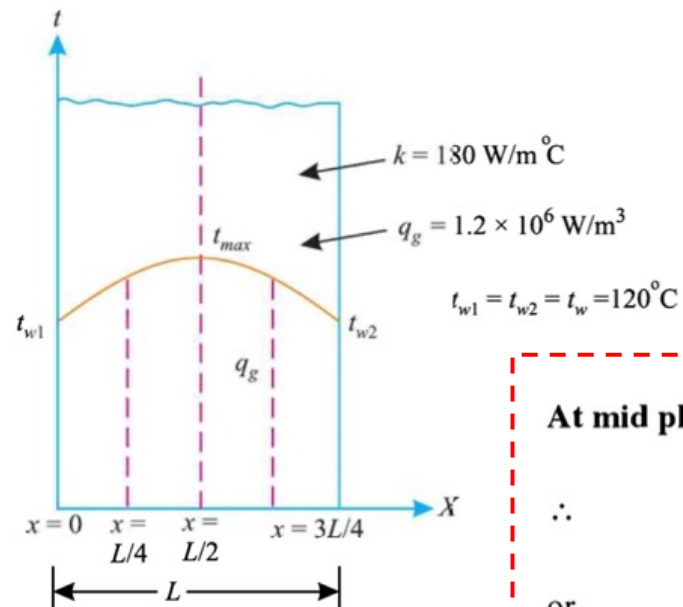
Panas yang ditimbulkan dalam suatu *slab* (papan) logam dengan ketebalan 160 mm ( $k = 180 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ) adalah  $1,2 \times 10^6 \text{ W/m}^3$ . Jika temperatur masing-masing permukaan slab adalah  $120^\circ\text{C}$ , hitunglah:

- Temperatur pada tengah dan seperempat bidang *slab*.
- Laju perpindahan panas dan gradien temperatur pada tengah dan seperempat bidang *slab*.

### Penyelesaian:

$L = 160 \text{ mm} = 0,16 \text{ m}$ ;  $q_g = 1,2 \times 10^6 \text{ W/m}^3$ ;  $k = 180 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ;  $t_1 = t_2 = 120^\circ\text{C}$ ;  $t_w = \text{temperatur permukaan dinding}$ .

Skema,



- Temperatur pada tengah dan seperempat bidang

**Distribusi temperatur:**

$$t = \frac{q_g}{2k}(L - x)x + t_w$$

At mid plane:  $x = \frac{L}{2}$

$\therefore$

$$t_{mp} = \frac{1.2 \times 10^6}{2 \times 180} \left( L - \frac{L}{2} \right) \times \frac{L}{2} + 120$$

or,

$$t_{mp} = \frac{1.2 \times 10^6}{2 \times 180} \left( 0.16 - \frac{0.16}{2} \right) \times \frac{0.16}{2} + 120 = 141.33^\circ\text{C (Ans.)}$$

## Konduksi panas dengan pembangkitan panas internal

At quarter planes :  $x = L/4$  and  $x = 3L/4$

$$\therefore t_{qp(x=L/4)} = \frac{1.2 \times 10^6}{2 \times 180} \left( L - \frac{L}{4} \right) \times \frac{L}{4} + 120$$

or, 
$$t_{qp(x=L/4)} = \frac{1.2 \times 10^6}{2 \times 180} \left( 0.16 - \frac{0.16}{4} \right) \times \frac{0.16}{4} + 120 = \mathbf{136^\circ C} \quad (\text{Ans.})$$

Similarly 
$$t_{qp(x=3L/4)} = \frac{1.2 \times 10^6}{2 \times 180} \left( L - \frac{3L}{4} \right) \times \frac{3L}{4} + 120 = \mathbf{136^\circ C} \quad (\text{Ans.})$$

- (ii) Laju perpindahan panas dan temperatur gradien pada tengah dan seperempat bidang untuk luas  $1 \text{ m}^2$ .

Heat flow : 
$$Q_{(x=L/2)} = q_g \times A \times x$$

$$= 12 \times 10^6 \times 1 \times (0.16/2) = \mathbf{96000 \text{ W/m}^2} \quad (\text{Ans.})$$

$$Q_{(x=L/4)} = 1.2 \times 10^6 \times 1 \times (0.16/4) = \mathbf{48000 \text{ W/m}^2} \quad (\text{Ans.})$$

Temperature gradients : 
$$Q = -kA \cdot \frac{dt}{dx} \quad \text{or} \quad \frac{dt}{dx} = -\frac{Q}{kA}$$

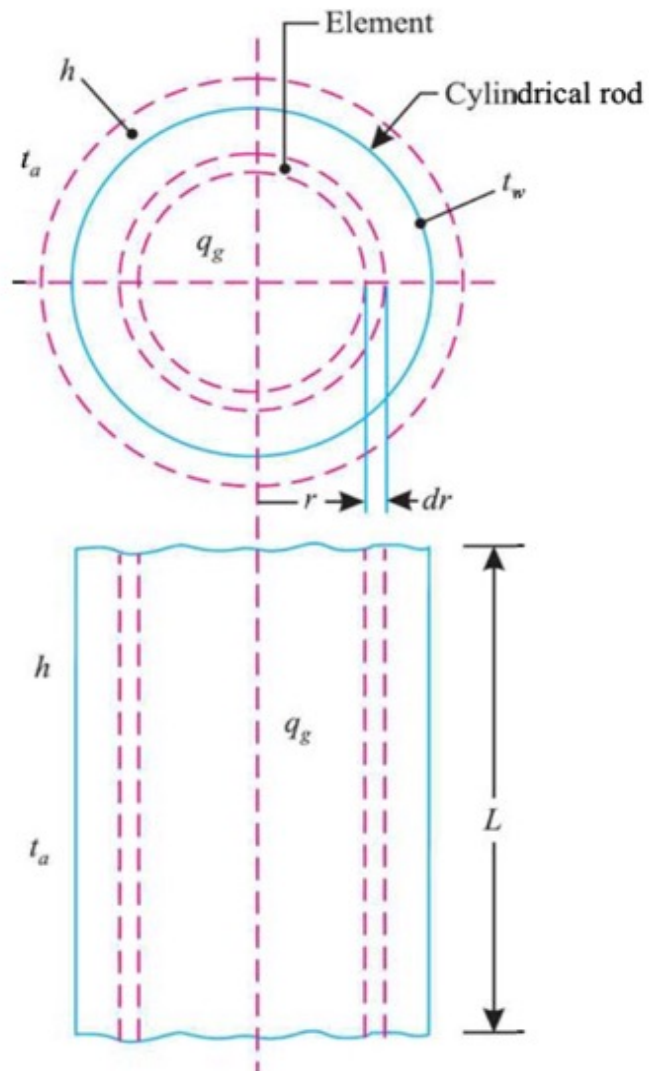
$$\left( \frac{dt}{dx} \right)_{x=L/2} = -\frac{96000}{180 \times 1} = \mathbf{-533.3^\circ C/m} \quad (\text{Ans.})$$

$$\left( \frac{dt}{dx} \right)_{x=L/4} = -\frac{48000}{180 \times 1} = \mathbf{-266.67^\circ C/m} \quad (\text{Ans.})$$



