

PENGANTAR PINDAH PANAS

Oleh :

Prof. Dr. Ir. Santosa, MP

**Guru Besar pada Program Studi Teknik Pertanian,
Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Andalas
Padang, September 2009**

Pindah Panas Konduksi (Hantaran)

Hukum Fourier tentang konduksi kalor :

$$q = - k \cdot A \left(\frac{\delta T}{\delta X} \right) \dots\dots\dots (1)$$

dengan :

q = laju perpindahan kalor, dalam watt

$\left(\frac{\delta T}{\delta X} \right)$ = gradien suhu ke arah perpindahan kalor, dalam $^{\circ}\text{C} / \text{m}$

k = konstanta positif, yang disebut konduktivitas panas atau kehantaran termal dari benda tersebut, dalam $\text{watt} / (\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C})$

A = luas penampang, yaitu luas yang tegak lurus arah perpindahan, dalam m^2 .

Tabel 1. Konduktivitas Termal Berbagai Bahan pada 0°C

Bahan	Konduktivitas Termal (k) (W / m . $^{\circ}\text{C}$)
<i>Logam</i>	
Perak (murni)	410
Tembaga (murni)	385
Aluminium (murni)	202
Nikel (murni)	93
Besi (murni)	73
Baja karbon, 1 % C	43
Timbal (murni)	35
Baja krom-nikel (18 % Cr, 8 % Ni)	16,3

Bukan Logam	
Kuarsa (sejajar sumbu)	41,6
Magnesit	4,15
Marmar	2,08 – 2,94
Batu pasir	1,83
Kaca, jendela	0,78
Kayu maple	0,17
Serbuk gergaji	0,059
Wol kaca	0,038
Zat Cair	
Air – raksa	8,21
Air	0,556
Amonia	0,540
Minyak lumas, SAE 50	0,147
Freon 12, CCl ₂ F ₂	0,073
Gas	
Hidrogen	0,175
Helium	0,141
Udara	0,024
Uap air (jenuh)	0,0206
Karbon dioksida	0,0146

Sumber : Jasjfi (1991)

Catatan :

Konversikan nilai konduktivitas panas aluminium tersebut dalam BTU / (h. ft. °F) !

Jawab :

$$k = 202 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C}) = 202 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C}) \times 1 (\text{joule} / \text{detik}) / \text{watt} \times 1 \text{ kalori} / (4,2 \text{ joule}) \times 1 \text{ BTU} / (252 \text{ kalori}) \times 3600 \text{ detik} / \text{h} \times 0,3048 \text{ m} / \text{ft} \times 1 ^\circ\text{C} / (1,8 ^\circ\text{F}) = 116,3446712 \text{ BTU} / (\text{h. Ft. } ^\circ\text{F}) \approx 117 \text{ BTU} / (\text{h. Ft. } ^\circ\text{F})$$

Pindah Panas Konveksi (= Ilian)

Rumus yang sangat pokok pada proses pindah panas secara konveksi ini adalah hukum Newton tentang pendinginan, sebagai berikut :

$$q = h \cdot A (T_w - T_\infty) \dots\dots\dots (2)$$

dengan :

q = laju perpindahan kalor, dalam watt

h = koefisien perpindahan kalor konveksi, dalam watt / ($m^2 \cdot ^\circ C$)

A = luas permukaan, dalam m^2

T_∞ = Suhu fluida, dalam $^\circ C$

T_w = suhu plat atau suhu dinding, dalam $^\circ C$.

T_w menunjukkan suhu permukaan, sedangkan T_∞ menunjukkan suhu arus bebas.

Tabel 2. Nilai Kira – Kira Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi

Modus	Koefisien Perpindahan Kalor Konveksi (h) (W / m² . °C)
<i>Konveksi bebas, $\Delta T = 30^\circ C$</i>	
Plat vertikal, tinggi 0,3 m di udara	4,5
Silinder horisontal, diameter 5 cm di udara	6,5
Silinder horisontal, diameter 2 cm, dalam air	890
<i>Konveksi paksa</i>	
Aliran udara 2 m/s di atas plat bujur sangkar 0,2 m	12
Aliran udara 35 m/s di atas plat bujur sangkar 0,75 m	75
Udara 2 atm mengalir di dalam tabung diameter 2,5 cm, kecepatan 10 m/s	65
Air 0,5 kg/s mengalir di dalam tabung 2,5 cm	3.500
Aliran udara melintas silinder diameter 5 cm, kecepatan 50 m/s	180
<i>Air mendidih</i>	
Dalam kolam atau bejana	2.500 – 35.000
Mengalir dalam pipa	5.000 – 100.000

<i>Pengembunan uap air, 1 atm</i>	
Muka vertikal	4.000 – 11.300
Di luar tabung horisontal	9.500 – 25.000

Sumber : Jasjfi (1991)

Catatan :

Konversikan nilai koefisien perpindahan kalor konveksi sebesar $890 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ke dalam $\text{BTU} / (\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})$!

