BAB II

K O N V E K S I

2.1. PENGERTIAN

- Konveksi dapat diartikan sebagai proses transport energi dengan kerja gabungan dari konduksi panas, penyimpanan energi dan gerakan mencampur. Konduksi panas adalah proses perpindahan panas dari daerah bersuhu lebih tinggi ke daerah yang lebih rendah dalam satu medium (benda) atau antara medium-medium yang berlainan yang bersinggungan secara langsung. Konveksi sangat penting sebagai mekanisme perpindahan energi permukaan benda padat, cairan atau gas. Perpindahan energi dengan cara konveksi dari suatu permukaan yang suhunya lebih tinggi dari suhu Fluida (zat cari yang mengalir) berlangsung dalam beberapa tahap.
- Tahap Pertama :

  Panas akan mengalir dengan cara konduksi dari permukaan ke partikel-partikel Fluida (zat cair) yang berbalasan. Energi yang berpindah dengan cara demikian akan menaikkan suhu dan energi dalam partikel-partikel Fluida ini.
- Tahap Kedua :

  Partikel-partikel Fluida (zat cair) tersebut akan bergerak ke daerah yang bersuhu lebih rendah pada Fluida dan mereka akan bercampur serta memindahkan sebagian energinya kepada partikel Fluida yang lain.

Dalam hal ini alirannya adalah aliran Fluida maupun energi. Energi sebenarnya disimpan dalam partikel-partikel Fluida dan diangkut sebagai gerakan masa partikel-partikel tersebut.

- Perpindahan panas konveksi diklasifikasikan dalam konveksi bebas (Free convection), konveksi paksa (forced convection) menurut cara menggerakkan alirannya. Bila gerakan mencampur berlangsung semata-mata sebagai akibat dari perbedaan kerapatan yang disebabkan oleh gradien suhu maka termasuk konveksi bebas atau konveksi natural. Bila gerakan mencampur disebabkan oleh suatu alat dari luar, seperti pompa atau kipas maka prosesnya disebut konveksi paksa.
- Efektivitas perpindahan panas dengan cara konveksi tergantung sebagian besarnya gerakan mencampur Fluida, akibatnya perpindahan panas konveksi didasarkan pada pengetahuan tentang ciri-ciri aliran Fluida.

2.2. HUKUM DASAR KONVEKSI

- Hukum dasar laju perpindahan panas konveksi diusulkan oleh ilmuwan Inggris, Isaac Newton dalam tahun 1701.

DEFINISI 1

Hukum dasar konveksi menyatakan bahwa laju perpindahan panas konveksi antara suatu permukaan dan suatu Fluida dapat dihitung dengan rumus

$$qc = \overline{h}c\ A\ (Ts - T\infty\ )\ \ldots\ldots\ (2 - 1)$$

qc = laju perpindahan panas konveksi.

A = luas perpindahan panas yaitu luas penampang tempat panas/kalor mengalir, yang harus diukur tegak lurus terhadap arah aliran panas.

Ts = suhu permukaan, $T\infty$ = suhu Fluida.

$\overline{h}c$ = konduktansi termal satuan konveksi rata-rata (koefisien permukaan perpindahan panas atau koefisien perpindahan panas konveksi).

Dalam satuan SI laju perpindahan panas mempunyai satuan Joule/sekon atau watt, $\overline{h}c$ dalam watt/m² K. Adalah m², $(Ts - T\infty)$ dalam K.

Perpindahan panas konveksi dapat berubah-ubah dari satu titik ke titik lainnya, oleh karena itu harus dibedakan antara koefisien perpindahan panas konveksi lokal dan rata-rata.

DEFINISI 2

Koefisien lokahl $\overline{h}c$ didefinisikan dengan

$$dqc = hc\ dA\ (Ts - T\infty) \quad ..... \ (2 - 2)$$

Angka $\overline{hc}$ dalam sebuah sistem tergantung pada geometri permukaannya dan kecepatannya, maupun pada sifat-sifat fisik Fluidanya dan acapkali pada beda suhu.

