

**BUKU AJAR**



# **PINDAH PANAS 1**

**TEORI - SOAL DAN PEMBAHASAN**

**Eswanto, S.T., M.Eng, IPP**

# BUKU AJAR PINDAH PANAS 1

## TEORI - SOAL DAN PEMBAHASAN

Buku ajar ini disusun berdasarkan pengalaman penulis mengajar mata kuliah heat transfer jurusan teknik mesin kampus Universitas Negeri Medan. Pada era milenial ini proses pembelajaran juga mengalami proses transformasi, dimana para mahasiswa lebih suka hal-hal yang sifatnya instan namun bermakna, oleh karena itu buku ini sangat tepat menjadi rujukan bagi mahasiswa teknik karena disajikan secara ringkas yaitu teori, soal kasus dan pembahasannya disajikan secara langsung. Setiap contoh kasus dan jawaban dibuat lebih dari 1 supaya pembaca dapat pengalaman perbandingan dan contoh kasus sebelumnya. Tahap-tahap penyelesaian soal kasus disajikan secara step by step untuk memudahkan pemahaman pembaca. Di setiap babnya diberikan penyajian teori, kemudian dilanjutkan dengan pemberian soal kasus dan jawabannya dan terakhir ada soal-soal latihan sebagai bahan berlatih menyelesaikan soal secara mandiri.

Buku ajar ini membahas tentang teori dasar heat transfer, rumus-rumus empiris, soal-soal dan pembahasan, serta latihan soal mandiri dengan konsep analitis, baik itu transfer panas secara konduksi, panas konveksi, lapis batas termal dan panas radiasi. Pembahasan alat penukar kalor disajikan dalam konsep sederhana, aplikasi dan persamaan baku juga disajikan dalam buku ini untuk memudahkan pemahaman pembaca. Kelebihan dari buku ajar ini yaitu tidak banyak menggunakan deskripsi yang panjang, namun langsung keperincian inti dengan penerapan langsung yang dilengkapi dengan pemberian contoh soal kasus dan jawabannya, sehingga menjadi lebih meringankan pembaca dalam memahami proses pindah panas.



☎ 0858 5343 1992  
✉ eurekaediaaksara@gmail.com  
📍 Jl. Banjaran RT.20 RW.10  
Bojongsari - Purbalingga 53362

ISBN 978-623-151-484-4 (m.p.t lengkap)

ISBN 978-623-151-485-1 (jilid 1)



9 786231 514851

**BUKU AJAR  
PINDAH PANAS 1  
TEORI - SOAL DAN PEMBAHASAN**

**Eswanto, S.T., M.Eng, IPP**



**PENERBIT CV.EUREKA MEDIA AKSARA**

**BUKU AJAR  
PINDAH PANAS 1  
TEORI - SOAL DAN PEMBAHASAN**

**Penulis** : Eswanto, S.T., M.Eng, IPP

**Desain Sampul** : Eri Setiawan

**Tata Letak** : Rizki Rose Mardiana

**ISBN** : 978-623-151-484-4 (no.jil.lengkap)  
978-623-151-485-1 (jil.1)

Diterbitkan oleh : **EUREKA MEDIA AKSARA, SEPTEMBER  
2023  
ANGGOTA IKAPI JAWA TENGAH  
NO. 225/JTE/2021**

**Redaksi:**

Jalan Banjaran, Desa Banjaran RT 20 RW 10 Kecamatan Bojongsari  
Kabupaten Purbalingga Telp. 0858-5343-1992

Surel : eurekamediaaksara@gmail.com

Cetakan Pertama : 2023

**All right reserved**

Hak Cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh  
isi buku ini dalam bentuk apapun dan dengan cara apapun,  
termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman  
lainnya tanpa seizin tertulis dari penerbit.

## PRAKATA

Puji syukur kepada Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa karena penulis dapat menyelesaikan penyusunan buku ajar ini. Materi yang disajikan dalam buku ajar ini merupakan kajian dalam perkuliahan perpindahan panas dengan tujuan untuk memberikan kemudahan pengalaman selama proses pembelajaran.

Sasaran buku ini adalah mahasiswa teknik mesin, namun tidak terbatas bagi pihak lain dengan bidang ilmu yang serumpun. Gambaran isi buku ajar ini membahas tentang teori dasar heat transfer, rumus-rumus empiris, soal-soal dan pembahasan, serta latihan soal mandiri dengan konsep analitik, baik itu transfer panas secara konduksi, panas konveksi, lapis batas termal dan radiasi. Pembahasan alat penukar kalor disajikan dalam konsep sederhana saja, aplikasi dari persamaan baku juga disajikan dalam buku ini untuk memudahkan pemahaman pembaca. Untuk mendukung kajian yang ada dalam buku ajar ini diperlukan pengetahuan dasar tentang ilmu-ilmu terkait seperti matematika, fisika, termodinamika dan mekanika fluida.

