LATIHAN SOAL DAN PENYELESAIANNYA

PERPINDAHAN PANAS KONDUKSI DASAR

Contoh 1-1

Salah satu muka sebuah plat tembaga yang tebalnya 3 cm mempunyai suhu tetap 400°C, sedang suhu muka yang sebelah lagi selalu 100°C. Berapa kalor yang dipindahkan melintasi lempeng itu?

Daftar 1-4 Besaran SI yang Digunakan dalam Perpindahan Kalor

Besaran	*Singkatan satuan*
Gaya (kakas)	N (newton)
Massa	kg (kilogram massa)
Waktu	s (detik)
Panjang	m (meter)
Suhu	°C atau K
Energi	J (joule)
Daya (power)	W (watt)
Konduktivitas termal	W/m.°C
Koefisien perpindahan kalor	$W/m^2.^2C$
Kalor spesifik	J/kg.°C
Fluks kalor	W/m^2

Penyelesaian

Dari Lampiran A terlihat konduktivitas termal tembaga ialah 370 W/m.°C pada 250°C. Dari hukum Fourier didapatkan :

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

Dengan integrasi didapatkan :

$$\frac{q}{A} = -k\frac{\Delta T}{\Delta x} = \frac{-(370)(100-400)}{3\times 10^{-2}} = 3{,}7\ \mathrm{MW/m^2} \quad [1{,}172\times 10^6\ \mathrm{Btu/h\cdot ft^2}]$$

Contoh 1-2

Udara pada 20°C bertiup di atas plat panas 50 × 75 cm. Suhu plat dijaga 25°C. Koefisien perpindahan kalor konveksi ialah 25 W/m^2.°C. Hitunglah perpindahan kalor.

Penyelesaian

Dari hukum Newton tentang pendinginan :

$$\begin{aligned} q &= hA(T_w - T_\infty) \\ &= (25)(0{,}50)(0{,}75)(250-20) \\ &= 2{,}156\ \mathrm{kW} \quad [7356\ \mathrm{Btu/h}] \end{aligned}$$

Contoh 1-3

Andaikan plat pada Contoh 1-2 di atas terbuat dari baja karbon (1%), yang tebalnya 2 cm; dan bahwa kalor yang hilang dari muka plat karena radiasi adalah 300 W. Hitunglah suhu dalam plat.

Penyelesaian

Kalor yang dihantarkan melalui plat mesti sama dengan kalor yang hilang karena konveksi dan konduksi :

$$q_{cond} = q_{conv} + q_{rad}$$

$$-kA\frac{\Delta T}{\Delta x} = 2{,}156 + 0{,}3 = 2{,}456 \text{ kW}$$

$$\Delta T = \frac{(-2456)(0{,}02)}{(0{,}5)(0{,}75)(43)} = -3{,}05°\text{C} \quad [-5{,}49°\text{F}]$$

di mana nilai k diambilkan dari Daftar 1-1. Jadi, suhu di dalam plat :

$$T_i = 250 + 3{,}05 = 253{,}05°\text{C}$$

KONDUKSI STEDI – SATU – DIMENSI

Contoh 2-1

Dinding luar sebuah rumah terdiri dari satu lapisan bata setebal 4 inci [k = 0,7 W/m.°C], diikuti lapisan plaster gipsum (*gypsum plaster*) setebal 1,5 inci [k = 0,48 W/m.°C]. Berapa tebal isolasi wol-batuan (*rock-wool*) yang ditetal longgar (*loosely packed*) [k = 0,065 W/m.°C] mesti ditempelkan untuk mengurangi rugi (atau untung) kalor melalui dinding itu sebanyak 80 persen?

Penyelesaian

Rugi kalor menyeluruh ialah

$$q = \frac{\Delta T}{\Sigma R_{th}}$$

Oleh karena rugi kalor dengan isolasi wol-batuan hanya boleh 20 persen (pengurangan 80 persen) dari rugi sebelum pemakaian isolasi, maka

$$\frac{q \text{ dengan isolasi}}{q \text{ tanpa isolasi}} = 0{,}2 = \frac{\Sigma R_{th} \text{ dengan isolasi}}{\Sigma R_{th} \text{ tanpa isolasi}}$$

