

## BAB II

### PERPINDAHAN PANAS/KALOR DENGAN CARA KONDUKSI

#### 2.1. PERPINDAHAN PANAS/KALOR DENGAN CARA KONDUKSI

Konduksi dapat didefinisikan sebagai proses perpindahan panas dari daerah bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah dalam suatu medium (benda) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung.

Dalam perpindahan panas cara tersebut perpindahan energi terjadi karena hubungan molekul-molekul secara langsung - tanpa adanya perpindahan molekul yang cukup besar.

Menurut teori Kinetik, suhu elemen suatu zat sebanding dengan energi kinetik rata-rata molekul-molekul yang membentuk elemen itu.

Energi yang dimiliki oleh suatu elemen zat yang disebabkan oleh kecepatan dan posisi relatif molekul-molekulnya disebut energi dalam.

Jadi semakin cepat molekul-molekul bergerak semakin tinggi suhu maupun energi dalam benda tersebut.

Bila molekul-molekul di suatu daerah memperoleh energi kinetik rata-rata yang lebih besar dari yang dimiliki oleh molekul-molekul disuatu daerah yang berdekatan, sebagaimana yang diwujudkan oleh adanya beda suhu, maka molekul-molekul yang memiliki energi lebih besar itu akan memindahkan sebagian energinya kepada molekul-molekul di daerah yang mempunyai energi rata-rata lebih rendah (di daerah yang bersuhu lebih rendah).

Perpindahan energi tersebut dapat berlangsung dengan tumbukan elastis atau dengan pembauran elektron-elektron yang bergerak secara lebih cepat dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah.

Namun apapun mekanismenya yang pasti hal tersebut belum dimengerti sepenuhnya, hal ini disebabkan karena proses konduksi panas yang dapat diamati adalah penyesuaian suhu pada medium yang bersangkutan.

Tetapi jika beda suhu dipertahankan dengan penambahan dan pengurangan/pembuangan panas di berbagai titik, maka akan berlangsung aliran panas/kalor yang terus menerus dari daerah yang bersuhu lebih tinggi ke daerah yang bersuhu lebih rendah.

Konduksi adalah satu-satunya mekanisme perpindahan panas/kalor yang dapat mengalir dalam zat padat yang tidak tembus cahaya.

Konduksi penting pula dalam fluida, tetapi dalam medium yang bukan padat biasanya akan bergabung dengan cara-cara perpindahan panas yang lain yaitu konveksi maupun radiasi.

Konduksi panas/kalor yang ajeg didefinisikan sebagai perpindahan panas dengan laju aliran panas/kalor dalam sistem tidak berubah terhadap waktu, yaitu bila laju tersebut konstan, maka suhu di titik manapun tidak berubah.

Pada keadaan ajeg (steady state) kecepatan fluks-masuk, panas pada titik manapun dari sistem harus tepat sama dengan kecepatan fluks-keluar dan tidak terjadi perubahan e-

energi dalam.

## 2.2. HUKUM DASAR KONDUKSI

Hukum dasar untuk perpindahan panas/kalor dengan cara konduksi diusulkan oleh Ilmuwan Perancis, JB. J Fourier, dalam tahun 1882:

Hukum ini menyatakan bahwa  $q_k$  (sebagai laju aliran panas/kalor konduksi) dalam suatu bahan, sama dengan hasil dari tiga buah besaran yaitu :

1.  $k$  : konduktivitas termal bahan.
2.  $A$  : luas penampang tempat panas/kalor mengalir, yang harus diukur tegak lurus terhadap arah aliran panas/kalor.
3.  $\frac{dT}{dx}$  : gradien suhu pada penampang tersebut, yaitu laju perubahan suhu  $T$  terhadap jarak dalam arah aliran panas/kalor  $x$ .

Untuk menuliskan dalam bentuk matematika, ditetapkan arah- pertambahan jarak  $x$  adalah arah aliran panas/kalor positif.

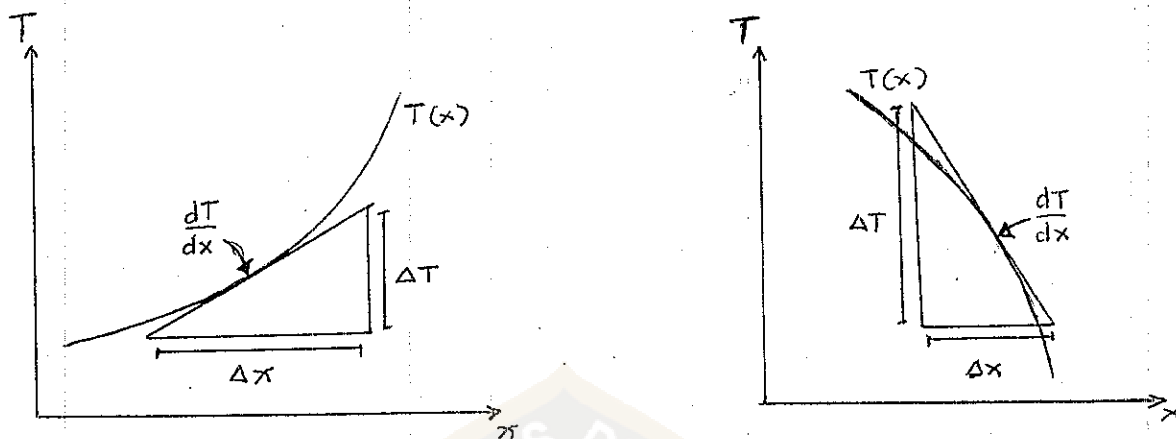
Panas akan mengalir secara otomatis dari titik yang bersuhu lebih tinggi ketitik yang bersuhu lebih rendah, maka aliran panas/kalor akan menjadi positif bila gradien suhu negatif (gambar 2-1).