Dengan hadirnya buku ajar ini semoga memberi manfaat bagi semua orang khususnya mahasiswa teknik dalam ilmu aplikatif yang ditekuni. Dalam penyusunan ini penulis menyadari masih banyak kekurangan dan kelemahan, untuk itu masukan dan saran yang sifatnya membangun untuk penyempurnaan buku ini sangat penulis nantikan, terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyelesaian buku ini.

Medan, 25 Agustus 2023  
Penulis,

## DAFTAR ISI

<b>PRAKATA</b> .....	<b>iii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>iv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
<b>BAB 1 PRINSIP PINDAH PANAS</b> .....	<b>4</b>
A. Kompetensi yang Diharapkan .....	4
B. Ukuran dan Satuan .....	4
C. Pengantar Pindah Panas .....	7
D. Kaitan Ilmu Pindah Panas dan Termodinamika .....	11
E. Perpindahan Energi .....	16
F. Prinsip Dasar Pindah Panas .....	19
G. Poin-Poin Materi .....	60
H. Soal-Soal Latihan.....	61
I. Ringkasan Khusus.....	64
<b>BAB 2 PERSAMAAN UMUM PINDAH PANAS KONDUKSI</b> .....	<b>66</b>
A. Kompetensi yang Diharapkan .....	66
B. Pemahaman Perpindahan Panas Konduksi .....	66
C. Perpindahan Panas Stedi Transien .....	67
D. Pindah Panas Multi Dimensi.....	69
E. Pembangkitan Panas.....	74
F. Soal-Soal Latihan.....	78
G. Ringkasan Khusus.....	79
<b>BAB 3 PINDAH PANAS KONDUKSI STEDI 1 DIMENSI</b> .....	<b>80</b>
A. Kompetensi yang Diharapkan .....	80
B. Pindah Panas Konduksi Stedi 1-D .....	80
C. Konsep Tahanan Termal pada Pindah Panas.....	83
D. Rangkaian Tahanan Termal .....	87
E. Tahanan Termal pada Dinding Berlapis ( <i>Multilayer Wall</i> ) .....	90
F. Panas Konduksi pada Silinder dan Bola.....	106

	G. Pindah Panas pada Bidang Sirip ( <i>Finned Surface</i> ).....	123
	H. Soal - Soal Latihan .....	150
	I. Ringkasan Khusus .....	154
<b>BAB 4</b>	<b>PINDAH PANAS KONVEKSI.....</b>	<b>155</b>
	A. Kompetensi yang Diharapkan .....	155
	B. Pengantar Umum.....	155
	C. Persamaan Dasar Panas Konveksi.....	156
	D. Mekanisme Pindah Panas Konveksi.....	158
	E. Lapis Batas Hidrodinamis.....	159
	F. Lapis Batas Termal.....	161
	G. Lapis Batas Laminer Diatas Plat Rata.....	162
	H. Persamaan Kontinyuitas .....	163
	I. Persamaan Momentum .....	163
	J. Prediksi Distribusi Kecepatan Ndan Tebal Lapis Batas Laminer .....	163
	K. Metode Eksak.....	163
	L. Koefisien Pindah Panas Konveksi .....	164
	M. Soal-Soal Latihan .....	167
	N. Ringkasan Khusus .....	168
<b>BAB 5</b>	<b>LAPIS BATAS TURBULEN.....</b>	<b>169</b>
	A. Kompetensi yang Diharapkan .....	169
	B. Konsep Turbulensi.....	169
	C. Profil Kecepatan dalam Aliran Turbulen.....	172
	D. Koefisien Gesek Aliran Turbulen di Atas Plat Rata.....	173
	E. Tebal Lapis Batas Aliran Turbulen di Atas Plat Rata.....	174
	F. Koefisien Perpindahan Kalor Aliran Turbulen di Atas Plat Rata .....	175
	G. Soal-Soal Latihan .....	177
	H. Ringkasan Khusus .....	178
<b>BAB 6</b>	<b>PINDAH PANAS RADIASI.....</b>	<b>179</b>
	A. Kompetensi yang Diharapkan .....	179
	B. Panas Radiasi .....	179
	C. Radiasi Benda Hitam.....	181

