

**PERPINDAHAN PANAS**  
**(*HEAT TRANSFER*)**

Arwizet K  
Andre Kurniawan

UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA  
NO 19 TAHUN 2002  
TENTANG HAK CIPTA  
PASAL 72  
KETENTUAN PIDANASANGSI PELANGGARAN

1. Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu Ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling singkat 1 (satu) bulandandenda paling sedikit Rp 1.000.000, 00 (satu juta rupiah), atau pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahundandenda paling banyak Rp 5.000.000.000, 00 (lima milyar rupiah)
2. Barangsiapa dengan sengaja menyerahkan, menyiarkan, memamerkan, mengedarkan, atau menjual kepada umum suatu Ciptaan atau barang hasil pelanggaran Hak Cipta atau Hak Terkait sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana penjara paling lama 5 (lima) tahundandenda paling banyak Rp 500.000.000, 00 (lima ratus juta rupiah).

**PERPINDAHAN PANAS**  
*(HEAT TRANSFER)*

Arwizet K  
Andre Kurniawan



**2019**

iii

## **PERPINDAHAN PANAS**

**(Heat Transfer)**

editor, Tim editor UNP Press

Penerbit UNP Press, Padang, 2018

1 (satu) jilid; 14 x 21 cm (A5)

283 hal.

ISBN : 978-602-1178-45-4

## **PERPINDAHAN PANAS**

**(Heat Transfer)**

---

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang pada penulis

Hak penerbitan pada UNP Press

---

Penyusun: Dr. Ir. Arwizet K., ST. MT & Andre Kurniawan, ST., MT

Editor Substansi: Tim UNP Press

Editor Bahasa: Prof. Dr. Harris Effendi Thahar, M.Pd

Desain Sampul & Layout: Dr. Asrul Huda, M.Kom

## KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah penulis ucapkan kehadirat Allah SWT atas segala karunia yang diberikan-Nya, akhirnya buku “Perpindahan Panas” ini dapat diselesaikan. Buku ini merupakan bentuk apresiasi penulis kepada seluruh tenaga edukatif yang ada di tanah air dalam upaya mewujudkan pendidikan yang berkualitas di Perguruan Tinggi melalui ketersediaan buku referensi bagi dunia pendidikan.

Perpindahan Panas adalah ilmu yang mempelajari tentang mekanisme proses perpindahan panas dari suatu benda ke benda lain atau dari suatu sistem ke sistem lain. Perpindahan panas dari suatu sistem ke lingkungannya merupakan hal sangat penting guna mendapatkan keseimbangan temperatur pada sistem tersebut. Jika panas dari suatu sistem tidak dibuang ke sistem lainnya maka dapat mengakibatkan kerusakan pada sistem itu. Sebagai contoh adalah panas yang ada pada radiator mobil. Jika panas pada kedua sistem ini tidak cepat dibuang ke udara di lingkungannya maka temperatur pada *block engine* akan naik (*over head*). Naiknya temperatur pada *block engine*, akan menyebabkan engine mobil akan rusak.

Aplikasi ilmu perpindahan panas sangat banyak dijumpai dalam dunia teknik selain pada bidang otomotif atau komputer, juga dapat dijumpai pada *cooling tower-condenser* Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU), AC Sentral dan Alat Penukar Kalor pada industri kimia dan lain sebagainya.

Buku ini ditulis dengan pendekatan yang terstruktur dan bahasa yang mudah dipahami. Sebagai sebuah buku teks, buku ini memberikan penjelasan yang komprehensif tentang konsep dasar dan implementasi dari ilmu perpindahan panas dengan memberikan contoh-contoh soal sederhana yang berkaitan dengan dunia industri.