Untuk bata dan plaster, per satuan luas

$$R_b = \frac{\Delta x}{k} = \frac{(4)(0{,}0254)}{0{,}7} = 0{,}145 \text{ m}^2 \cdot °\text{C/W}$$

$$R_s = \frac{\Delta x}{k} = \frac{(1,5)(0,0254)}{0,48} = 0,079\ \mathrm{m^2 \cdot {}^\circ C/W}$$

sehingga tahanan termal tanpa isolasi menjadi

$$R = 0,145 + 0,079 = 0,224\ \mathrm{m^2 \cdot {}^\circ C/W}$$

Kemudian

$$R \text{ dengan isolasi} = \frac{0,224}{0,2} = 1,122\ \mathrm{m^2 . {}^\circ C/W}$$

dan ini merupakan jumlah dari nilai semula dan tahaann wol-batuan.

$$1,122 = 0,224 + R_{rw}$$

$$R_{rw} = 0,898 = \frac{\Delta x}{k} = \frac{\Delta x}{0,065}$$

sehingga

$$\Delta x_{rw} = 0,0584\ \mathrm{m} = 2,30\ \mathrm{in}$$

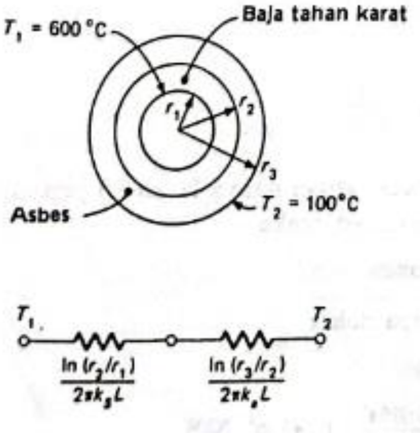
Contoh 2-2

Suatu tabung berdinding tebal terbuat dari baja tahan-karat [18% Cr, 8% Ni, k = 19/ W/m.°C], dengan diameter-luar 4 cm, dibalut dengan isolasi asbes setebal 3 cm [k = 0,2 W/m.°C]. Jika suhu dinding-dalam pipa itu 600°C dan suhu dinding-luar isolasi 100°C, hitunglah rugi kalor per meter panjang.

Penyelesaian

Gambar di bawah ini menunjukkan jaringan termal untuk soal ini. Aliran kalor diberikan oleh

$$\frac{q}{L} = \frac{2\pi(T_1 - T_2)}{\ln(r_2/r_1)/k_s + \ln(r_3/r_2)/k_a} = \frac{2\pi(600 - 100)}{(\ln 2)/19 + (\ln \frac{5}{2})/0,2} = 680\ \mathrm{W/m}$$



Gambar Contoh 2-2

PERPINDAHAN PANAS KONDUKSI STEDI DIMENSI RANGKAP

Contoh 3-1

Sebuah pipa horizontal, diameter 15 cm dan panjang 4 m, dibenamkan di dalam tanah pada kedalaman 20 cm. Suhu dinding pipa 75°C, dan suhu permukaan tanah 5°C. Andaikan konduktivitas termal tanah 0,8 W/m.°C, hitunglah kalor yang lepas dari pipa.

Penyelesaian

Faktor bentuk untuk situasi ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan dalam Daftar 3-1. Oleh karena $D < r$.

$$S = \frac{2\pi L}{\cosh^{-1}(D/r)} = \frac{2\pi(4)}{\cosh^{-1}(20/7,5)} = 15,35 \text{ m}$$

Aliran kalor dihitung dari

$$q = kS\,\Delta T = (0,8)(15,35)(75 - 5) = 859,6 \text{ W} \quad [2933 \text{ Btu/h}]$$

Contoh 3-2

Sebuah tanur kecil berbentuk kubus, ukuran dalam 50 × 50 × 50 cm, terbuat dari bata tahan-api [k = 1,04 W/m.°C] yang tebalnya 10 cm. Bagian dalam tanur berada pada suhu 500°C, sedang bagian luar pada 50°C. Hitunglah kalor yang hilang melalui dinding tanur.