Sesuai hal tersebut persamaan dasar untuk konduksi panas dalam keadaan ajeg dapat dituliskan sebagai berikut :

$$q_k = - kA \frac{dT}{dx} \dots\dots\dots (2-1)$$

Persamaan (2-1) ini disebut pula persamaan Fourier.

(gambar 2-1)



Untuk konsistensi dimensi pada persamaan (2-1) digunakan sistem SI.

Luas dengan notasi  $A$ , satuannya  $m^2$  (meter persegi) atau  $cm^2$  (centimeter persegi).

Gradien suhu dengan notasi  $\frac{dT}{dx}$  satuannya  $\frac{^{\circ}C}{m}$  atau  $\frac{^{\circ}K}{m}$ .

Konduksi termal, notasi  $k$  adalah sifat bahan dan menunjukkan jumlah panas/kalor yang mengalir melintasi satu satuan luas jika gradien suhunya satu, mempunyai satuan :

$$\frac{\text{Joule/detik}}{m \cdot ^{\circ}C} = \frac{\text{Watt}}{m \cdot ^{\circ}C} \quad \text{atau} \quad \frac{\text{Joule/detik}}{m \cdot ^{\circ}K} = \frac{\text{Watt}}{m \cdot ^{\circ}K}$$

Untuk laju aliran panas/kalor konduksi dengan notasi  $q_k$  mempunyai satuan :

$$\text{Watt} = \frac{\text{Joule}}{\text{detik}} \quad \text{atau} \quad \frac{\text{Kalori}}{\text{detik}}$$

Besaran-besaran lainnya yang digunakan dalam proses perpindahan panas/kalor konduksi diberikan dalam daftar sebagai berikut :

## DAFTAR (2-1)

| Besaran                                 | Notasi/<br>Lambang | Satuan   |
|---|--------------------|--|
| Panjang                                 | L                  | m (meter)  |
| Luas                                    | A                  | m <sup>2</sup>                                       |
| Volume                                  | V                  | m <sup>3</sup>                                       |
| Massa                                   | m                  | kg   |
| Kerapatan                               | $\rho$             | kg/m <sup>3</sup>                                    |
| Gaya                                    | F                  | N (Newton)   |
| Energi/kalor                            | q                  | J (Joule)  |
| Aliran kalor konduksi                   | q <sub>k</sub>     | W (Watt) atau<br>$\frac{\text{Joule}}{\text{detik}}$ |
| Fluks kalor persatuan<br>luas           | $\frac{q}{A}$      | $\frac{W}{m^2}$                                      |
| Fluks kalor persatuan<br>volume         | $\frac{q}{V}$      | $\frac{W}{m^3}$                                      |
| Kalor spesifik                          | C.                 | $\frac{J}{kg}$                                       |
| Koefisien perpindahan<br>panas konveksi | h                  | $\frac{W}{m^2 \text{ } ^\circ C}$ atau               |

Untuk kasus sederhana aliran panas keadaan ajeg melalui dinding gradien suhu dan aliran panas/kalor tidak berubah terhadap waktu dan sepanjang lintasan aliran panas/kalor bila luas penampangnya sama.

Sehingga variabel-variabel dalam persamaan (2-1) dapat dipisahkan dan persamaan yang dihasilkan adalah :

$$q_k = -kA \frac{dT}{dx}$$

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

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

Batas-batas integrasi dapat dikaji dengan memeriksa gambar (2 - 3) dengan suhu di permukaan sebelah kiri ( $x=0$ ) seragam (Uniform; juga dikenal dengan istilah merata).

Pada  $T_{\text{panas}}$  dan suhu pada permukaan sebelah ( $x=L$ ) seragam pada  $T_{\text{dingin}}$ .