## Konduksi panas dengan pembangkitan panas internal

### 2. Silinder/pipa dengan sumber panas merata (uniform heat generation)



$R$  = jari-jari ;  $L$  = Panjang;  $k$  = konduktivitas termal;  
 $q_g$  = panas generasi volumetric seragam per satuan volume per satuan waktu;  
 $h$  = koefisien perpindahan panas,  
 $t_a$  = temperatur sekitarnya.

Distribusi temperatur:

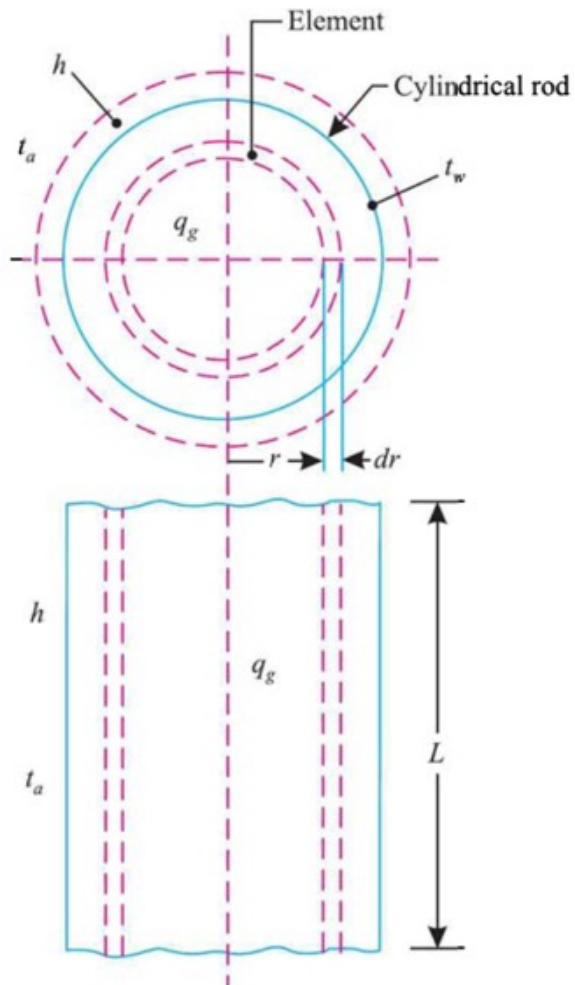
$$t = -\frac{q_g}{k} \cdot \frac{r^2}{4} + t_w + \frac{q_g}{k} \cdot \frac{R^2}{4}$$

$$t = t_w + \frac{q_g}{4k} [R^2 - r^2]$$

$$t_{\max} = t_w + \frac{q_g}{4k} \cdot R^2$$

## Konduksi panas dengan pembangkitan panas internal

### 2. Silinder/pipa dengan sumber panas merata (uniform heat generation)



$R$  = jari-jari ;  $L$  = Panjang;  $k$  =konduktivitas termal;

$q_g$  = panas generasi volumetric seragam per satuan volume per satuan waktu;  
 $h$  = koefisien perpindahan panas,  $t_a$  = temperatur sekitarnya.

Distribusi temperatur:

$$t = -\frac{q_g}{k} \cdot \frac{r^2}{4} + t_w + \frac{q_g}{k} \cdot \frac{R^2}{4}$$

$$t_{\max} = t_w + \frac{q_g}{4k} \cdot R^2$$

$$t = t_w + \frac{q_g}{4k} [R^2 - r^2]$$

Energi yang ditimbulkan (per satuan waktu) dan energi yang dilepaskan (per satuan waktu) dengan cara konveksi:

$$q_g \times (\pi R^2 \times L) = h \times 2\pi RL (t_w - t_a)$$

$$t_w = t_a + \frac{q_g}{2h} \cdot R$$

$$t_{\max} = t_a + \frac{q_g}{2h} \cdot R + \frac{q_g}{4k} \cdot R^2$$

$$t = t_a + \frac{q_g}{2h} \cdot R + \frac{q_g}{4k} [R^2 - r^2]$$

## Konduksi panas dengan pembangkitan panas internal

### Contoh 5:

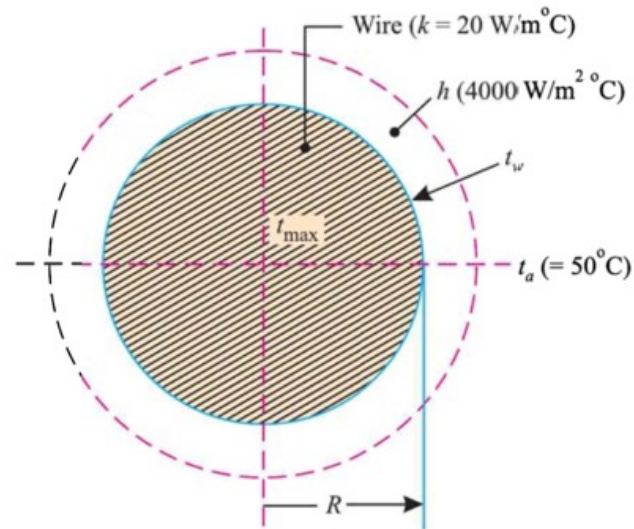
Arus listrik 300 Amper melalui kawat *stainless steel* berdiameter 2,5 mm dan  $k = 20 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . Hambatan pada kawat  $70 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$  dan panjang kawat 2 m. Jika kawat diletakkan di dalam fluida  $50^\circ\text{C}$  dan koefisien perpindahan panas konveksi pada permukaan kawat  $4000 \text{ W/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$ , hitunglah temperatur keadaan steady pada pusat dan permukaan kawat.