Penyelesaian

Faktor-bentuk total dihitung dengan menjumlahkan faktor-faktor bentuk dinding, tepi, dan sudut:

Dinding : $$S = \frac{A}{L} = \frac{(0,5)(0,5)}{0,1} = 2,5 \text{ m}$$

Tepi : $$S = 0,54D = (0,54)(0,5) = 0,27 \text{ m}$$

Sudut : $$S = 0,15L = (0,15)(0,1) = 0,015 \text{ m}$$

Seluruhnya ada 6 dinding, 12 tepi, dan 8 sudut, sehingga faktor-bentuk total ialah :

$$S = (6)(2,5) + (12)(0,27) + (8)(0,015) = 18,36 \text{ m}$$

dan aliran kalor dapat dihitung:

$$q = kS\,\Delta T = (1,04)(18,36)(500 - 50) = 8,592 \text{ kW} \quad [29,320 \text{ Btu/h}]$$

PERPINDAHAN PANAS RADIASI

Contoh 8-1 Transmisi dan absorpsi pada plat gelas

Sebuah plat gelas ukuran bujur-sangkar 30 cm digunakan untuk melihat radiasi dari dalam tanur. Transmisivitas gelas ialah 0,5 dari 0,2 sampai 3,5 μm. Emisivitas dapat dianggap 0,3 sampai 3,5 μm, dan 0,9 di atas itu. Transmisivitas gelas ialah nol, kecuali dalam jangkau 0,2 sampai 3,5 μm. Andaikan tanur itu suatu benda-hitam pada 2000°C, hitunglah energi yang diserap gelas itu dan energi yang ditransmisi.

Penyelesaian

$$T = 2000°C = 2273 \text{ K}$$

$$\lambda_1 T = (0{,}2)(2273) = 454{,}6 \ \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

$$\lambda_2 T = (3{,}5)(2273) = 7955{,}5 \ \mu\text{m} \cdot \text{K}$$

$$A = (0{,}3)^2 = 0{,}09 \text{ m}^2$$

Dari Daftar 8-1

$$\frac{E_{b_{0-\lambda 1}}}{\sigma T^4} = 0 \qquad \frac{E_{b_{0-\lambda 2}}}{\sigma T^4} = 0{,}85443$$

$$\sigma T^4 = (5{,}669 \times 10^{-8})(2273)^4 = 1513{,}3 \text{ kW/m}^2$$

Total radiasi datang

$$0{,}2 \ \mu\text{m} < \lambda < 3{,}5 \ \mu\text{m} = (1{,}5133 \times 10^6)(0{,}85443 - 0)(0{,}3)^2$$
$$= 116{,}4 \text{ kW} \quad [3{,}97 \times 10^5 \text{ Btu/h}]$$

Transmisi radiasi total = (0,5)(116,5) = 58,2 kW.

$$\text{Absorpsi radiasi} = \begin{cases} (0{,}3)(116{,}4) = 34{,}92 \text{ kW} & \text{untuk } 0 < \lambda < 3.5 \ \mu\text{m} \\ (0{,}9)(1 - 0{,}85443)(1513{,}3)(0{,}09) = 17{,}84 \text{ kW} & \text{untuk } 3{,}5 \ \mu\text{m} < \lambda < \infty \end{cases}$$

Total absorpsi radiasi = 34,94 + 17,84 = 52,76 kW [180.000 Btu/h].

Contoh 8-2 *Perpindahan-kalor antara benda-hitam*

Dua plat hitam sejajar ukuran 0,5 × 1,0 m terpisah pada jarak 0,5 m. Salah satu plat dipelihara pada suhu 1000°C dan yang satu lagi 500°C. Berapa pertukaran kalor radiasi antara kedua plat itu?

Penyelesaian

Perbandingan yang digunakan dengan Gambar 8-12 ialah

$$\frac{Y}{D} = \frac{0{,}5}{0{,}5} = 1{,}0 \qquad \frac{X}{D} = \frac{1{,}0}{0{,}5} = 2{,}0$$

sehingga $F_{12} = 0{,}285$. Perpindahan kalor dihitung dari

$$q = A_1 F_{12}(E_{b_1} - E_{b_2}) = \sigma A_1 F_{12}(T_1^4 - T_2^4)$$
$$= (5{,}669 \times 10^{-8})(0{,}5)(0{,}285)(1273^4 - 773^4)$$
$$= 18{,}33 \text{ kW} \quad [62{,}540 \text{ Btu/h}]$$

Contoh 8-3 Aljabar faktor-bentuk

Dua silinder kosentrik yang mempunyai diameter 10 dan 20 cm, panjangnya 20 cm. Hitunglah faktor bentuk antara ujung-ujung terbuka silinder itu.