Jika  $k$  tidak tergantung pada  $T$ , maka integrasi menjadi :

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

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

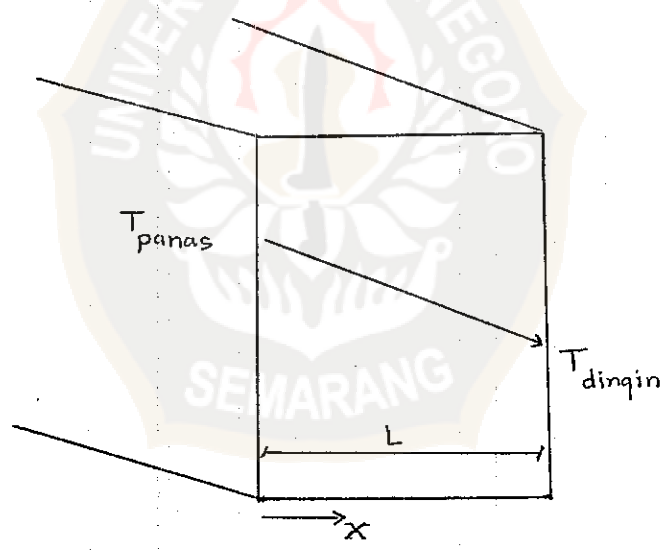
$$\frac{q_k}{A} (L-0) = -k (T_{\text{dingin}} - T_{\text{panas}})$$

$$R_k = \frac{L}{Ak} = \frac{m}{\frac{m^2 W}{m \cdot ^\circ C}} \text{ atau } \frac{m}{\frac{m^2 W}{m \cdot ^\circ K}}$$

$$R_k = \frac{^\circ C}{\text{Watt}} \text{ atau } \frac{^\circ K}{\text{Watt}}$$

Sehingga satuan konduktansi termal dengan notasi  $K_k$  mempunyai satuan dalam SI adalah  $\frac{\text{Watt}}{^\circ C}$  atau  $\frac{\text{Watt}}{^\circ K}$ .

(gambar 2-3)



### 2.3. ANALOG ANTARA ALIRAN PANAS / KALOR DAN ALIRAN LISTRIK

Dua sistem dikatakan analog bila keduanya mematuhi persamaan-persamaan yang serupa dan juga mempunyai syarat-syarat batas yang serupa. Hal ini berarti bahwa persamaan yang menggambarkan perilaku satu sistem dapat diubah menjadi persamaan untuk sistem yang lain hanya dengan mengubah variabel-variabelnya.

Contohnya aliran panas melalui tahanan termal analog dengan aliran arus searah melalui tahanan listrik karena kedua jenis aliran itu mempunyai persamaan-persamaan serupa.

$$\frac{q_k}{A} L = -k \{ - (T_{\text{panas}} - T_{\text{dingin}}) \}$$

$$\frac{q_k}{A} L = k (T_{\text{panas}} - T_{\text{dingin}})$$

$$q_k = \frac{Ak}{L} (T_{\text{panas}} - T_{\text{dingin}})$$

$$q_k = \frac{Ak}{L} \Delta T \dots\dots\dots (2-2)$$

Ini merupakan rumus untuk laju konduksi panas / kalor melalui dinding datar.

$\Delta T$  = beda suhu antara suhu yang lebih tinggi ( $T_{\text{panas}}$ ) dan suhu yang lebih rendah ( $T_{\text{dingin}}$ ), adalah potensial penggerak yang menyebabkan aliran panas.

$L / Ak$  setara dengan tahanan termal  $R_k$  yang diberikan oleh dinding kepada aliran panas dengan cara konduksi dan diperoleh :

$$R_k = \frac{L}{Ak} \dots\dots\dots (2-3)$$

Kebalikan dari tahanan termal disebut konduksi termal :

$$K_k = \frac{Ak}{L} \dots\dots\dots (2-4)$$

dan :  $k / L$ , konduktansi termal persatuan luas, dinamakan konduktansi termal satuan (Unit thermal conductance), untuk aliran panas / kalor konduksi.

$R_k$ , tahanan termal mempunyai satuan dalam SI.



$$q = \frac{\Delta T}{R_t} \dots\dots\dots (2-5)$$

Dengan menggantikan simbol untuk potensial suhu  $T$  dengan simbol untuk potensial listrik yaitu beda voltage,  $E$  dan simbol untuk tahanan termal  $R_t$  dengan simbol untuk tahanan  $R$ , maka diperoleh persamaan laju aliran listrik atau arus listrik ( $i$ ) :

$$i = \frac{\Delta E}{R} \dots\dots\dots (2-6)$$

$\Delta E$  = Beda potensial

$R$  = Nilai tahanan

Dengan telah ditetapkannya analogi dasar, kita dapat menerapkan pengertian-pengertian tertentu dari teori arus searah pada masalah-masalah perpindahan panas/kalor.

Analogi antara aliran panas dan aliran listrik ini berfungsi untuk membantu dalam pemecahan masalah yang berhubungan dengan suatu sistim termal, yaitu dengan mengaitkan antara sistim termal dengan sistim listrik yang sudah lebih dulu dikenal.

