

## BAB II

### ALIRAN KONDUSI PANAS PADA KEADAAN STEADY

#### 2.1 KONDUKSI

Telah diterangkan pada Bab I bahwa konduksi merupakan proses mengalirnya panas dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah didalam suatu medium atau antara medium-medium yang bersinggung secara langsung.

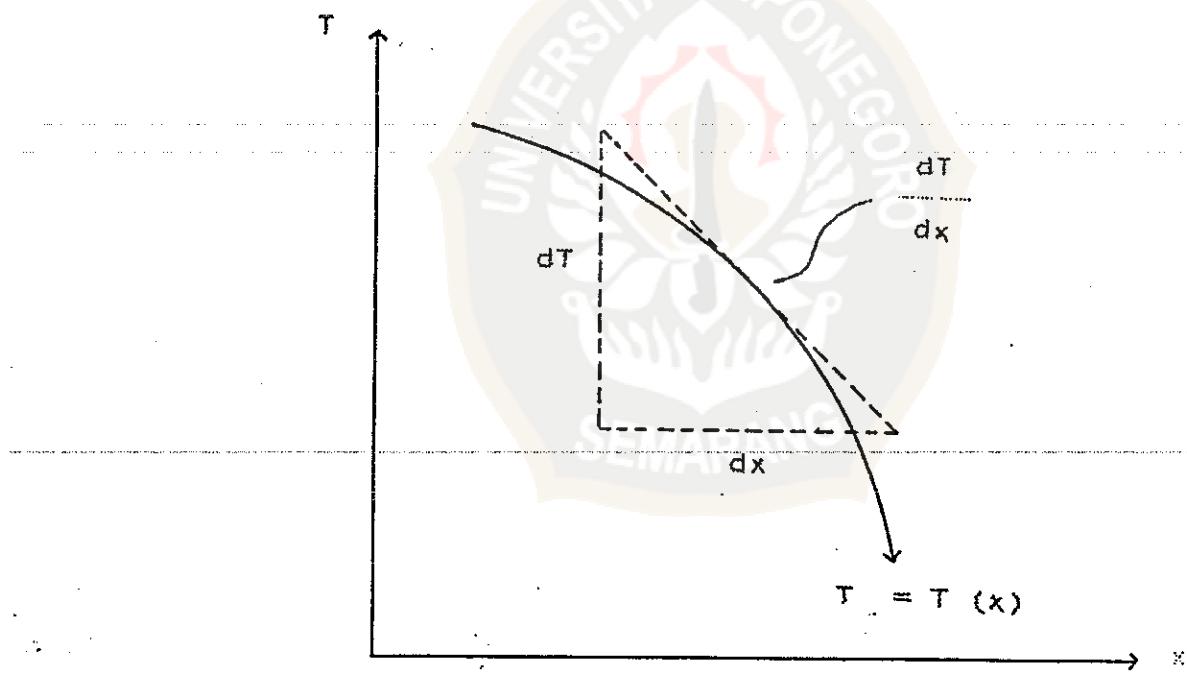
Konduksi panas keadaan steady merupakan perpindahan panas dalam sistem yang tidak berubah terhadap waktu, yaitu jika laju alirannya konstan maka suhu pada tiap-tiap titik konstan.

Apapun mekanismenya akibat dari konduksi panas yang dapat diamati adalah penyamanan suhu pada benda atau medium tempat proses berlangsung. Tetapi jika beda suhu dipertahankan dengan penambahan dan pembuangan panas diberbagai titik, maka akan berlangsung aliran konduksi panas yang terus menerus dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah.

Konduksi adalah satu-satunya mekanisme perpindahan panas yang dapat mengalir dalam zat padat. Jika perpindahan panas terjadi dalam medium yang bukan padat biasanya tergabung dalam cara-cara perpindahan panas yang lain yaitu radiasi maupun konveksi.