Penyelesaian

Nomenklatur Gambar 8-15 kita gunakan untuk soal ini, dan ujung-ujung yang terbuka kita namakan permukaan 3 dan 4. Kita ketahui $L/r_2 = 20/10 = 2{,}0$ dan $r_1/r_2 = 0{,}5$; sehingga dari Gambar 8-15 kita dapat

$$F_{21} = 0{,}43 \qquad F_{22} = 0{,}33$$

Dengan menggunakan hubungan resiprositas (Persamaan (8-18)] kita dapat

$$A_1F_{12} = A_2F_{21} \quad \text{dan} \quad F_{12} = (d_2/d_1)F_{21} = (20/10)(0{,}43) = 0{,}86$$

Untuk permukaan 2 kita dapat

$$F_{21} + F_{22} + F_{23} + F_{24} = 1{,}0$$

Dari simetri $F_{23} = F_{24}$ sehingga

$$F_{23} = F_{24} = (\tfrac{1}{2})(1 - 0{,}43 - 0{,}33) = 0{,}12$$

Menggunakan resiprositas lagi,

$$A_2F_{23} = A_3F_{32}$$

dan

$$F_{32} = \frac{\pi(10)(20)}{\pi(20^2 - 10^2)/4}0{,}12 = 0{,}64$$

Kita lihat bahwa $F_{11} = F_{33} = F_{44} = 0$ dan untuk permukaan 3

$$F_{31} + F_{32} + F_{34} = 1{,}0 \qquad (a)$$

Jadi, jika F_{31} dapat ditentukan, besaran F_{34} yang dicari dapat dihitung. Untuk permukaan 1

$$F_{12} + F_{13} + F_{14} = 1{,}0$$

dan dari simetri $F_{13} = F_{14}$ sehingga

$$F_{13} = (\tfrac{1}{2})(1 - 0{,}86) = 0{,}07$$

Dengan menggunakan resiprositas kita dapat

$$A_1F_{13} = A_3F_{31}$$

$$F_{31} = \frac{\pi(10)(20)}{\pi(20^2 - 10^2)/4}0{,}07 = 0{,}187$$

Lalu, dari Persamaan (a)

$$F_{34} = 1 - 0{,}187 - 0{,}64 = 0{,}173$$

Contoh 8-4 Aljabar faktor-bentuk

Sebuah kerucut terpotong permukaan atas dan bawahnya mempunyai diameter 10 dan 20 cm, dan tingginya 10 cm. Hitunglah faktor bentuk antara permukaan atas dan sisi, dan juga faktor bentuk antara sisi dengan sisi itu sendiri.

Penyelesaian

Kita gunakan Gambar 8-16 untuk penyelesaian soal ini dan nomenklatur seperti pada gambar itu, dan bagian atas sebagai permukaan 2, dan bawah sebagai permukaan 3. Jadi, besaran yang dicari ialah F_{23} dan F_{33}. Kita punya $L/r_i = 10/10 = 1,0$ dan $r_2/L = 5/10 = 0,5$. Jadi, dari Gambar 8-16

$$F_{12} = 0,12$$

Dari resiprositas [Persamaan (8-18)]

$$A_1F_{12} = A_2F_{21}$$

$$F_{21} = (20/10)(0,12) = 0,24$$

dan

$$F_{22} = 0$$

sehingga

$$F_{21} + F_{23} = 1,0$$

dan

$$F_{23} = 1 - 0,24 = 0,76$$

Untuk permukaan 3,

$$F_{31} + F_{32} + F_{33} = 1,0 \qquad (a)$$

sehingga untuk menentukan F_{33} kita harus menentukan F_{31} dan F_{32}. Oleh karena $F_{11} = 0$ kita dapat

$$F_{12} + F_{13} = 1,0 \qquad \text{dan} \qquad F_{13} = 1 - 0,12 = 0,88$$

dan dari resiprositas

$$A_1F_{13} = A_3F_{31} \qquad (b)$$

Luas permukaan sisi ialah

$$A_3 = \pi(r_1 + r_2)[(r_1 - r_2)^2 + L^2]^{1/2}$$
$$= \pi(5 + 10)(5^2 + 10^2)^{1/2} = 526,4 \text{ cm}^2$$