Jawab :

$$h = 890 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) = 890 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}) \times 1 (\text{joule} / \text{detik}) / \text{watt} \times 1 \text{ kalori} / (4,2 \text{ joule}) \times 1 \text{ BTU} / (252 \text{ kalori}) \times 3600 \text{ detik} / \text{h} \times (0,3048)^2 \text{ m}^2 / (\text{ft}^2) \times 1 ^\circ\text{C} / (1,8 ^\circ\text{F}) = 156,2428299 \text{ BTU} / (\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F}) \approx 157 \text{ BTU} / (\text{h} \cdot \text{ft}^2 \cdot ^\circ\text{F})$$

Pindah Panas secara Radiasi (Pancaran)

Rumus yang sangat terkenal adalah Hukum Stefan-Boltzmann, sebagai berikut :

$$q_{\text{pancaran}} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \dots\dots\dots(3)$$

dengan :

q_{pancaran} = laju pindah panas radiasi (watt)

σ = konstanta Stefan – Boltzman = $5,669 \times 10^{-8} \text{ watt m}^{-2} \text{ K}^{-4}$

A = luas permukaan (m^2)

T = suhu absolut (dalam K).

Rumus (3) tersebut hanya berlaku pada benda hitam sempurna (*blackbody*). Benda hitam akan memancarkan energi panas dengan laju yang sebanding dengan pangkat empat suhu absolut benda itu, dan berbanding langsung (atau berbanding lurus) dengan luas permukaan benda tersebut.

Pertukaran radiasi netto antara dua permukaan hitam sebanding dengan perbedaan suhu absolut pangkat empat, sebagai berikut :

$$q_{\text{pertukaran netto}} / A = \alpha \sigma (T_1^4 - T_2^4) \dots\dots\dots(4)$$

Soal Latihan :

(1) Konduksi melalui plat

Salah satu permukaan sebuah plat tembaga yang tebalnya 5 cm mempunyai suhu tetap 380 °C, sedangkan suhu permukaan yang sebelah lagi dijaga tetap 95 °C. Berapa kalor yang berpindah melintasi lempeng itu ?

(2) Perhitungan konveksi

Udara pada suhu 23 °C bertiup di atas plat panas ukuran 60 x 80 cm. Suhu plat dijaga tetap 300 °C. Koefisien perpindahan kalor konveksi adalah $20 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$. Hitung perpindahan kalor (dalam kW) !

(3) Perpindahan kalor beragam cara

Jika plat pada soal nomor 2 di atas mempunyai konduktivitas panas $73 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$ yang tebalnya 3 cm, dan rugi kalor dari permukaan plat karena radiasi adalah 350 W. Hitung suhu di dalam plat (suhu sisi plat sebelah dalam) !

(4) Perpindahan kalor radiasi

Plat A dan plat B merupakan dua plat hitam tak berhingga (*black body*). Suhu plat A adalah 700 °C dan suhu plat B adalah 450 °C. Pada kedua plat tersebut saling terjadi perpindahan kalor secara radiasi. Hitung perpindahan kalor netto per satuan luas !

Aplikasi Program Komputer (Visual Basic 6.0) :**Aplikasi I : PENENTUAN SUHU PLAT PADA PINDAH PANAS RADIASI**

Permasalahan :

Diketahui plat A dan plat B, yang keduanya merupakan plat hitam tak berhingga (*black body*). Suhu plat A adalah $x \text{ } ^\circ\text{C}$, dan suhu plat B adalah 400 °C. Pada kedua plat tersebut saling terjadi perpindahan kalor secara radiasi per satuan luas sebesar 40 kW/m^2 . Suhu plat A lebih tinggi daripada suhu plat B. Hitung besarnya nilai x !