## 2.2 PERSAMAAN DASAR KONDUKSI

Untuk mendapatkan persamaan dasar konduksi perhatikan sebuah benda yang salah satu ujungnya mendapatkan penambahan panas sebesar  $dT$  selama selang waktu  $dx$ , sehingga aliran konduksi panasnya dapat digambarkan sebagai  $T = T(x)$  dengan gradien suhu  $\frac{dT}{dx}$  seperti ditunjukkan pada gambar ( 2-1 ).



Gambar ( 2-1 ) : Sketsa gradien suhu dari laju perubahan suhu  $T$  terhadap jarak dalam arah aliran panas  $x$ .

Jika pada suatu benda atau medium terdapat gradien suhu maka akan terjadi aliran konduksi panas dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang

bersuhu lebih rendah. Semakin besar gradien suhu semakin besar pula laju aliran konduksi panas yang mengalir pada benda atau medium tersebut. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa laju aliran konduksi panas ( $q$ ) berbanding lurus dengan gradien suhu ( $\frac{dT}{dx}$ ), yaitu :

$$q \propto \left( \frac{dT}{dx} \right)$$

Jika dimasukkan konstanta kesebandingan  $k$  yaitu konduktivitas thermal bahan dan jika benda atau medium tempat panas mengalir berpenampang  $A$ , maka dapat dituliskan :

$$\frac{q}{k} = -A \frac{dT}{dx} \quad \text{(2-1)}$$

Dimana :  $\frac{q}{k}$  = Laju aliran konduksi panas dalam keadaan steady pada suatu bahan.

$k$  = Konduktivitas thermal bahan.

$A$  = Luas penampang tempat panas mengalir dengan cara konduksi, yang diukur tegak lurus terhadap arah aliran konduksi panas.

$\frac{dT}{dx}$  = Gradien suhu penampang tersebut. yaitu laju perubahan suhu  $T$  terhadap jarak dalam arah aliran konduksi panas  $x$ . Dengan  $T$  = Suhu yang bergantung terhadap

jarak dalam arah aliran  
konduksi panas x .

Tanda minus pada persamaan ( 2-1 ) untuk memenuhi Hukum Thermodynamika kedua yang menyatakan bahwa panas merupakan energi dalam transit yang mengalir dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah bersuhu lebih rendah. Jadi sesuai arah bertambahnya jarak x aliran konduksi panas positif jika gradien suhu negatif. Persamaan (2-1) adalah persamaan dasar konduksi yang diusulkan oleh ilmuwan Perancis JJJ Fourier pada tahun 1822.

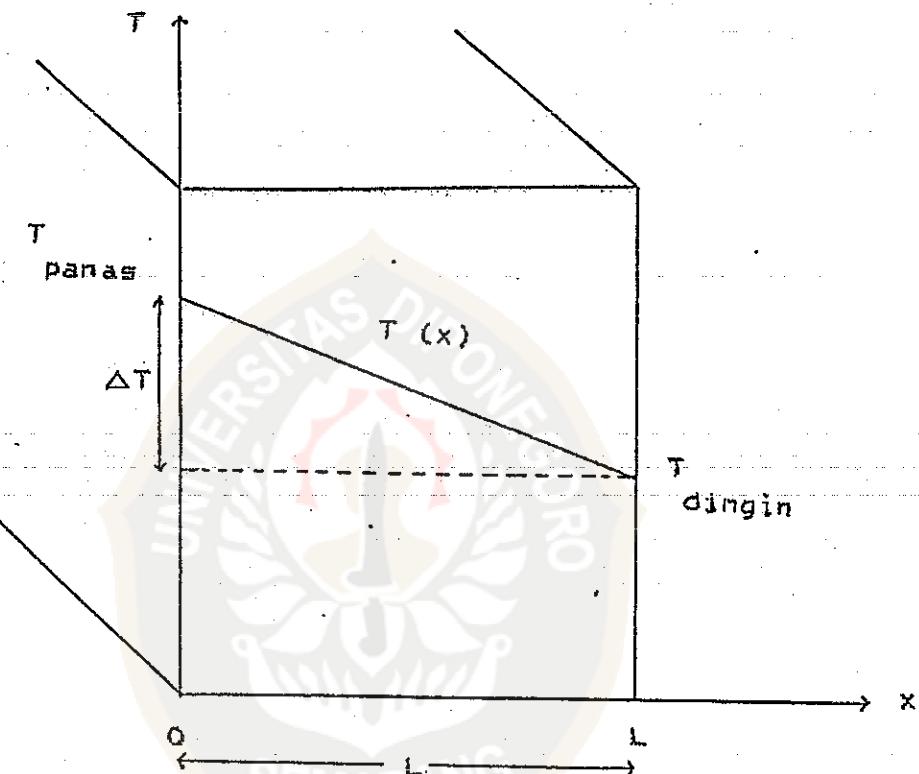
Bahan yang mempunyai konduktivitas tinggi disebut konduktor dan bahan yang mempunyai konduktivitas rendah disebut isolator. Pada umumnya konduktivitas thermal dari suatu bahan tergantung dari suhu. Namun dalam berbagai persoalan teknik variasi konduktivitas thermal oleh perubahan suhu cukup kecil sehingga dapat diabaikan.