### Penyelesaian:

$L = 2 \text{ m}$ ;  $R = 2,5/2 = 1,25 \text{ mm} = 0,00125 \text{ m}$ ;  
 $k = 20 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ;  $I = 300 \text{ A}$ ; hambatan  $\rho = 70 \times 10^{-8} \Omega\text{m}$ ;  $t_a = 50^\circ\text{C}$

Temperatur pada permukaan kawat ( $t_w$ ) dan tengah-tengah kawat ( $t_{max}$ ):

### Skema;



### Pers. dasar;

Rate of heat generation,

$$Q_g = I^2 R_e = I^2 \times \frac{\rho L}{A}$$

(where  $R_e$  = electrical resistance)

### Penyelesaian;

$$\begin{aligned} q_g &= \frac{Q_g}{AL} = I^2 \times \frac{\rho L}{A} \times \frac{1}{AL} = \rho \left( \frac{I}{A} \right)^2 \\ &= 70 \times 10^{-8} \left[ \frac{300}{\pi \times 0.00125^2} \right]^2 \\ &= 26.14 \times 10^8 \text{ W/m}^3 \end{aligned}$$

Suhu pada permukaan kawat diberikan oleh

$$t_w = t_a + \frac{q_g}{2h} \cdot R \quad \dots[\text{Eqn. (2.111)}]$$

Atau

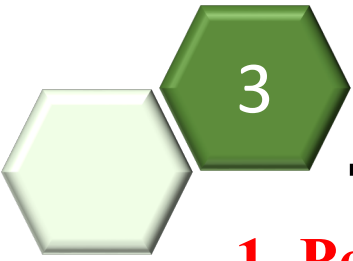
$$t_w = 50 + \frac{26.14 \times 10^8}{2 \times 4000} \times 0.00125 = \mathbf{458.44^\circ \text{C}} \quad (\text{Ans.})$$

Suhu di pusat kawat diberikan oleh

$$t_{\max} = t_w + \frac{q_g}{4k} \cdot R^2 \quad [\text{Eqn. (12.109)}]$$

atau

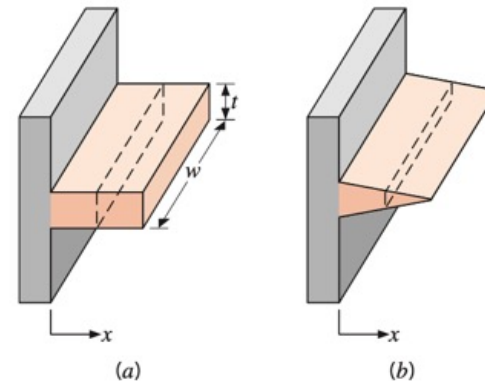
$$t_{\max} = 458.44 + \frac{26.14 \times 10^8}{4 \times 20} \times (0.00125)^2 = \mathbf{509.5^\circ \text{C}} \quad (\text{Ans.})$$



## Perpindahan panas untuk permukaan yang diperluas/ extended surface (sirip/fin).

### 1. Perpindahan panas dari Permukaan yang diperluas (sirip)

- Sirip atau fin atau permukaan yang diperluas diaplikasikan pada:
  - a. Ekonomiser untuk pembangkit tenaga uap.
  - b. Konvektor untuk sistem-sistem uap dan pemanas air.
  - c. Radiator mobil
  - d. Udara pendingin kepala silinder (cylinder head)
  - e. Transformer elektronik, dll.

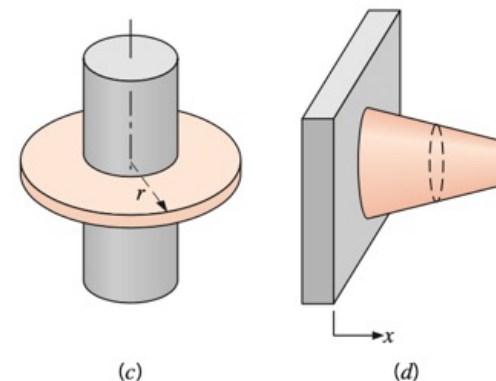


(a) Sirip lurus dengan penampang seragam.

(b) Sirip lurus dengan penampang tidak seragam.

(c) Sirip berbentuk lingkaran.

(d) sirip pin



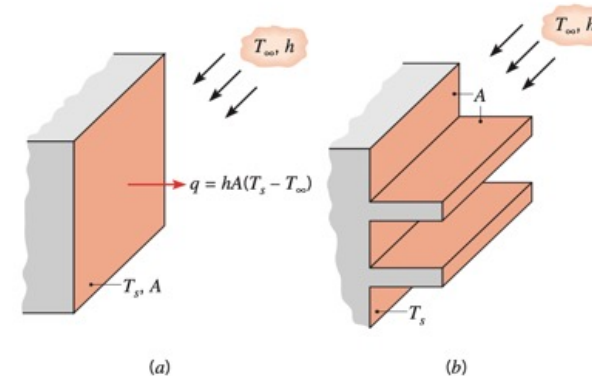
## Perpindahan panas untuk permukaan yang diperluas/ extended surface (sirip/fin).

Asumsi untuk menganalisa laju perpindahan panas melalui sirip (fin):

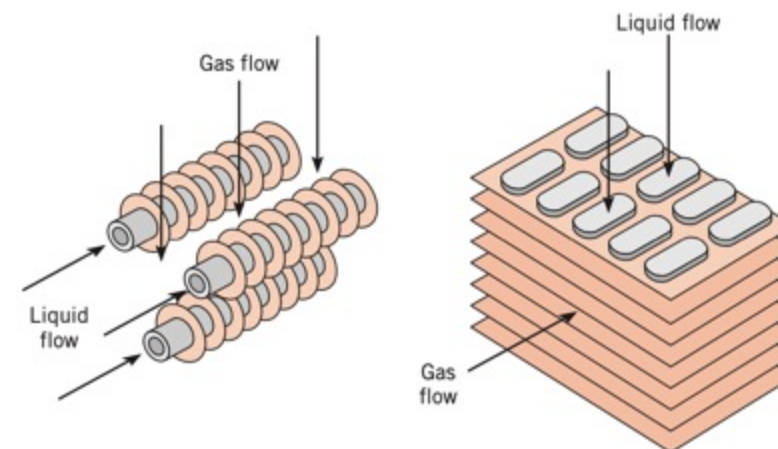
1. Konduksi panas keadaan steady.
2. Tidak ada panas yang ditimbulkan dalam fin.
3. Koefisien perpindahan panas yang sama pada permukaan fin.
4. Material fin homogen dan isotropic.
5. Tahanan termal kontak diabaikan.
6. Konduksi panas satu dimensi.
7. Radiasi diabaikan.