DEFINISI 3

Koefisien rata-rata $\overline{hc}$ adalah

$$\overline{hc} = \frac{1}{A} \iint_A hc\ dA \quad .... \ (2 - 3)$$

Mengapa demikian ?

Sebab koefisien rata-rata $\overline{hc}$ dapat didefinisikan sebagai fungsi dari harga lokal.

Besaran koefisien perpindahan panas konveksi dalam praktek disajikan dalam TABEL (2 - 1).

	Btu/h Ft² F	W/m² K
Udara, konveksi bekas	1 - 5	6 - 30
Uap panas lanjut atau udara konveksi panas	5 - 50	30 - 300
Minyak, konveksi paksa	10 - 300	60 - 1800
Air, konveksi paksa	50 - 2000	300 - 6000
Air, mendidih	500 - 10000	3000 - 60000
Uap, mengembun	1000 - 20000	6000 - 120000

Dikutip dari Principle of Heat Transfer. Third Edition

DEFINISI 4

Dengan menggunakan Definisi 2 didefinisikan konduktansi termal Kc untuk perpindahan panas konveksi sebagai

$$Kc = \bar{h}c\ A \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2 - 4)$$

DEFINISI 5

Tahanan termal terhadap perpindahan panas konveksi Rc sama dengan kebalikan konduktansi sebagai

$$Rc = \frac{1}{\bar{h}c\ A} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2 - 5)$$

2.3. SISTIM KONDUKSI KONVEKSI

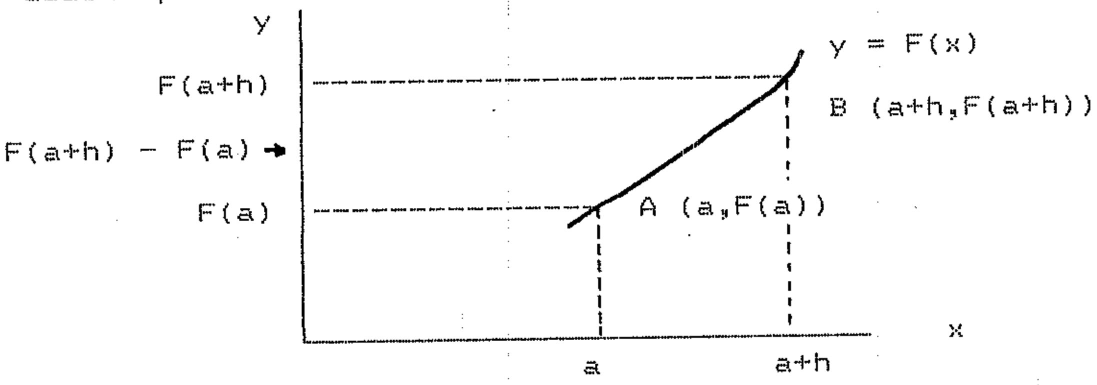
- Kalor yang dihantarkan melalui benda sering harus diserahkan melalui proses konveksi.

DEFINISI 6

Untuk mendapatkan kecepatan pada suatu saat, yang berkaitan dengan waktu dan perbandingan dari

$$\frac{F(Tth) - F(T)}{h}$$

dengan F(Tth) - F(T) merupakan perubahan nilai dan h adalah perubahan waktu. Perhatikan gambar



Gambar diatas memperlihatkan nilai fungsi = F(a+h) - F(a) dan perubahan variabel = (a+h) - a = h.

Sehingga nilai rata-rata perbandingan perubahan nilai F terhadap x dalam interval tersebut yaitu

$$\frac{F(a+h) - F(a)}{h}$$

Selanjutnya $\lim\limits_{h \to 0} \dfrac{F(a+h)-F(a)}{h}$ disebut laju perubahan nilai dari F pada x=a yang ditulis F'(a) dan sering disebut turunan atau derivatif F pada x=a.