### 2.3 KONDUKSI PANAS KEADAAN STEADY MELALUI DINDING DATAR

Laju aliran konduksi panas dalam keadaan steady melalui dinding datar merupakan persoalan yang sederhana dari persoalan aliran konduksi panas keadaan steady, dimana gradien suhu dan aliran konduksi panas tidak berubah terhadap waktu dan sepanjang lintasan laju aliran konduksi panas luas penampangnya sama.

Misalkan suatu dinding datar pada salah satu

ujung sisinya diberikan penambahan panas sebesar  $\Delta T$  seperti ditunjukkan pada gambar ( 2-2 ).



Gambar ( 2-2 ) : Menunjukkan bahwa pada salah satu ujung sisi dinding datar ( $x = 0$ ) mendapat penambahan panas sebesar  $\Delta T$ , sehingga terjadi aliran konduksi panas sepanjang lintasan  $L$  (dari  $x = 0$  menuju  $x = L$  ).

Laju aliran konduksi panas keadaan steady yang melalui dinding datar tersebut sepanjang lintasan  $L$  dapat dicari dengan menggunakan persamaan ( 2-1 ).

$$\frac{q}{k} = -KA \frac{dT}{dx}$$

$$\frac{q}{k} dx = -k dT$$

$$\frac{q}{k} \int_0^L dx = - \int_{T_{panas}}^{T_{dingin}} k dT$$

Batas-batas integrasi dapat dikaji dengan memeriksa gambar ( 2-2 ) dengan suhu dipermukaan sebelah kiri ( $x=0$ ) uniform pada  $T_{panas}$ , dan suhu dipermukaan sebelah kanan ( $x=L$ ) uniform pada  $T_{dingin}$ . Jika  $k$  dingin tidak tergantung pada  $T$ , maka integrasi menjadi :

$$\frac{q}{k} \int_0^L dx = -k \int_{T_{panas}}^{T_{dingin}} dT$$

$$\frac{q}{k} x \Big|_0^L = -k T \Big|_{T_{panas}}^{T_{dingin}}$$

$$\frac{q}{k} (L - 0) = -k (T_{dingin} - T_{panas})$$

$$\frac{q}{k} L = -k (- (T_{panas} - T_{dingin}))$$

$\frac{q}{k} = L$        $= k ( T_{panas} - T_{dingin} )$

$$\frac{q}{k} = \frac{\Delta k}{L} (-T_{panas} - T_{dingin})$$

$$q_k = \frac{\Delta k}{E} \cdot \Delta T_{\text{...}} \quad (2-2)$$

Dimana :  $q_k$  = laju aliran konduksi panas keadaan steady yang melalui dinding datar tersebut.