Penggunaan sirip untuk meningkatkan perpindahan panas dari dinding bidang.

(a) Permukaan telanjang. (b) Permukaan bersirip.

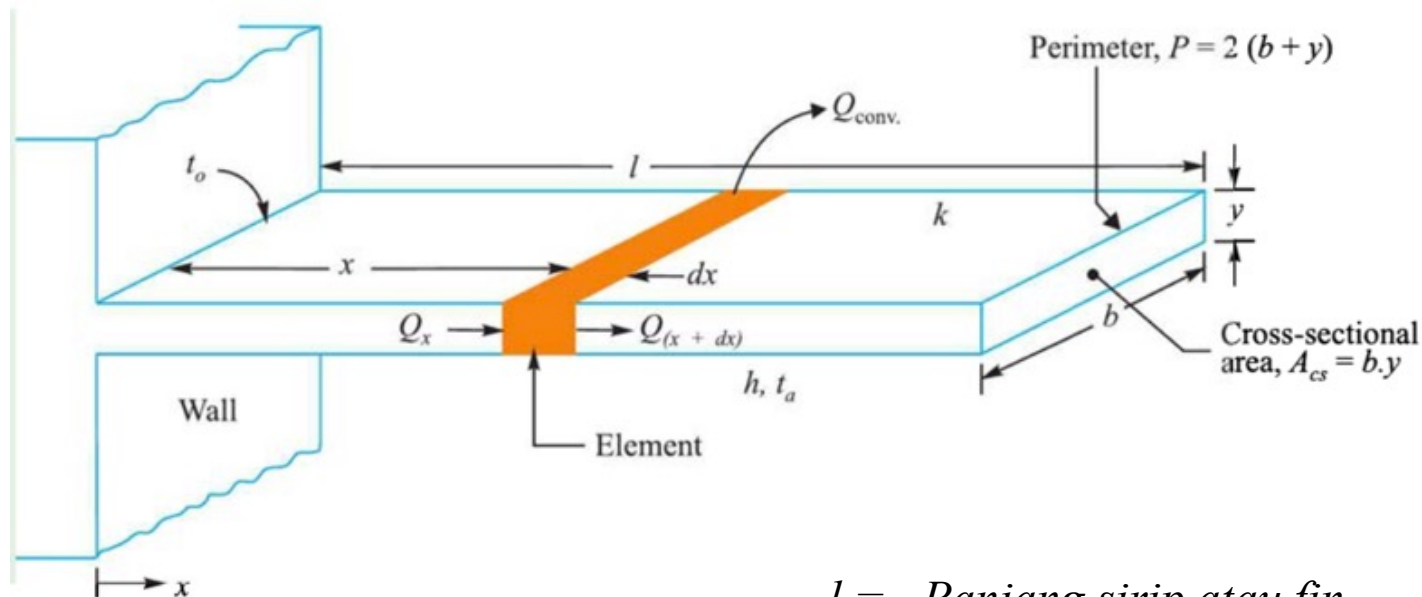


Skema penukar panas tabung bersirip yang khas.



## Perpindahan panas untuk permukaan yang diperluas/ extended surface (sirip/fin).

### Aliran Panas melalui Rectangular Fin



$A_{cs} =$  luas penampang ( $= by$ )

$t_o =$  temperatur bagian pangkal fin.

$t_a =$  temperatur lingkungan/ambient.

$k =$  konduktivitas termal

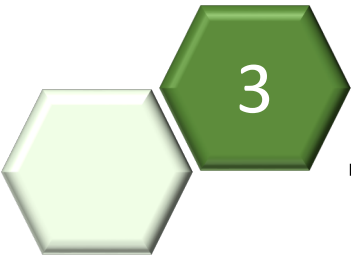
$h =$  koefisien perpindahan panas (konveksi)

$l =$  Panjang sirip atau fin  
(tegak lurus dari mana  
panas dilepaskan).

$b =$  lebar fin (parallel terhadap  
permukaan dari mana panas  
dilepaskan).

$y =$  tebal fin.

$P =$  perimeter fin [ $= 2(b+y)$ ]



## Perpindahan panas untuk permukaan yang diperluas/ extended surface (sirip/fin).

---

- Konduksi panas ke dalam elemen pada bidang  $x$ ,  $Q_x = -k A_{cs} \left[ \frac{dt}{dx} \right]_x$
- Konduksi panas keluar dari elemen pada bidang  $(x + dx)$ ,  $Q_{(x+dx)} = -k A_{cs} \left[ \frac{dt}{dx} \right]_{x+dx}$
- Konveksi panas keluar elemen antara bidang  $x$  dan  $(x + dx)$ ,