Contoh 1.

$T = 2x$

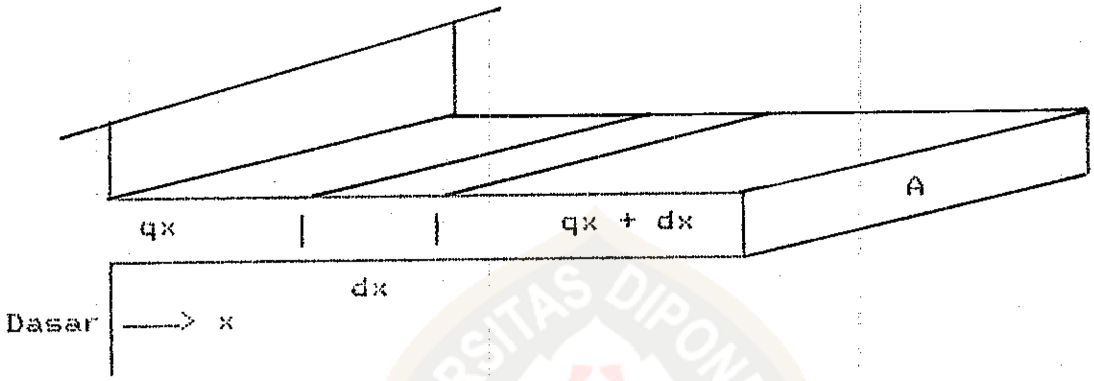
$d\ T = d2x \qquad dT = 2dx$

$$\frac{dT}{dx} = 2$$

Jadi turunan pertama dari fungsi T ke x = dT/dx dan turunan keduanya adalah d^2T / dx^2.

Contoh 2.

Suatu sirip yang bersinggungan dengan Fluida lingkungan yang suhunya T seperti pada gambar (2.3 - 1).



Gambar (2.3 - 2). Bagan menggambarkan konduksi dan konveksi satu dimensi melalui sirip siku 4.

suhu pada dasar sirip To, luas penampang sirip A dan kelilingnya P seragam serta terbuat dari bahan dengan konduktivitas k. Seragam pula dan koefisien perpindahan panas bersihnya $\bar{h}$. Dengan mengambil pendekatan masalah dibuat neraca aliran panas untuk elemen sirip setebal dx.

DEFINISI 7

$$\text{Panas masuk} = qx = -kA\frac{dT}{dx} \quad \ldots\ldots \quad (2-6)$$

DEFINISI 8

Panas keluar = $q_{x+dx} = -kA \, dT/dx \,|_{x+dx}$ .... (2 - 7)

$= -kA\,(dT/dx + d^2T/dx^2 \,.\, dx)$

DEFINISI 9

Panas hilang karena konveksi

$qc = \bar{h}Pdx\,(T - T_\infty)$ ....(2 - 8)

DEFINISI 10

Panas masuk dimuka kiri = Panas keluar dimuka kanan + panas hilang karena konveksi.

TEOREMA 1

Derevatif atau difrensial luas muka konveksi ialah hasil perkalian keliling sirip dengan difrensial panjang dx. Jika besaran-besaran itu digabungkan maka dari neraca energi didapat

$$\frac{d^2T}{dx^2} - \frac{h\,P}{k\,A}(T - T_\infty) = 0$$

Bukti :

$$q_x = q_{x+dx} + q_c$$

Maka :

$$-kA\frac{dT}{dx} = -kA\frac{dT}{dx}\Big|_{x+dx} + \bar{h}p\,dx\,(T - T_\infty)$$

$$-kA\frac{dT}{dx} = (-kA\frac{dT}{dx} + \frac{d}{dx}(-kA\frac{dT}{dx})\,dx) + \bar{h}P\,dx\,(T - T_\infty)$$

.... (2 - 9)