Penyelesaian dengan *Visual Basic 6.0* :

List program :

Private Sub Command1_Click()**Dim SIGMA, C1, C2, K1, K2, QPERA As Single**

```

C2 = Val(Text1.Text)
QPERA = Val(Text2.Text)
SIGMA = 5.669 * 10 ^ (-8)
K2 = C2 + 273
K1 = (K2 ^ 4 + QPERA / SIGMA) ^ (0.25)
C1 = K1 - 273
Text3.Text = Str(C1)
End Sub

```

```

-----
Private Sub Command2_Click()
Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
Text3.Text = ""
End Sub

```

```

-----
Private Sub Command3_Click()
End
End Sub

```

Tabel 1. Nilai C1 pada Beberapa C2 dan QPERA

No.	C2	QPERA	C1
1	400	40000	703,90
2	430	50000	757,17
3	440	60000	798,23
4	450	30000	673,46
5	470	35000	706,94
6	475	45000	752,70
7	500	55000	800,34
8	390	43000	714,71
9	380	47000	729,71
10	460	39000	721,11

**Aplikasi II :PENENTUAN BEDA SUHU DAN BESARNYA
SUHU PERMUKAAN PLAT PADA KASUS RENTETAN
PINDAH PANAS KONDUKSI, KONVEKSI, DAN RADIASI**

Permasalahan :

Plat baja karbon (ukuran 0,7 x 0,9 m) dengan konduktivitas panas 43 W/m.°C yang tebalnya 4 cm mengalami kerugian panas dari permukaan plat sebelah luar karena radiasi sebesar 325 W dan konveksi sebesar 1,7 kW. Suhu permukaan plat sebelah luar = 400 °C. Hitung suhu pada sisi plat sebelah dalam (°C) !

Penyelesaian :

$$\text{Kalor yang dihantarkan melalui plat secara konduksi} = q_{\text{konveksi}} + q_{\text{radiasi}} \dots(5)$$

$$\text{DELTAT} = (\text{PPRAD} + \text{PPVEK}) \times T / (\text{K} \times \text{P} \times \text{L}) \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{C1} = \text{C2} + \text{DELTAT} \dots\dots\dots(7)$$

dengan DELTAT adalah beda suhu permukaan luar dan dalam plat (°C), PPRAD adalah kehilangan panas akibat radiasi (W), PPVEK adalah kehilangan panas akibat konveksi (W), T adalah tebal plat (m), K adalah konduktivitas panas plat (W/m.°C), P adalah ukuran panjang plat (m), L adalah ukuran lebar plat (m), C1 adalah suhu sisi plat sebelah dalam (°C), dan C2 adalah suhu permukaan plat sebelah luar (°C).

List program :

```
Private Sub Command1_Click()
Dim K, P, L, T, PPRAD, PPVEK, C2, DELTAT, C1 As Single
K = Val(Text1.Text)
P = Val(Text2.Text)
L = Val(Text3.Text)
T = Val(Text4.Text)
PPRAD = Val(Text5.Text)
PPVEK = Val(Text6.Text)
C2 = Val(Text7.Text)
DELTAT = (PPRAD + PPVEK) * T / (K * P * L)
C1 = C2 + DELTAT
Text8.Text = Str(DELTAT)
Text9.Text = Str(C1)
End Sub
```

```

Private Sub Command2_Click()
Text1.Text = ""
Text2.Text = ""
Text3.Text = ""
Text4.Text = ""
Text5.Text = ""
Text6.Text = ""
Text7.Text = ""
Text8.Text = ""
Text9.Text = ""
End Sub

```

```

-----
Private Sub Command3_Click()
End
End Sub

```

Tabel 2. Nilai DELTAT dan C1 pada Beberapa Nilai Variabel Input

No.	K	P	L	T	PPRAD	PPVEK	C2	DELTAT	C1
1	43	0,90	0,70	0,04	325	1700	400	2,99	402,99
2	43	0,80	0,50	0,05	670	1850	350	7,33	357,33
3	43	0,70	0,60	0,03	430	2100	450	4,20	454,20
4	73	0,75	0,65	0,035	500	2500	470	2,95	472,95
5	73	0,85	0,75	0,045	600	2400	490	2,90	492,90
6	73	1,25	0,95	0,055	375	1800	390	1,38	391,38
7	16,3	1,45	1,20	0,04	425	1900	425	3,28	428,28
8	16,3	1,20	1,10	0,05	450	2000	375	5,69	380,69
9	202	1,40	1,30	0,035	550	2450	410	0,29	410,29
10	202	1,10	0,90	0,045	650	2350	440	0,68	440,68

DAFTAR PUSTAKA

Jasjfi, E. 1991. *Perpindahan Kalor* (Alih Bahasa dari : Heat Transfer, by Holman, J. P., Sixth Edition. 1986. Mc Graw-Hill, Ltd.), Penerbit Erlangga. Jakarta.

Santosa. 1996. *Teori dan Penyelesaian Soal Pindah Panas*. Fakultas Pertanian. Universitas Andalas. Padang.