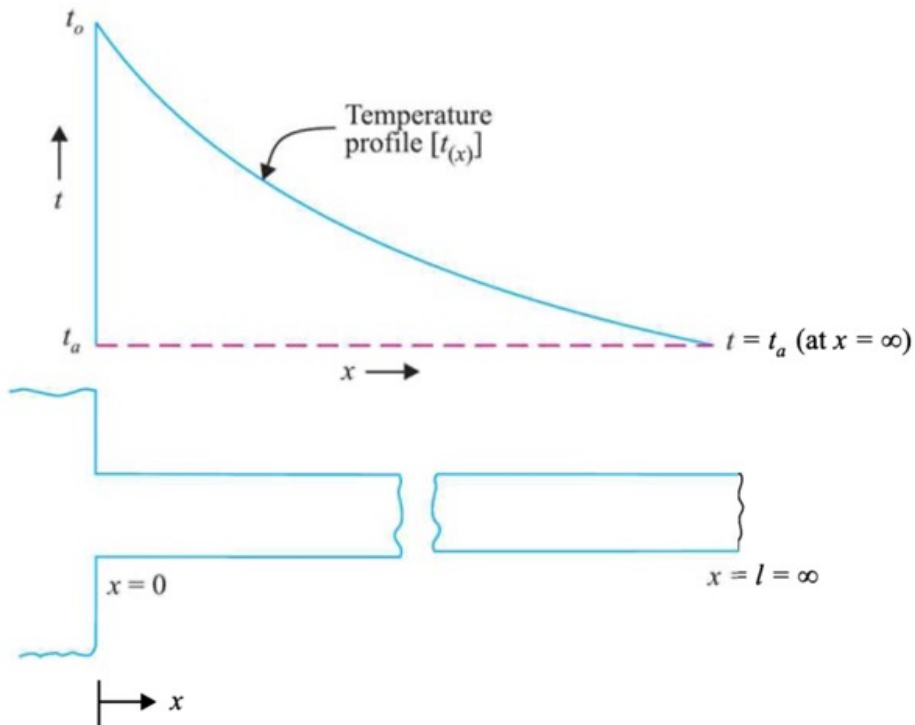
$$Q_x = Q_{(x+dx)} + Q_{conv.}$$
$$-k A_{cs} \left[ \frac{dt}{dx} \right]_x = -k A_{cs} \left[ \frac{dt}{dx} \right]_{x+dx} + h(P \cdot dx)(t - t_a)$$

- Persamaan di bawah menyatakan bentuk umum persamaan energi satu dimensi pelepasan panas dari permukaan yang diperluas (fin)

$$\frac{d^2 t}{dx^2} - \frac{hP}{k A_{cs}}(t - t_a) = 0 \quad \frac{d^2 \theta}{dx^2} - m^2 \theta = 0 \quad \text{dimana} \quad m = \sqrt{\frac{hP}{k A_{cs}}}$$



## 1. Pelepasan panas dari Panjang fin tidak terhingga ( $L \rightarrow \infty$ )



$$(i) \text{ At } x = 0, \quad t = t_o$$

$$t - t_a = t_o - t_a$$

$$\text{or, At } x = 0, \quad \theta = \theta_o$$

$$(ii) \text{ At } x = \infty, \quad t = t_a$$

$$Q_{fin} = -k A_{cs} \left[ \frac{dt}{dx} \right]_{x=0}$$

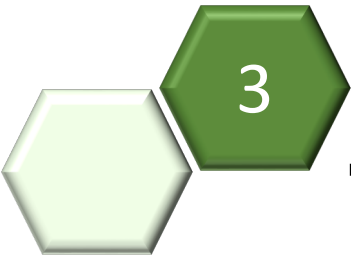
$$\left[ \frac{dt}{dx} \right]_{x=0} = \left[ -m(t_o - t_a) e^{-mx} \right]_{x=0} = -m(t_o - t_a)$$

$$Q_{fin} = -k A_{cs} \times [-m(t_o - t_a)] = k A_{cs} m (t_o - t_a)$$

$$Q_{fin} = k A_{cs} m (t_o - t_a)$$

$$Q_{fin} = k A_{cs} \sqrt{\frac{Ph}{kA_{cs}}} (t_o - t_a)$$

$$Q_{fin} = \sqrt{Phk A_{cs}} (t_o - t_a)$$



## Perpindahan panas untuk permukaan yang diperluas/ extended surface (sirip/fin).

### Contoh :

Suatu alat untuk menggoreng (*ladle*) digunakan untuk menggoreng pada minyak panas  $300^{\circ}\text{C}$ . Bagian pegangan  $5\text{ mm} \times 18\text{ mm}$ . Temperatur sekitarnya  $30^{\circ}\text{C}$ . Konduktivitas termal material  $205\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ . Jika temperature pada jarak  $380\text{ mm}$  dari minyak  $40^{\circ}\text{C}$ , hitunglah perpindahan panas konveksi.

**Solution.** Refer to Fig. 2.124.  $t_o = 300^{\circ}\text{C}$ ;  $b = 18\text{ mm} = 0.018\text{ m}$ ;  
 $y = 5\text{ mm} = 0.005\text{ m}$ ;  $l = 380\text{ mm}$   
 $= 0.38\text{ m}$ ;  $k = 205\text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ ;  $t_a = 30^{\circ}\text{C}$ .

### Skema :

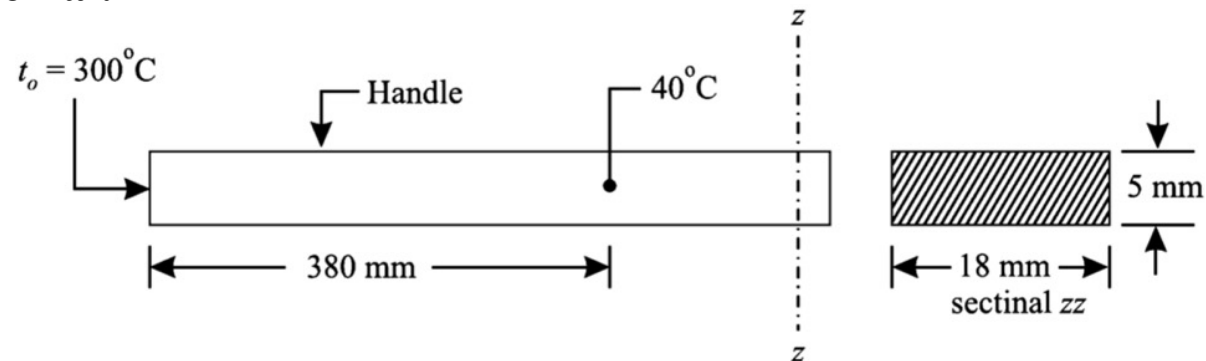


Fig. 2.124.