Jadi, dari Persamaan (*b*)

$$F_{31} = \frac{\pi(10^2)}{526,9}\,0,88 = 0,525$$

Prosedur yang serupa kita terapkan pada permukaan 2, sehingga

$$F_{32} = \frac{\pi(5)^2}{526,9}\,0,76 = 0,113$$

Akhirnya, dari Persamaan (*a*)

$$F_{33} = 1 - 0,525 - 0,113 = 0,362$$

Contoh 8-5 Plat panas dalam ruang

Dua buah plat sejajar, ukuran 0,5 × 1,0 m berjarak 0,5 m satu sama lain. Plat yang satu dipelihara pada suhu 1000°C, dan yang satu lagi pada 500°C. Emisivitas plat itu masing-masing 0,2 dan 0,5. Kedua plat itu terletak di dalam sebuah ruang yang sangat besar, yang dinding-dindingnya dipelihara pada suhu 27°C. Kedua plat itu saling bertukaran kalor satu sama lain, dan dengan ruang itu, tetapi hanya permukaan plat yang saling berhadapan yang perlu diperhatikan dalam analisa ini. Tentukan perpindahan neto ke setiap plat dan ke ruang.

Penyelesaian

Soal ini merupakan soal tiga-benda, dua plat dan sebuah ruang, sehingga jaringan radiasi ialah seperti pada Gambar 8-27. Dari data soal ini,

$$T_1 = 1000°C = 1273\text{ K} \qquad A_1 = A_2 = 0{,}5\text{ m}^2$$

$$T_2 = 500°C = 773\text{ K} \qquad \epsilon_1 = 0{,}2$$

$$T_3 = 27°C = 300\text{ K} \qquad \epsilon_2 = 0{,}5$$

Oleh karena luas ruang A_3 sangat besar, maka tahanan $(1 - \epsilon_3)/\epsilon_3 A_3$ dapat dianggap nol, dan kita dapat $E_{b_3} = J_3$. Faktor-bentuk diberikan dalam Contoh 8-2 :

$$F_{12} = 0{,}285 = F_{21}$$

$$F_{13} = 1 - F_{12} = 0{,}715$$

$$F_{23} = 1 - F_{21} = 0{,}715$$

Tahanan-tahanan dalam jaringan itu kita hitung :

$$\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} = \frac{1-0{,}2}{(0{,}2)(0{,}5)} = 8{,}0 \qquad \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2} = \frac{1-0{,}5}{(0{,}5)(0{,}5)} = 2{,}0$$

$$\frac{1}{A_1 F_{12}} = \frac{1}{(0{,}5)(0{,}285)} = 7{,}018 \qquad \frac{1}{A_1 F_{13}} = \frac{1}{(0{,}5)(0{,}715)} = 2{,}797$$

$$\frac{1}{A_2 F_{23}} = \frac{1}{(0{,}5)(0{,}715)} = 2{,}797$$

Dengan menganggap $(1 - \epsilon_3)/\epsilon_3 A_3$ nol, maka kita mendapat jaringan seperti pada gambar. Untuk menghitung aliran kalor pada masing-masing permukaan, kita harus tentukan radiositas J_1 dan J_2. Jaringan ini kita selesaikan dengan membuat jumlah arus kalor yang memasuki node J_1 dan J_2 nol :

node J_1:
$$\frac{E_{b_1} - J_1}{8{,}0} + \frac{J_2 - J_1}{7{,}018} + \frac{E_{b_3} - J_1}{2{,}797} = 0 \tag{a}$$

node J_2:
$$\frac{J_1 - J_2}{7{,}018} + \frac{E_{b_3} - J_2}{2{,}797} + \frac{E_{b_2} - J_2}{2{,}0} = 0 \tag{b}$$

sekarang
$$E_{b_1} = \sigma T_1^4 = 148{,}87\text{ kW/m}^2 \quad [47{,}190\text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2]$$

$$E_{b_2} = \sigma T_2^4 = 20{,}241\text{ kW/m}^2 \quad [6416\text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2]$$

$$E_{b_3} = \sigma T_3^4 = 0{,}4592\text{ kW/m}^2 \quad [145{,}6\text{ Btu/h}\cdot\text{ft}^2]$$