Dengan menggunakan gabungan besaran-besaran dalam persamaan tersebut diperoleh :

$$- kA \frac{dT}{dx} = - kA \frac{dT}{dx} - kA \frac{d^2T}{dx^2} dx + \bar{h}P (T - T\infty) dx$$

$$kA \frac{d^2T}{dx^2} dx = \bar{h}P (T - T\infty) dx$$

Kemudian masing-masing unsur dibagi dx diperoleh

$$k A \frac{d^2T}{dx^2} = \bar{h} P (T - T\infty)$$

$$\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{\bar{h} P}{k A} (T - T\infty) \text{ atau } \frac{d^2T}{dx^2} - \frac{\bar{h} P}{k A} (T - T\infty) = 0$$

(Terbukti)

Persamaan $\frac{d^2T}{dx^2} = \frac{\bar{h} P}{k A} (T - T\infty)$ adalah merupakan bentuk baku dari persamaan difrensial linier biasa order dua.

Diambil pemisahan $m^2 = \bar{h} P / k A$ maka

$$\frac{d^2T}{dx^2} = m^2 (T - T\infty) \text{ ..... } (2 - 10)$$

Dengan menganggap $\theta = T - T\infty$ maka persamaan menjadi

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} = m^2\theta$$

Sehingga $\theta = C_1 e^{-mx} + C_2 e^{mx}$ .... (2 - 11)

C1 dan C2 adalah konstanta-konstanta integritas yang harga-harganya ditentukan dari syarat batasnya yaitu

Untuk $T = T_o$ pada $x = 0$, yaitu suhu pada dasar elemen sama dengan suhu pada permukaan yang ditempeli oleh sirip tersebut.

Panas mengalir dari akar sirip dengan cara konduksi dan diteruskan dari permukaan batang ke Fluida dengan cara konveksi maka

$$q \text{ sirip} = -kA \frac{dT}{dx}\bigg|_{x=0} = \bar{h} P (T - T_\infty)\, dx$$

$$= -kA \frac{d}{dx}(T - T_\infty)\bigg|_{x=0} = \sqrt{\bar{h} P (T - T_\infty)}$$

$$= -kA \frac{d}{dx}(T - T_\infty)e^{-mx}\bigg|_{x=0} = \sqrt{\bar{h}P\, kA(T_o - T_\infty)}$$

$$= -kA(-m(T_o - T_\infty)e^{-mx}\bigg|_{x=0} = \sqrt{\bar{h}P\, kA(T_o - T_\infty)}$$

.... (2 - 14)

DEFINISI II

Untuk harga-harga x yang nyata berlaku rumus

$$e^{ix} = \cos x + i \sin x$$

$$e^{-ix} = \cos x - i \sin x$$

maka

$$\cos x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2} \qquad \sin x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$

$$\cos x = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2} \qquad \sin x = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$

Dengan definisi II tersebut ditentukan untuk harga kompleks z :

$$\cos z = \frac{e^{ix} + e^{-ix}}{2} \qquad \sin z = \frac{e^{ix} - e^{-ix}}{2i}$$

maka $e^{iz} = \cos z + i \sin z$

Untuk harga x yang riil berlaku

$$\cos ix = \frac{e^{x} + e^{-x}}{2} \text{ dan } \sin ix = i\left(\frac{e^{x} - e^{-x}}{2}\right)$$

karena

$$\cos ix = \cos hx \text{ dan } \sin ix = i \sin hx$$

maka

$$\cos hx = \frac{e^{x} + e^{-x}}{2} \text{ dan } \sin hx = \frac{e^{x} + e^{-x}}{2}$$

$$\operatorname{tg} hx = \frac{\sin hx}{\cos hx} = \frac{e^{x} - e^{-x}}{e^{x} + e^{-x}}$$