## Perpindahan panas untuk permukaan yang diperluas/ extended surface (sirip/fin).

Koefisien perpindahan panas konvektif,  $h$  :

Dengan asumsi siripnya adalah

$$\frac{t - t_a}{t_o - t_a} = e^{-mx}$$

or,

$$\frac{t_o - t_a}{t - t_a} = e^{mx}$$

$$\frac{300 - 30}{40 - 30} = e^{m \times 0.38}$$

$$(\because x = 380 \text{ mm} = 0.38 \text{ m})$$

$$e^{0.38m} = 27 \quad \text{or} \quad m = 8.673$$

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA_{cs}}} = 8.673$$

$$\frac{hP}{kA_{cs}} = 75.22$$

$$\frac{h \times [0.018 + 0.005] \times 2}{205 \times (0.018 \times 0.005)} = 75.22$$

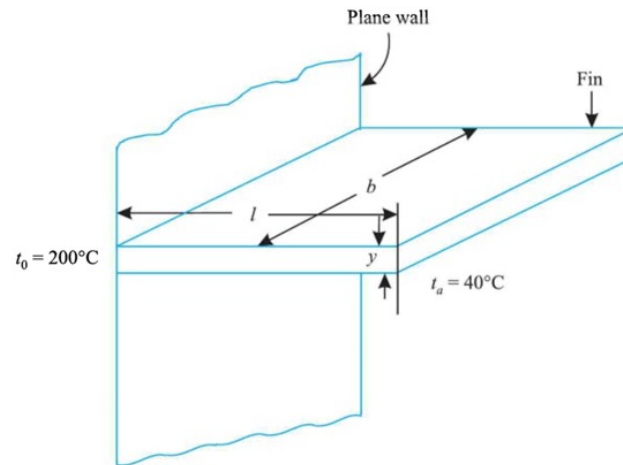
$$h = \frac{75.22 \times 205 \times (0.018 \times 0.005)}{(0.018 + 0.005) \times 2} = \mathbf{30.17 \text{ W/m}^2\text{ }^\circ\text{C}} \quad (\text{Ans.})$$

## Perpindahan panas untuk permukaan yang diperluas/ extended surface (sirip/fin).

### Contoh 3:

Suatu profil segiempat *fin* aluminium ditancapkan pada dinding datar. Tebal fin  $y = 1 \text{ mm}$ , panjang  $l = 10 \text{ mm}$  dan konduktivitas termal  $k = 200 \text{ W/mK}$ . Temperatur dinding  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  dan fin melepaskan panas secara konveksi ke udara sekitarnya pada  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , dengan koefisien perpindahan panas  $h = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Hitunglah kerugian panas.

### Skema:



### Heat loss, $Q$ :

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA_{cs}}} = \sqrt{\frac{h(b+y) \times 2}{k(b \times y)}}$$

$$= \sqrt{\frac{h \times 2b}{k \times by}}, \text{ assuming } b \gg y$$

$$= \sqrt{\frac{2h}{ky}} = \sqrt{\frac{2 \times 50}{200 \times 0.001}} = 22.36$$

$$Q = \sqrt{PhkA_{cs}} (t_0 - t_a) \tanh(ml)$$

$$= \sqrt{(2 \times 1) \times 50 \times 200 \times (1 \times 0.001)} \times (200 - 40) \times \tanh(22.36 \times 0.01)$$

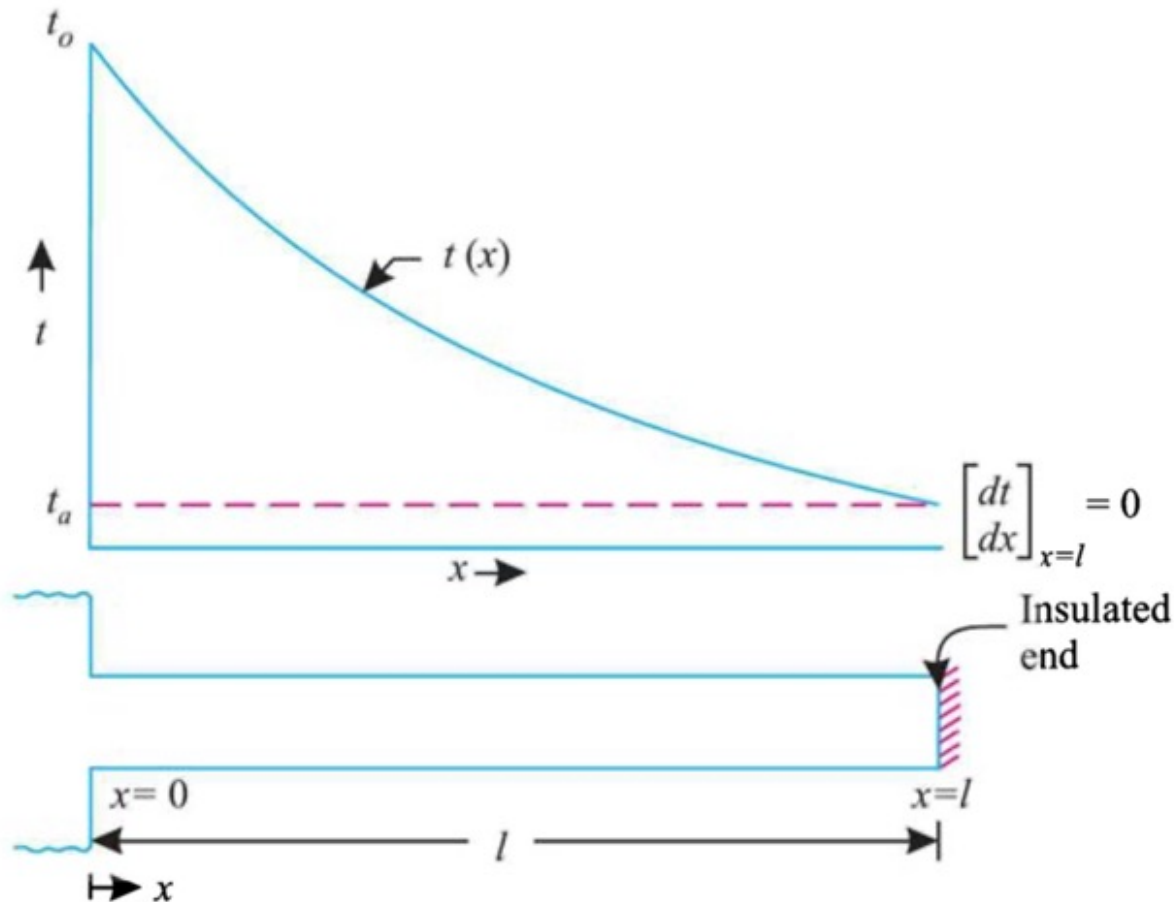
$$= \tanh(0.2236) = \mathbf{157.38 \text{ W/m}} \quad \text{(Ans.)}$$