Dengan menyisipkan nilai-nilai E_{b_1}, E_{b_2} dan E_{b_3} ke dalam Persamaan (a) dan (b), kita dapat dua persamaan dengan dua faktor yang tak diketahui, yaitu J_1 dan J_2, yang dapat diselesaikan secara serentak, dan memberikan

$$J_1 = 33{,}469\text{ kW/m}^2 \qquad J_2 = 15{,}054\text{ kW/m}^2$$

Rugi kalor total dari plat 1 ialah

$$q_1 = \frac{E_{b_1} - J_1}{(1-\epsilon_1)/\epsilon_1 A_1} = \frac{148{,}87 - 33{,}469}{8{,}0} = 14{,}425\text{ kW}$$

dan rugi kalor total dari plat 2

$$q_2 = \frac{E_{b_2} - J_2}{(1-\epsilon_2)/\epsilon_2 E_2} = \frac{20{,}241 - 15{,}054}{2{,}0} = 2{,}594\text{ kW}$$

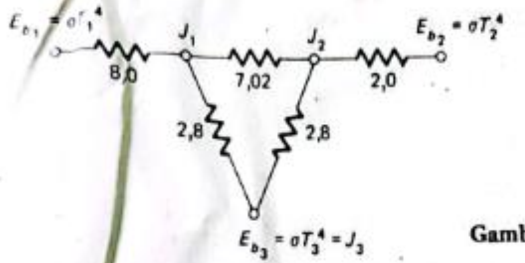
Kalor total yang diterima ruang

$$q_3 = \frac{J_1 - J_3}{1/A_1F_{13}} + \frac{J_2 - J_3}{1/A_2F_{23}}$$
$$= \frac{33{,}469 - 0{,}4592}{2{,}797} + \frac{15{,}054 - 0{,}4592}{2{,}797} = 17{,}020 \text{ kW} \quad [58{,}070 \text{ Btu/h}]$$

Dari sudut neraca-menyeluruh, kita mesti mendapat

$$q_3 = q_1 + q_2$$

karena energi neto yang dilepaskan kedua plat mestilah diserap oleh ruang itu



Gambar Contoh 8-5

Contoh 8-6 Permukaan dalam neraca-radiasi

Dua buah siku-empat 50 × 50 cm dipasang tegak-lurus satu sama lain dengan sebuah sisi bersama. Salah satu permukaan mempunyai suhu $T_1 = 1000$ K, $\epsilon_1 = 0{,}6$, sedang permukaan yang satu lagi diisolasi dan berada dalam keseimbangan radiasi dengan ruang sekelilingnya yang berada pada suhu 300 K. Tentukan suhu permukaan yang diisolasi dan kalor yang dilepas permukaan yang 1000 K.

Penyelesaian

Jaringan radiasi ditunjukkan dalam gambar contoh ini, di mana permukaan 3 ialah ruang kamar dan permukaan 2 ialah permukaan yang diisolasi. Ingat bahwa $J_3 = E_{b_3}$ karena ruang itu besar dan $(1 - \epsilon_3)/\epsilon_3 A_2$ mendekati nol. Karena permukaan 2 diisolasi, perpindahan kalornya nol dan $J_2 = E_{b_2}$. J_2 "terapung" dalam jaringan itu dan ditentukan dari neraca energi menyeluruh. Dari Gambar 8-14, faktor bentuk ialah

$$F_{12} = 0{,}2 = F_{21}$$

Oleh karena $F_{11} = 0$ dan $F_{22} = 0$, kita dapat

$$F_{12} + F_{13} = 1{,}0 \quad \text{dan} \quad F_{13} = 1 - 0{,}2 = 0{,}8 = F_{23}$$
$$A_1 = A_2 = (0{,}5)^2 = 0{,}25 \text{ m}^2$$

Tahanan :

$$\frac{1 - \epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} = \frac{0{,}4}{(0{,}6)(0{,}25)} = 2{,}667$$

$$\frac{1}{A_1F_{13}} = \frac{1}{A_2F_{23}} = \frac{1}{(0{,}25)(0{,}8)} = 5{,}0$$

$$\frac{1}{A_1F_{12}} = \frac{1}{(0{,}25)(0{,}2)} = 20{,}0$$

Juga, kita dapat

$$E_{b_1} = (5{,}669 \times 10^{-8})(1000)^4 = 5{,}669 \times 10^4 \text{ W/m}^2$$

$$J_3 = E_{b_3} = (5{,}669 \times 10^{-8})(300)^4 = 459{,}2 \text{ W/m}^2$$

Untaian keseluruhan merupakan susunan seri-paralel dan perpindahan kalor ialah

$$q = \frac{E_{b_1} - E_{b_3}}{R_{\text{ekiv}}}$$

Kita dapat

$$R_{\text{ekiv}} = 2{,}667 + \frac{1}{\frac{1}{5} + 1/(20 + 5)} = 6{,}833$$

dan

$$q = \frac{56{,}690 - 459{,}2}{6{,}833} = 8{,}229 \text{ kW} \quad [28{,}086 \text{ Btu/h}]$$

