

KONVEKSI PAKSA

► Contoh Kasus 2-1

Suatu plat rata bujur sangkar berukuran $20 \times 20 \text{ cm}^2$ dijaga pada suhu tetap 120°C . Fluida pada suhu 80°C mengalir di atasnya dengan kecepatan $0,1 \text{ m/s}$. Berapa kalor yang dilepas plat tersebut jika fluidanya adalah:

- (a) Air raksa
- (b) Udara
- (c) Minyak mesin

Jawab:

Suhu film, $T_f = (80 + 120)/2 = 100^\circ\text{C}$.

Sifat-sifat fisik pada suhu film adalah:

Fluida	ρ [kg/m^3]	ν [m^2/s]	k [$\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$]	Pr
Air Raksa	13.385	$0,0928 \times 10^{-6}$	10,51	0,0162
Udara	0,9945	$23,12 \times 10^{-6}$	0,0317	0,693
Minyak Mesin	840	$0,203 \times 10^{-4}$	0,137	276

(a) Air Raksa

Bilangan Reynolds adalah:

$$Re_x = \frac{u_\infty L}{\nu} = \frac{(0,1)(0,2)}{0,0928 \times 10^{-6}} = 2,2 \times 10^5$$

Bilangan Peclet adalah:

$$Pe_x = Re_x \cdot Pr = (2,2 \times 10^5) (0,0162) = 3564$$

Bilangan Nusselt adalah:

$$Nu_x = 0,530 Pe_x^{1/2} = 0,530 (3564)^{1/2} = 31,64$$

$$h_x = \frac{Nu_x k}{L} = \frac{(31,64)(10,51)}{0,2} = 1663$$

Nilai rata-rata koefisien perpindahan kalor adalah:

$$\bar{h} = 2 \cdot h_x = (2) (1663) = 3326$$

Sehingga perpindahan kalor total menjadi:

$$\begin{aligned} Q &= \bar{h} A (T_w - T_\infty) \\ &= (3326) (0,2)^2 (120 - 80) \\ &= 5322 \text{ W} \end{aligned}$$

(b) Udara

Bilangan Reynolds adalah:

$$Re_x = \frac{u_\infty L}{\nu} = \frac{(0,1)(0,2)}{23,12 \times 10^{-6}} = 865$$

Bilangan Nusselt adalah:

$$\bar{Nu} = 0,664 Pr^{1/3} \cdot Re^{1/2} = 0,664 (0,693)^{1/3} (865)^{1/2} = 17,28$$

$$\bar{h} = \frac{\bar{Nu} \cdot k}{L} = \frac{(17,28)(0,0317)}{0,2} = 3$$

Sehingga perpindahan kalor total menjadi:

$$\begin{aligned} Q &= \bar{h} \cdot A (T_w - T_\infty) \\ &= (3) (0,2)^2 (120 - 80) \\ &= 5 \text{ W} \end{aligned}$$

(c) Minyak Mesin

Bilangan Reynolds adalah:

$$Re_x = \frac{u_\infty \cdot L}{\nu} = \frac{(0,1)(0,2)}{0,203} = 985$$

Karena bilangan Prandtl untuk minyak mesin cukup besar, maka kita gunakan Persamaan (2-10)

Bilangan Nusselt adalah:

$$Nu_x = \frac{0,3387 Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0,0468}{Pr} \right)^{2/3} \right]^{1/4}}$$

$$Nu_x = \frac{0,3387 (985)^{1/2} (276)^{1/3}}{\left[1 + \left(\frac{0,0468}{276} \right)^{2/3} \right]^{1/4}} = 69,16$$

$$h_x = \frac{Nu_x k}{L} = \frac{(69,16)(0,137)}{0,2} = 47$$

Nilai rata-rata koefisien perpindahan kalor adalah:

$$\bar{h} = 2 h_x = (2) (47) = 94$$

Sehingga perpindahan kalor total adalah:

$$\begin{aligned} q &= \bar{h} A (T_w - T_\infty) \\ &= (94) (0,2)^2 (120 - 80) \\ &= 150 \text{ W} \end{aligned}$$