**Solution. Given :**  $t = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$ ;  $l = 10 \text{ mm} = 0.01 \text{ m}$ ;  $y = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$ ;

$k = 200 \text{ W/mK}$ ;  $t_0 = 200^\circ\text{C}$ ;  $t_a = 40^\circ\text{C}$ ;  $h = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

**Heat loss,  $Q$  :**

## 2. Pelepasan panas dari fin yang diinsulasi pada ujung



$$Q_{fin} = kA_{cs} m (t_o - t_a) \tanh (ml)$$

(Substituting for  $m$ )

$$Q_{fin} = \sqrt{PhkA_{cs}} (t_o - t_a) \tanh (ml)$$

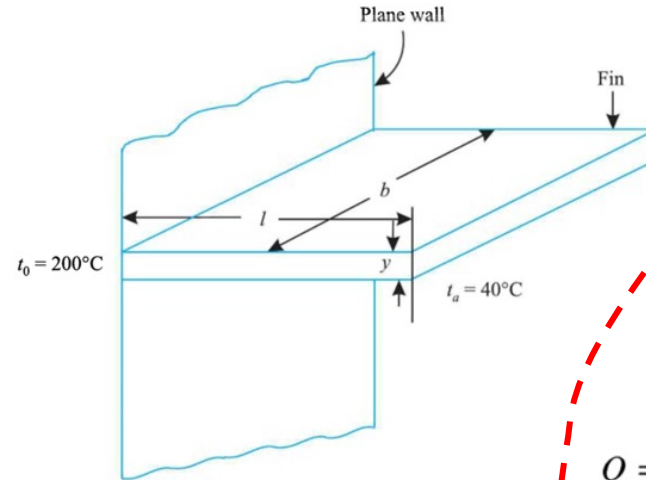
## Perpindahan panas untuk permukaan yang diperluas/ extended surface (sirip/fin).

### Contoh :

Suatu profil segiempat *fin* aluminium ditancapkan pada dinding datar. Tebal fin  $y = 1 \text{ mm}$ , panjang  $l = 10 \text{ mm}$  dan konduktivitas termal  $k = 200 \text{ W/mK}$ . Temperatur dinding  $200 \text{ }^\circ\text{C}$  dan fin melepaskan panas secara konveksi ke udara sekitarnya pada  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ , dengan koefisien perpindahan panas  $h = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Hitunglah kerugian panas.

**Solution. Given :**  $t = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$ ;  
 $l = 10 \text{ mm} = 0.01 \text{ m}$ ;  $y = 1 \text{ mm} = 0.001 \text{ m}$ ;  
 $k = 200 \text{ W/mK}$ ;  $t_o = 200^\circ\text{C}$ ;  
 $t_a = 40^\circ\text{C}$ ;  $h = 50 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

### Skema:



### Heat loss, $Q$ :

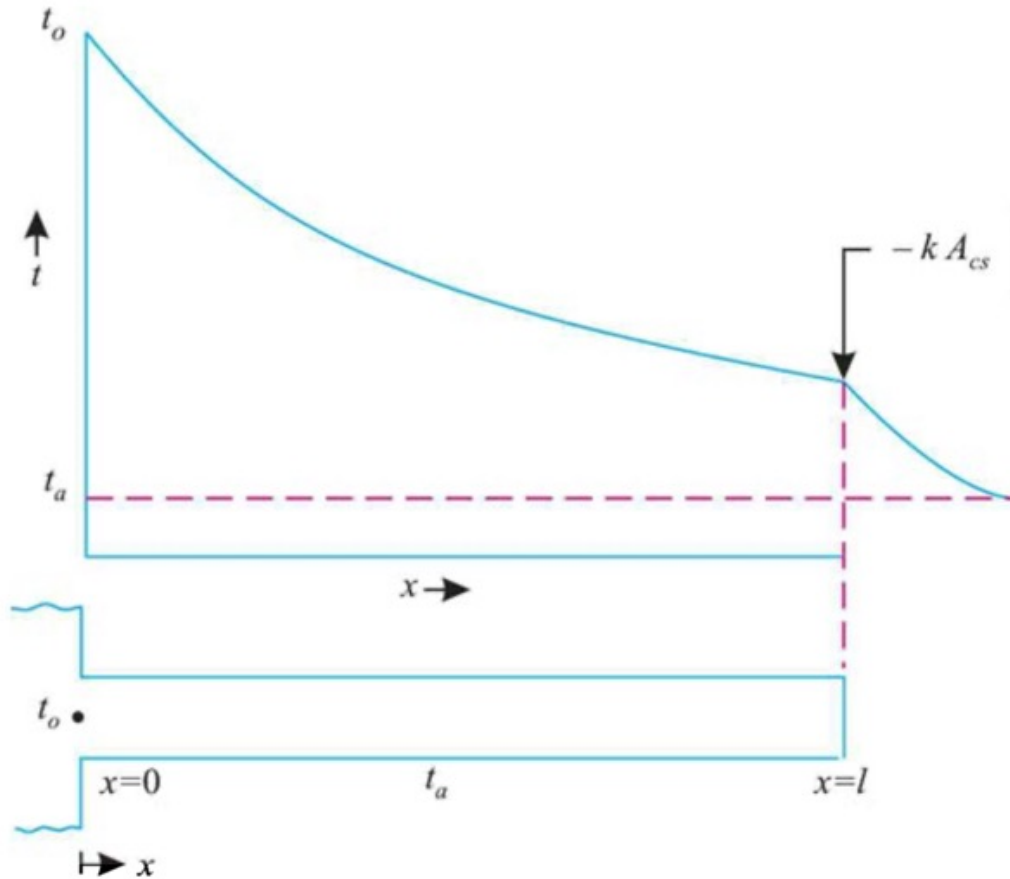
Untuk satuan lebar sirip, ( $b = 1 \text{ m}$ )

$$\begin{aligned}
 Q &= \sqrt{PhkA_{cs}} (t_o - t_a) \tanh(ml) \\
 &= \sqrt{(2 \times 1) \times 50 \times 200 \times (1 \times 0.001)} \times (200 - 40) \times \tanh(22.36 \times 0.01) \\
 &= \tanh(0.2236) = \mathbf{157.38 \text{ W/m}} \quad (\text{Ans.})
 \end{aligned}$$