Perpindahan kalor ini dapat pula ditulis

$$q = \frac{E_{b_1} - J_1}{(1 - \epsilon_1)/\epsilon_1 A_1}$$

dan dengan menyisipkan nilai-nilainya, kita dapat

$$J_1 = 34{,}745 \text{ W/m}^2$$

Nilai J_2 ditentukan dengan membagi tahanan antara J_1 dan J_3 sehingga

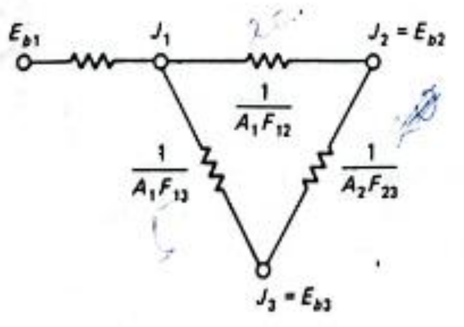
$$\frac{J_1 - J_2}{20} = \frac{J_1 - J_3}{20 + 5}$$

dan

$$J_2 = 7316 = E_{b_2} = \sigma T_2^4$$

Akhirnya, kita dapat suhu

$$T_2 = \left(\frac{7316}{5{,}669 \times 10^{-8}}\right)^{1/4} = 599{,}4 \text{ K} \quad [619°\text{F}]$$



Gambar Contoh 8-6

Contoh 8-7 *Pengurangan perpindahan-kalor oleh perisai*

Dua bidang-paralel yang sangat luas, yang mempunyai emisivitas 0,3 dan 0,8 masing-masingnya, saling bertukaran kalor. Tentukan persen pengurangan perpindahan kalor apabila di antara kedua bidang itu ditempatkan perisai radiasi aluminium-yang-diupam ($\epsilon = 0,04$).

Penyelesaian

Perpindahan kalor tanpa perisai diberikan oleh.

$$\frac{q}{A} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{1/\epsilon_1 + 1/\epsilon_2 - 1} = 0,279\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

Jaringan radiasi untuk soal dengan perisai ditunjukkan pada Gambar 8-31. Tahanannya ialah

$$\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1} = \frac{1-0,3}{0,3} = 2,333$$

$$\frac{1-\epsilon_3}{\epsilon_3} = \frac{1-0,04}{0,04} = 24,0$$

$$\frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2} = \frac{1-0,8}{0,8} = 0,25$$

Tahanan total ialah

$$2,333 + (2)(24,0) + (2)(1) + 0,25 = 52,583$$

dan perpindahan kalor

$$\frac{q}{A} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{52,583} = 0,01902\sigma(T_1^4 - T_2^4)$$

sehingga perpindahan kalor berkurang 93,2 persen.

Contoh 8-8 Perisai silinder terbuka

Dua buah silinder kosentrik pada Contoh 8-3 mempunyai T_1 = 1000 K, ϵ_1 = 0,8, ϵ_2 = 0,2 ditempatkan dalam sebuah ruang besar pada 300 K. Silinder-luar berada pada kesetimbangan radiasi. Hitunglah suhu silinder-luar dan kalor total yang dilepas dari silinder-dalam.