Dari hasil hitungan tampak bahwa perpindahan kalor terbesar terjadi pada fluida logam cair, hal ini disebabkan oleh besarnya konduktivitas kalor logam cair. Hasil perhitungan kita buat dalam bentuk tabel sebagai berikut:

Fluida	Nu_x	\bar{h} [W/m ² .°C]	q [W]
Air Raksa	31,64	3326	5322
Udara	17,28	3	5
Minyak Motor	69,16	94	150

Udara atmosfer pada $T_T = 275$ K dan $u_T = 20$ m/s mengalir sepanjang plat rata dengan panjang $L = 1,5$ m yang dijaga pada suhu dinding $T_w = 325$ K.

(a) Tentukan koefisien perpindahan kalor rata-rata \bar{h} sepanjang daerah aliran laminar.

(b) Berapa koefisien perpindahan kalor rata-rata (h) sepanjang plat $L = 1,5$ m

(c) Hitung perpindahan kalor total pada plat jika lebarnya $w = 1$ m.

Asumsikan transisi terjadi pada $Re_c = 2.10^5$

$$T_f = (275 + 325)/2 = 300 \text{ K}$$

Sifat-sifat fisik udara pada suhu film 300 K adalah:

$$k = 0,026 \text{ W/m}\cdot^\circ\text{C}, \quad v = 15,69 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad Pr = 0,708$$

untuk $Re_c = 2.10^5$, lokasi x_c di mana transisi terjadi adalah:

$$x_c = \frac{v Re_c}{u_\infty} = \frac{(15,69 \times 10^{-6})(2 \times 10^5)}{20} = 0,157 \text{ m}$$

(a) Koefisien perpindahan kalor rata-rata untuk lapisan batas laminar didapat dari Persamaan (2-9)

$$\begin{aligned} \bar{h} &= 0,664 \left[\frac{k}{x_c} \right] Pr^{1/3} Re_c^{1/2} \\ &= 0,664 \left[\frac{0,026}{0,157} \right] (0,708)^{1/3} (2 \times 10^5)^{1/2} \end{aligned}$$

(b) Bilangan Reynolds pada $L = 1,5$ m adalah:

$$Re_L = \frac{u_\infty L}{\nu} = \frac{(20)(1,5)}{15,69 \times 10^{-6}} = 1,91 \times 10^6$$

Koefisien perpindahan kalor rata-rata \bar{h} sepanjang $L = 1,5$ m dengan mengabaikan koreksi viskositas, kita peroleh dari Persamaan (2-14):

$$\begin{aligned}\bar{h} &= 0,036 \left[\frac{k}{x} \right] Pr^{0,43} (Re_L^{0,8} - 9200) \\ &= 0,036 \left[\frac{0,026}{1,5} \right] (0,708)^{0,43} \left[(1,91 \times 10^6)^{0,8} - 9200 \right] \\ &= 50,4 \text{ W/m}^2 \cdot \text{°C}\end{aligned}$$

(c) Perpindahan kalor total menjadi:

$$\begin{aligned}q &= w L \bar{h} (T_w - T_\infty) \\ &= (1) (1,5) (50,4) (325 - 275) \\ &= 3780 \text{ W}\end{aligned}$$

Udara atmosfer pada $T_{\infty} = 250 \text{ K}$ dan kecepatan aliran bebas $u_{\infty} = 30 \text{ m/s}$ mengalir melintas silinder yang berdiameter $D = 2,5 \text{ cm}$. Permukaan silinder dijaga pada temperatur seragam 350 K . Hitunglah:

- Koefisien perpindahan kalor rata-rata \bar{h}
- Laju perpindahan kalor tiap 1 m panjang silinder.

Suhu film, $T_f = (250 + 300)/2 = 300 \text{ K}$.