Buku ini disusun dari berbagai sumber bacaan utama yang terdiri dari buku teks yang digunakan secara luas di seluruh dunia

oleh para tenaga pengajar dalam bidang ilmu perpindahan panas. Tentunya berbagai bahan tulisan tersebut tidak akan bisa menjadi sebuah buku jika tidak ada dorongan dan semangat yang diberikan oleh berbagai pihak, sehingga dorongan moril dan materil tersebut telah memicu semangat penulis untuk menyusun buku ini dengan baik. Oleh karena itu secara khusus penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Rektor dan Wakil Rektor II Universitas Negeri Padang yang telah memfasilitasi penerbitan buku ini.
2. Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, yang dengan pesan morilnya telah memberikan energi baru bagi penulis dalam menyelesaikan karya ini.
3. Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Padang atas kepercayaannya kepada penulis dalam menyelesaikan karya buku ini.
4. Teman-teman sejawat di Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Padang yang telah memberikan dukungan moril dalam penyelesaian buku ini.
5. Serta berbagai pihak lain seperti Universitas Negeri Padang Press, serta pihak lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu.

Terakhir tiada gading yang tak retak, penulis menyadari bahwa buku ini masih jauh dari kesempurnaan untuk itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran dari pembaca yang budiman, demi perbaikan dan penyempurnaan buku ini pada masa yang akan datang.

Padang, September 2019

Penulis

## DAFTAR ISI

	Halaman
Undang-Undang Tentang Hak Cipta .....	ii
Kata Pengantar .....	iii
Daftar Isi .....	v
Daftar Tabel .....	xi
Daftar Gambar .....	xii
<b>BAB I. KONSEP DASAR PERPINDAHAN PANAS .....</b>	<b>1</b>
A. Definisi Panas (Heat) .....	1
B. Kaitan Perpindahan Panas dan Thermodinamika ..	3
C. Pengaruh Panas Terhadap Suhu Zat .....	4
D. Kapasitas Panas dan Panas Jenis .....	5
E. Pengaruh Temperatur Terhadap Perubahan Wujud .....	6
F. Kalor Sensibel dan Kalor Laten .....	7
1. Kalor Lebur (L) = Kalor Beku (Frozen) .....	7
2. Kalor Uap (U) = Kalor Embun .....	8
G. Usaha Mempercepat Proses Penguapan .....	8
1. Pemanasan (Menaikkan Temperatur).....	9
2. Memperluas Permukaan Benda .....	9
3. Mengalirkan Udara di Atas Permukaan Zat .....	10
H. Azas Black .....	10
I. Dasar Perpindahan Panas ( <i>Basics of Heat         Transfer</i> ) .....	11
J. Mekanisme Perpindahan Panas.....	12
1. Perpindahan Panas Konduksi .....	13
2. Konduktivitas Thermal Bahan .....	17
3. Persamaan dan Satuan Konduktivitas Thermal ..	20
4. Perpindahan Panas Konveksi .....	21
5. Perpindahan Panas Radiasi .....	26
K. Rangkuman.....	29
L. Soal Latihan .....	30

BAB II. DASAR-DASAR TAHANAN TERMAL	
( <i>THERMAL RESISTANCE</i> ) .....	32
A. Konsep Dasar Tahan Thermal .....	32
B. Tahanan Thermal (Rth) .....	33
1. Tahanan Thermal Perpindahan Panas	
Konduksi .....	33
2. Tahanan Thermal Perpindahan Panas	
Konveksi .....	34
3. Tahanan Thermal Perpindahan Panas	
Radiasi .....	34
C. Analogi Aliran Panas dengan Aliran Listrik .....	35
D. Tahanan Thermal Dalam Bentuk Paralel .....	38
E. Sistem Satuan dan Dimensi .....	44
1. Dimensi Pokok Dalam SI dan British Units ..	44
2. Dimensi Satuan Turunan .....	46
F. Konversi Satuan .....	47
G. Beberapa Satuan Turunan dalam SI Unit .....	48
1. Satuan Gaya .....	48
2. Satuan Tekanan .....	49
3. Satuan Temperatur .....	51
4. Satuan Energi (Kerja atau Panas).....	52
5. Satuan Daya .....	52
H. Rangkuman .....	53
I. Soal Latihan .....	54
 BAB III. PERPINDAHAN PANAS KONDUKSI	
1-DIMENSI PADA BENDA SEDERHANA .....	55
A. Pendahuluan.....	55
B. Perpindahan Panas Konduksi Pada Dinding	
Datar .....	57
C. Perpindahan Panas Konduksi Pada Silinder	
Berlubang .....	65
D. Perpindahan Panas Konduksi Pada Benda	
Berbentuk Bola Berlubang .....	69
E. Rangkuman .....	71