Penyelesaian

Jaringan untuk soal ini diberikan pada gambar contoh ini. Ruang dianggap sebagai permukaan 3, dan $J_3 = E_{b_3}$, karena ruang itu sangat besar. Dalam soal ini kita harus memperhitungkan baik bagian dalam maupun bagian luar permukaan 2, dan kita gunakan subskrip i dan o untuk menandai kedua besaran itu. Faktor-faktor bentuk didapat dari Contoh 8-3 sebagai

$$F_{12} = 0{,}86 \qquad F_{13} = (2)(0{,}07) = 0{,}14$$

$$F_{23i} = (2)(0{,}12) = 0{,}24 \qquad F_{23o} 1{,}0$$

Juga,

$$A_1 = \pi(0{,}1)(0{,}2) = 0{,}06283 \text{ m}^2$$

$$A_2 = \pi(0{,}2)(0{,}2) = 0{,}12566 \text{ m}^2$$

$$E_{b_1} = (5{,}669 \times 10^{-8})(1000)^4 = 5{,}669 \times 10^4 \text{ W/m}^2$$

$$E_{b_3} = (5{,}669 \times 10^{-8})(300)^4 = 459{,}2 \text{ W/m}^2$$

dan tahanan dapat dihitung sebagai

$$\frac{1-\epsilon_1}{\epsilon_1 A_1} = 3{,}979 \qquad \frac{1-\epsilon_2}{\epsilon_2 A_2} = 31{,}83$$

$$\frac{1}{A_1 F_{12}} = 18{,}51 \qquad \frac{1}{A_2 F_{23i}} = 33{,}16$$

$$\frac{1}{A_2 F_{23o}} = 2{,}958 \qquad \frac{1}{A_1 F_{13}} = 113{,}7$$

Jaringan ini dapat diselesaikan sebagai suatu untaian seri-paralel untuk mendapatkan perpindahan kalor, tetapi kita tentu akan memerlukan juga radiositas; karena itu kita susun tiga persamaan node untuk mencari J_1, J_{2i} dan J_{2o}. Kita jumlahkan semua arus yang masuk ke setiap node dan kita buat masing-masingnya nol :

node J_1:
$$\frac{E_{b_1} - J_1}{3,979} + \frac{E_{b_3} - J_1}{113,7} + \frac{J_{2i} - J_1}{18,51} = 0$$

node J_{2i}:
$$\frac{J_1 - J_{2i}}{18,51} + \frac{E_{b_3} - J_{2i}}{33,16} + \frac{J_{2o} - J_{2i}}{(2)(31,83)} = 0$$

node J_{2o}:
$$\frac{E_{b_3} - J_{2o}}{7,958} + \frac{J_{2i} - J_{2o}}{(2)(31,83)} = 0$$

Penyelesaian ketiga persamaan itu memberikan

$$J_1 = 50,148 \text{ W/m}^2$$
$$J_{2i} = 27,811 \text{ W/m}^2$$
$$J_{2o} = 3498 \text{ W/m}^2$$

Perpindahan kalor lalu dihitung dan

$$q = \frac{E_{b_1} - J_1}{(1 - \epsilon_1)/\epsilon_1 A_1} = \frac{56,690 - 50,148}{3,979} = 1644 \text{ W} \quad [5611 \text{ Btu/h}]$$

Dari jaringan kita lihat bahwa

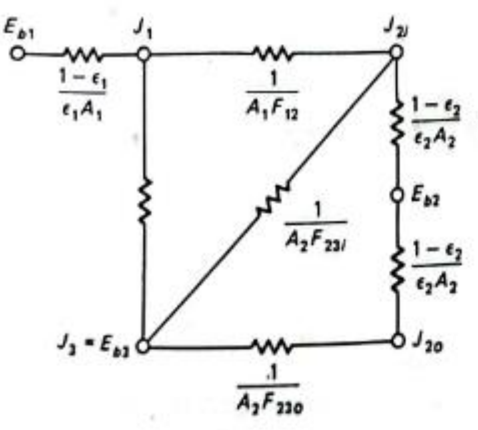
$$E_{b_2} = \frac{J_{2i} + J_{2o}}{2} = \frac{27,811 + 3498}{2} = 15,655 \text{ W/m}^2$$

dan

$$T_2 = \left(\frac{15,655}{5,669 \times 10^{-8}}\right)^{1/4} = 724,9 \text{ K} \quad [845°\text{F}]$$

Jika silinder-luar tidak berada di situ dan berperan sebagai "perisai", maka rugi kalor dan permukaan 1 dapat dihitung dari Persamaan (8-43*a*) sebagai

$$\begin{aligned} q &= \epsilon_1 A_1 (E_{b_1} - E_{b_3}) \\ &= (0,8)(0,06283)(56,690 - 459,2) = 2856 \text{ W} \quad [9645 \text{ Btu/h}] \end{aligned}$$



Gambar Contoh 8-8