### Pers. dasar :

$$\begin{aligned}
 m &= \sqrt{\frac{hP}{kA_{cs}}} = \sqrt{\frac{h(b+y) \times 2}{k(b \times y)}} \\
 &= \sqrt{\frac{h \times 2b}{k \times by}}, \text{ assuming } b \gg y \\
 &= \sqrt{\frac{2h}{ky}} = \sqrt{\frac{2 \times 50}{200 \times 0.001}} = 22.36
 \end{aligned}$$

### 3. Pelepasan panas dari fin yang kehilangan panas pada ujung.



$$Q_{fin} = \sqrt{Phk A_{cs}} (t_o - t_a) \left[ \frac{\tanh(ml) + \frac{h}{km}}{1 + \frac{h}{km} \cdot \tanh(ml)} \right]$$

## Perpindahan panas untuk permukaan yang diperluas/ extended surface (sirip/fin).

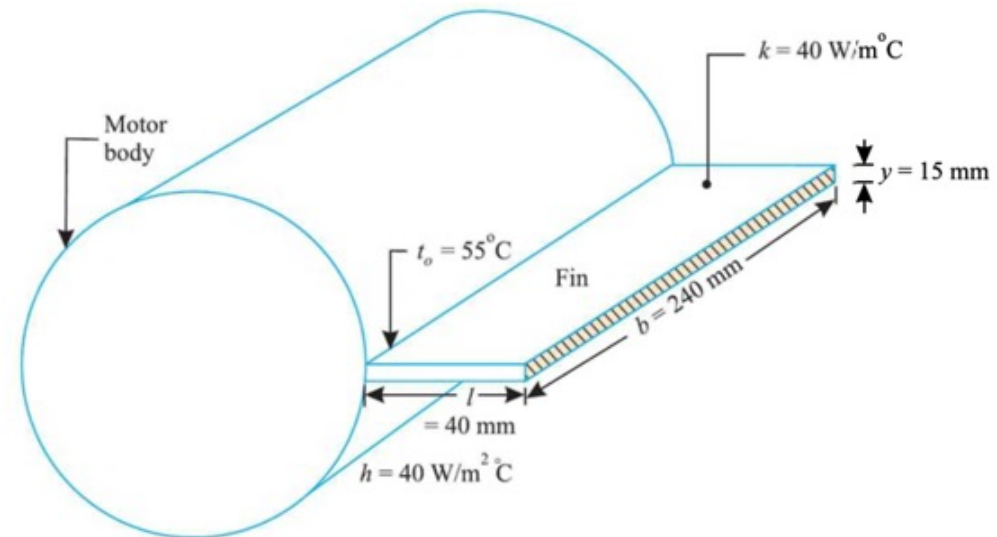
### Contoh :

Suatu *body* motor yang berdiameter 360 mm (*outside*) dan panjang 240 mm. Temperatur permukaannya 55 °C ketika melepaskan panas 340 W. Longitudinal fin, tebal 15 mm dan tinggi 40 mm. Koefisien konveksi 40 W/m<sup>2</sup>°C. Tentukanlah jumlah fin yang diperlukan. Temperatur atmosfer 30 °C. Konduktivitas termal 40 W/m°C.

**Solution.** Refer to Fig. 2.133,  $l = 40 \text{ mm} = 0.04 \text{ m}$ ;  
 $b = 240 \text{ mm} = 0.24 \text{ m}$ ;  $y = 15 \text{ mm} = 0.015 \text{ m}$ ;  
 $k = 40 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ ;  $h = 40 \text{ W/m}^2^\circ\text{C}$ ,  $t_o = 55^\circ\text{C}$ ;  
 $t_a = 30^\circ\text{C}$ ;  $Q_{total} = 340 \text{ W}$ .

- Masalah yang diberikan adalah kasus pembuangan panas dari sirip yang kehilangan panas di ujungnya (situasi sirip pendek).
- Laju perpindahan panas dalam kasus seperti ini diberikan oleh

### Skema :



### Pers. dasar :

$$Q_{fin} = \sqrt{PhkA_{cs}} (t_o - t_a) \left[ \frac{\tanh(ml) + \frac{h}{km}}{1 + \frac{h}{km} \times \tanh(ml)} \right]$$



## Perpindahan panas untuk permukaan yang diperluas/ extended surface (sirip/fin).

where,

$$m = \sqrt{\frac{hP}{kA_{cs}}} = \sqrt{\frac{h(b+y) \times 2}{k(b \times y)}} = \sqrt{\frac{40 \times (0.24 + 0.015) \times 2}{40 \times (0.24 \times 0.015)}} = 11.9$$

and,

$$ml = 11.9 \times 0.04 = 0.476$$

∴

$$Q_{fin} = \sqrt{[(0.24 + 0.015) \times 2] \times 40 \times 40 \times (0.24 \times 0.015) \times (55 - 30)} \times \left[ \frac{\tanh(0.476) + \frac{40}{40 \times 11.9}}{1 + \frac{40}{40 \times 11.9} \times \tanh(0.476)} \right]$$

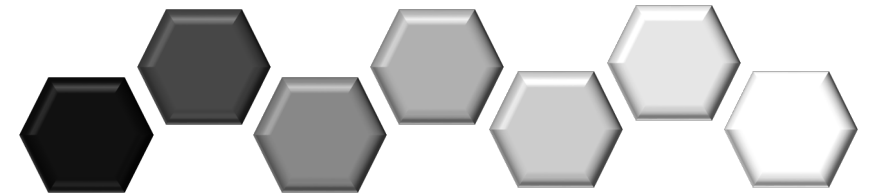
$$= 1.714 \times 25 \times \left[ \frac{0.443 + 0.084}{1 + 0.084 \times 0.443} \right] = 21.77 \text{ W}$$

$$\therefore \text{ Number of fins required} = \frac{Q_{total}}{Q_{fin}} = \frac{340}{21.77} = \mathbf{16 \text{ fins}} \quad (\text{Ans.})$$



KONDUKSI

 **FAKULTAS TEKNIK**  
Universitas Pattimura



**TERIMA KASIH**

**SELAMAT BELAJAR**