$A$  = Luas penampang tempat panas mengalir dengan cara konduksi.

$k$  = Konduktivitas thermal bahan.

$\Delta T$  = Beda suhu antara suhu yang lebih tinggi ( $T_+$ ) dengan suhu yang lepas

bah rendah (T dingin).

L = Panjang Lintasan.

Persamaan (2-2) merupakan rumus untuk laju

konduksi panas keadaan steady melalui dinding datar.

Dalam hal ini  $\Delta T$  berfungsi sebagai potensial penggerak yang menyebabkan aliran konduksi panas. Akhirnya dengan taburan thermal R yang diberikan oleh dinding kepada aliran konduksi panas, dan dapat dituliskan

sebagai :

$$R = \frac{L}{Ak} \quad (2-3)$$

Jadi persamaan ( 2-2 ) dapat ditulis sebagai :

$$\frac{q}{k} = \frac{\Delta T}{R} \quad (2-4)$$

Kebalikan dari tahanan thermal disebut konduktansi thermal  $K$  :

$$K = \frac{Ak}{L} \quad (2-5)$$

Dan merupakan konduktansi thermal persatuan luas, dinamakan konduktansi thermal satuan untuk aliran konduksi panas.

### Contoh 2.3.1.

Sebuah kawat wolfram diameternya 2 cm, panjang 10 cm dengan suhu mula-mula  $20^\circ\text{C}$ , tiba-tiba suhu pada salah satu ujungnya dinaikkan sampai  $200^\circ\text{C}$ . Carilah laju konduksinya dalam keadaan steady yang melalui kawat tersebut dengan menggunakan persamaan ( 2-1 ) .

Diketahui :  $k = 163 \text{ W/m}^\circ\text{C}$

Jawab :

Diketahui :  $D = 2 \text{ cm}$   
 $= 0.02 \text{ m}$   
 $L = 10 \text{ cm}$   
 $= 0.1 \text{ m}$   
 $T_1 = 70^\circ \text{ C}$   
 $T_2 = 20^\circ \text{ C}$   
 $k = 163 \frac{\text{W}}{\text{m}^\circ \text{C}}$

Ditanyakan :  $q$

Penyelesaian :

Luas penampang kawat :

$$A = (\pi r^2) = (0.5 \cdot 0.02)^2$$

$$\begin{aligned} &= 3.14 (0.5 \cdot 0.02)^2 \\ &= 3.14 (-0.01 \cdot m)^2 \\ &= 3.14 \cdot 0.0001 \text{ m}^2 \\ &= 0.000314 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Persamaan (2-1) :

$$\frac{q}{k} = \frac{dT}{dx}$$

$$\frac{q}{k} dx = -k A dT$$

$$\frac{q}{k} \int_{L}^{T_1} dx = -k A \int_{T_2}^{T_1} dT$$

$$\frac{q}{k} \times \begin{vmatrix} L & T_2 \\ 0 & T_1 \end{vmatrix} = -kA \cdot T$$

$$\frac{q}{k} (L - 0) = -kA (T_2 - T_1)$$

Harga-harga yang ada disubstitusikan ke persamaan diatas, didapat :

$$\frac{q}{k} \cdot 0,1 \text{ m} = -163 \cdot 0,000314 (20 - 70) \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

$$= -163 \cdot 0,000314 \cdot -50 \frac{W}{m^2}$$

$$= 2,5591 \frac{W}{m^2}$$

$$\frac{q}{k} = \frac{2,5591 \frac{W}{m^2}}{0,1 \text{ m}}$$

$$= 25,591 \frac{W}{m}$$

$$= 25,591 \frac{J}{dt}$$

Jadi laju konduksi panas dalam keadaan steady dari kawat tersebut diatas :  $25,591 \frac{J}{dt}$ .