KASUS II : Sirip panjangnya tertentu dengan ujung sirip diisolasi

Syarat batas kasus II mengharuskan gradien suhu pada x = L mempunyai harga nol atau dT/dx = 0 pada x = L atau

$$\theta = \theta o \text{ pada } x = 0$$

$$\frac{d\theta}{dx} = 0 \text{ pada } x = L$$

Sehingga dengan syarat ini didapatkan harga-harga C1 dan

C2 adalah

$$C1 = \frac{To - T}{1 + e^{2mL}} \quad \text{dan} \quad C2 = \frac{To - T}{1 - e^{2mL}}$$

Dengan menggunakan Definisi II, maka persamaan 2 - 15 menjadi

$$\frac{T - T}{} = \frac{e^{-mx}}{1 + e^{-2mL}} + \frac{e^{mx}}{1 - e^{2mL}}$$

$$= \frac{e^{mL} \quad e^{-mx}}{e^{mL} \ (1+e^{-2mL})} + \frac{e^{-mL} \quad e^{mx}}{e^{-mL} + e^{mL}}$$

$$= \frac{e^{m(L-x)}}{e^{mL} + e^{-mL}} + \frac{e^{-m(L-x)}}{e^{-mL} + e^{mL}}$$

$$= \frac{e^{m(L-x)} + e^{-m(L-x)}}{e^{mL} + e^{-mL}}$$

$$= \frac{\cos h \ \{m \ (L-x) \ \}}{\cos h \ (mL)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \ (2-16)$$

$$q \ batang = \sqrt{hP \ kA} \ (To - T \ ) \ (\frac{1}{1 + e^{2mL}} - \frac{1}{1 + e^{-2mL}} \ )$$

$$\ldots\ldots\ldots\ldots \ (2 - 17)$$

$$\frac{1}{1 + e^{2mL}} - \frac{1}{1 + e-2mL} = \frac{1}{\frac{e-mL + emL}{e-mL}} - \frac{1}{\frac{emL + e-mL}{emL}}$$

$$= \frac{e-mL}{emL + e-mL} - \frac{emL}{emL + e-mL}$$

$$= \frac{e-mL - emL}{emL + e-mL}$$

Dengan menggunakan definisi II ke dalam pers (2 - 17) diperoleh.

$$q \text{ batang} = \sqrt{hP\, ka}\ (To - T\ \ )\ \tan h(mL) \ldots\ldots\ldots (2 - 18)$$

Laju aliran panas pada batang sirip dapat dicari dari persamaan (2 -14), dengan memasukkan gradien suhu pada akar sirip (x=0) yaitu

$$\left.\frac{dt}{dx}\right|_{x=0} = \frac{d}{dx}(To - T_\infty)\left(\frac{e^{mx}}{1 + e^{2mL}} + \frac{e^{-mx}}{1 + e^{-2mL}}\right)\Bigg|_{x=0}$$

$$= m\,(To - T_\infty)\left(\frac{e^{m(o)}}{1 + e^{2mL}} + \frac{e^{-m(o)}}{1 + e^{-2mL}}\right)$$

$$= m\,(To - T_\infty)\left(\frac{1}{1 + e^{2mL}} - \frac{1}{1 + e^{-2mL}}\right)$$

Sehingga diperoleh

$$q \text{ batang} = -kA\left.\frac{dT}{dx}\right|_{x=0}$$

$$= -kA\,(m(To - T_\infty)\left(\frac{1}{1 + e^{2mL}} - \frac{1}{1 + e^{-2mL}}\right))$$

$$= -kA\,m\,(To - T_\infty)\left(\frac{1}{1 + e^{2mL}} - \frac{1}{1 + e^{-2mL}}\right)$$

Karena $m^2 = \dfrac{h\,P}{k\,A} \longrightarrow m = \sqrt{\dfrac{h\,P}{k\,A}}$

Maka

$$q \text{ batang} = -kA\sqrt{\frac{h\,P}{k\,A}}\ (To - T_\infty)\left(\frac{1}{1 + e^{2mL}} - \frac{1}{1 + e^{-2mL}}\right)$$