Sifat-sifat fisik pada suhu film:

$$k = 0,0262 \text{ W/m}\cdot^{\circ}\text{C} \quad \nu = 15,69 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad Pr = 0,708$$

Angka Reynolds menjadi:

$$Re = \frac{u_{\infty} D}{\nu} = \frac{(30)(0,025)}{15,69 \times 10^{-6}} = 47.801$$

- Koefisien perpindahan kalor rata-rata \bar{h} dapat kita tentukan dengan menggunakan Persamaan (2-18):

$$\begin{aligned} \overline{Nu} &= [0,4 Re^{0,5} + 0,06 Re^{2/3}] Pr^{0,4} \\ &= [0,4 (47.801)^{0,5} + 0,06 (47.801)^{2/3}] (0,708)^{0,4} \\ &= 145 \end{aligned}$$

$$\bar{h} = \frac{\overline{Nu} k}{D} = \frac{(145)(0,0262)}{0,025} = 152 \text{ W/m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$$

(b) Laju perpindahan kalor menjadi:

$$\begin{aligned}q' &= \bar{h} (\pi DL) (T_w - T_\infty) \\ &= (152) (\pi \times 0,025 \times 1) (350 - 250) \\ &= 1193 \text{ W/m}\end{aligned}$$

Jika kita gunakan Persamaan (2-20) sebagai perbandingan, maka hasilnya dapat kita lihat pada tabel sebagai berikut:







$$\bar{Nu} = 0,3 + \frac{0,62 Re^{1/2} \cdot Pr^{1/3}}{\left[1 + \left[\frac{0,4}{Pr}\right]^{2/3}\right]^{1/4}} \left[1 + \left(\frac{Re}{282000}\right)^{1/2}\right] \quad (2-20)$$

Persamaan	Nu	\bar{h} [W/m ² .°C]	q' [W/m]
Whitaker	145	152	1193
Churchill-Bernstein	150	157	1232


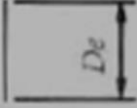
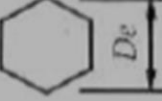
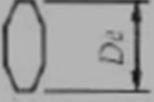
2.4 ALIRAN MENYILANG SILINDER TAK BUNDAR

$$\overline{Nu} = \frac{\bar{h} D}{k} = C Re^n \quad (2-24)$$



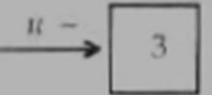
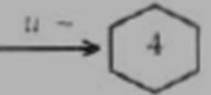
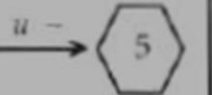
Tabel 2-2 Konstanta C dan n untuk Persamaan (2-24)

Geometri	$Re = \frac{U_{\infty} D}{\nu}$	n	C
	5.000 - 100.000	0.588	0.222
	2.500 - 5.000	0.612	0.224
	2.500 - 7.500	0.624	0.261
	5.000 - 100.000	0.638	0.138
	5.000 - 19.500	0.638	0.144
	5.000 - 100.000	0.675	0.092

Tabel 2-2 Konstanta C dan n untuk Persamaan (2-24) (lanjutan)

Geometri	$Re = \frac{U_{\infty} D}{\nu}$	n	C
	2.500 – 8.000	0.699	0.160
	4.000 – 15.000	0.731	0.205
	19.500 – 100.000	0.782	0.035
	3.000 – 15.000	0.804	0.085

Tabel 2-3 Perbandingan harga Nusselt untuk berbagai geometri

	Nu				
Re					
10000	50,81	49,93	46,11	51,33	49,19
20000	77,98	75,05	73,62	80,81	76,55
30000	100,18	95,26	96,79	110,96	99,15
40000	199,67	112,81	117,54	138,96	119,12
50000	143,19	128,63	136,64	165,45	137,35
60000	165,83	143,19	154,54	190,80	154,29
70000	187,74	156,77	171,66	215,25	170,24
80000	209,04	169,58	187,66	238,94	185,37
90000	229,83	181,74	203,19	261,99	199,84
100000	250,18	193,35	218,17	284,49	213,74