F. Soal Latihan .....	72
<b>BAB IV. PERPINDAHAN PANAS PADA PERMUKAAN YANG DIPERLUAS (<i>EXTENDED SURFACE</i>)...</b>	<b>74</b>
A. Pendahuluan.....	74
B. Fungsi Fin ( <i>Extended Surface</i> ) Pada Perpindahan Panas Konveksi .....	75
C. Analisis Perpindahan Panas Satu Dimensi pada Fin dengan Penampang Seragam .....	76
D. Fin dengan Kehilangan Panas yang Diabaikan pada Bagian Ujung .....	78
E. Efisiensi Sirip (Fin) .....	79
F. Rangkuman .....	85
<b>BAB V. UNSTEADY CONDUCTION HEAT TRANSFER (<i>LUMPED HEAT CAPACITY METHODS</i>) .....</b>	<b>87</b>
A. Pendahuluan .....	87
B. Metode Kapasitas Panas Tergabung (The Lum- ped-Heat Capacity Method) .....	88
C. Penerapan Analisis Kapasitas Panas Tergabung (Lumped-heat Capacity Methods) .....	93
D. Aliran Panas Transien Dalam Benda Padat Semi-Tak Hingga .....	100
E. Fluks Panas Pada Benda Padat Semi-Tak Hingga .....	103
F. Aliran Panas Transien Pada Benda Padat Dengan Kondisi Batas Konveksi .....	107
G. Angka Biot dan Angka Fourier .....	115
H. Rangkuman .....	116
I. Soal Latihan .....	116
<b>BAB VI. PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI PAKSA (<i>FORCED CONVECTION</i>) .....</b>	<b>118</b>
A. Pendahuluan .....	118
B. Konsep Dasar Perpindahan Panas Konveksi .....	119
1. Parameter Tak Berdimensi.....	119

2. Lapisan Batas Kecepatan (Velocity Boundary Layer) .....	120
3. Koefisien Tahanan (Drag Coefficient) .....	122
C. Koefisien Perpindahan Panas Konveksi Paksa .	123
D. Aliran Laminar Di Atas Sebuah Pelat Datar.....	126
1. Distribusi Kecepatan .....	126
2. Koefisien Tahanan (Drag Coefficient).....	129
E. Aliran Turbulen Di Atas Sebuah Pelat Datar.....	132
1. Koefisien Tahanan (Drag Coefficient) .....	132
2. Koefisien Perpindahan Panas Konveksi ( <i>Heat Transfer Coefficient</i> ).....	133
F. Rangkuman .....	137
G. Soal Latihan .....	138
BAB VII. PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI BEBAS ( <i>FREE CONVECTION</i> ) .....	140
A. Pendahuluan.....	140
B. Konsep Dasar Perpindahan Panas Konveksi Bebas ( <i>Free Convection</i> ) .....	141
C. Konveksi Bebas pada Pelat Datar .....	144
1. Vertical Plate (Pelat Posisi Tegak Lurus) .....	145
2. Horizontal Plate (Pelat Datar) .....	151
3. Pelat Posisi Miring (Inclined Plates).....	156
4. Konveksi Bebas Pada Silinder Panjang .....	159
5. Konveksi Bebas Pada Bola .....	161
D. Rangkuman .....	162
E. Soal Latihan .....	162
BAB VIII. PERPINDAHAN PANAS RADIASI ( <i>RADIATION THERMAL</i> ) .....	165
A. Pendahuluan .....	165
B. Radiasi Benda Hitam .....	167
1. Emisi Benda Hitam .....	168
2. Hukum Pergeseran Wien's.....	169
3. Hukum Stefan-Boltzman.....	170
4. Fungsi Radiasi Benda Hitam.....	171

C. Sifat-sifat Radiasi Permukaan .....	175
1. Emisivitas (Emissivity).....	175
2. Absorpsivitas (Absorptivity) .....	178
3. Refleksivitas (Reflectivity).....	180
4. Transmisivitas (Transmissivity).....	181
D. Konsep Faktor Bentuk.....	182
1. Faktor Bentuk Antara Dua Permukaan .....	182
2. Faktor Bentuk Antara Dua Permukaan Terbatas Secara Analisis .....	183
3. Menentukan Faktor Bentuk Secara Grafis ....	185
E. Metode Jaringan Listrik Untuk Mengetahui Penukaran Radiasi .....	190
1. Konsep Radiositas (Radiosity).....	190
2. Tahanan Radiasi pada Sebuah Permukaan ...	191
3. Tahanan Radiasi Melintasi Dua Permukaan .....	194
4. Jaringan Radiasi Untuk Dua Permukaan .....	195
5. Perpindahan Panas Radiasi Antara Dua Pelat Paralel .....	196
6. Penukaran Panas Radiasi Pada Tiga atau Lebih Daerah Tertutup .....	197
F. Rangkuman .....	199
G. Soal Latihan .....	201
 BAB IX. ALAT PENUKAR KALOR ( <i>HEAT EXCHANGER</i> ).....	202
A. Pendahuluan .....	202
B. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh (U)	203
C. Jenis-Jenis Alat Penukar Kalor.....	205
D. Jenis-Jenis Alat Penukar Kalor.....	205
E. Distribusi Temperatur .....	208
1. Metode Beda Temperatur Rata-Rata ( <i>Logaritmik Mean Temperature Difference</i> ), LMTD .....	208
2. Metode NTU-EFEKTIVITAS.....	213

F. Rangkuman .....	219
G. Soal Latihan .....	220
BAB X. BOILING DAN KONDENSASI .....	222
A. Pendahuluan.....	222
B. Pendidihan (Boiling).....	223
C. Pendidihan Pada Bejana (Pool Boiling).....	225
1. Kurva Pendidihan.....	226
2. Natural Convection Boiling .....	229
D. Pendidihan pada Aliran/Konveksi Paksa (Flow Boiling/Forced).....	234
1. External Flow Boiling.....	235
2. Internal Flow Boiling .....	235
E. Kondensasi .....	235
1. Film Condensation.....	238
2. Dropwise Condensation.....	240
F. Rangkuman .....	241
G. Soal Latihan.....	242
Daftar Pustaka .....	244
Lampiran A. Konversi Sistem Satuan.....	245
Lampiran B. Sifat-Sifat Fisik Beberapa Jenis Material .....	247
Lampiran C. Sifat-Sifat Radiasi Beberapa Jenis Material .....	258
Lampiran D. Fungsi Galat (Error).....	259
Lampiran E. Grafik Menghitung Efektivitas Penukar Kalor .....	260
Tentang Penulis .....	262

## DAFTAR TABEL

Tabel:	
1.1. Nilai konduktivitas termal beberapa jenis bahan, $k$ .....	19
1.2. Besar nilai koefisien perpindahan panas konveksi, $h_c$ pada beberapa kondisi .....	19
2.1. Perbandingan aliran energi listrik dengan aliran panas .....	23
2.2. Dimensi pokok dalam sistem SI dan British .....	35
2.3. Dimensi turunan dalam sistem SI dan British .....	47
2.4. Faktor perkalian untuk satuan SI .....	48
5.1. Contoh Kapasitas Panas Tergabung .....	94
6.1. Nilai konstanta $B$ dari persamaan (6.35) .....	133
7.1. Nilai konstanta $c$ dan eksponen $n$ untuk persamaan (7.7) .....	145
7.2. Konstanta $c$ dan eksponen $n$ untuk persamaan (7.16) pada pelat datar .....	152
7.3. Bilangan Grashof pada kondisi transisi untuk sudut kemiringan $\theta$ .....	157
7.4. Konstanta $c$ dan komponen $n$ untuk persamaan (12.28) untuk konveksi bebas silinder horizontal .....	160
8.1. Fungsi radiasi benda hitam .....	173
10.1. Nilai $C_{s,f}$ dan $n$ untuk beberapa variasi kombinasi permukaan-cair .....	231