	D. Soal-Soal Latihan.....	188
	E. Ringkasan Khusus.....	188
<b>BAB 7</b>	<b>ALAT PENUKAR KALOR.....</b>	<b>189</b>
	A. Kompetensi yang Diharapkan .....	189
	B. <i>Heat Exchanger</i> .....	189
	C. <i>Counter-flow Heat Exchanger</i> .....	192
	D. <i>Concentric Tube Heat Exchanger (Double Pipe)</i> .....	193
	E. <i>Shell and Tube Heat Exchanger</i> .....	197
	F. <i>Plate Type Heat Exchanger</i> .....	199
	G. <i>Jacketed Vessel With Coil and Stirrer</i> .....	200
	H. Soal-Soal Latihan.....	206
	I. Ringkasan Khusus.....	207
	<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>208</b>
	<b>TENTANG PENULIS.....</b>	<b>209</b>



## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1	Sistem Satuan yang Umum.....	5
Tabel 1. 2	Konduktivitas Termal Berbagai Material Pada Temperatur Ruangan.....	26
Tabel 1. 3	Difusivitas Termal Material Bahan.....	37
Tabel 1. 4	Angka Koefisien Pindah Panas Cara Konveksi .....	40
Tabel 1. 5	Nilai Emmisivitas Beberapa Material pada Peremperatur 300K.....	49
Tabel 3. 1	Konduktansi Kontak Termal Beberapa Permukaan Logam di Udara (Dari Berbagai Sumber) .....	104
Tabel 3. 2	Gabungan konveksi alami dan tahanan panas radiasi dari berbagai heat sink digunakan dalam pendinginan perangkat elektronik. Semua sirip terbuat dari aluminium 6063T-5, berwarna hitam anodized, dan panjangnya 76 mm .....	142
Tabel 4. 1	Sifat-Sifat Gas Pada Tekanan Atmosfir .....	165
Tabel 6. 1	Rentang Panjang Gelombang .....	181
Tabel 7. 1	Double Pipe Exchanger Fittings .....	195
Tabel 7. 2	Fouling Factors (Coefficients), Typical Values .....	203

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Contoh - Contoh Aplikasi Pindah Panas .....	11
Gambar 1. 2	Perpindahan Panas pada Plat .....	17
Gambar 1. 3	Pendekatan Kondisi Stedi .....	17
Gambar 1. 4	Interaksi Energi pada Permukaan Dinding .....	19
Gambar 1. 5	Mode Pindah Panas.....	20
Gambar 1. 6	(a,b,c,d) Kasus-Kasus Pindah Panas Khusus Secara Konduksi .....	22
Gambar 1. 7	Sketsa yang Melukiskan Tentang Tanda Arah Aliran Panas Konduksi.....	23
Gambar 1. 8	Konduktivitas Termal Berbagai Material pada Temperatur Ruangan Berdasarkan Rangeny.....	27
Gambar 1. 9	Variasi Besar Konduktivitas Termal dari Berbagai Macam Material Padat, Cairan, dan Gas.....	28
Gambar 1. 10	Mekanisme Pindah Panas Konduksi pada Material dengan Fase-Fase yang Berbeda.....	29
Gambar 1. 11	Panci dari Bahan Aluminium .....	29
Gambar 1. 12	Pemanas Listrik .....	31
Gambar 1. 13	Dinding dari Bahan Batu Bata .....	32
Gambar 1. 14	Ilustrasi Jendela Kaca .....	33
Gambar 1. 15	Resistensi Termal dengan Sumber Panas .....	38
Gambar 1. 16	Perpindahan Panas Konveksi dan Tabel Nilai Koefisien Perpindahan Panas Konveksi .....	40
Gambar 1. 17	(a).Perpindahan Panas Konveksi Paksa, (b).Perpindahan Panas Konveksi Alami .....	42
Gambar 1. 18	Aliran Eksternal dan Internal pada Saluran .....	42
Gambar 1. 19	Selongsong Pipa.....	43
Gambar 1. 20	Alat Uji Konduktivitas Termal Material .....	44
Gambar 1. 21	Pindah Panas Radiasi dari Nyala Api.....	46
Gambar 1. 22	Pindah Panas Radiasi .....	48
Gambar 1. 23	Proses Penyerapan Radiasi .....	49

Gambar 1. 24	Perpindahan Panas Radiasi Antara Permukaan Material dengan Lingkungan Sekitarnya.....	50
Gambar 1. 25	Pindah Panas pada Tubuh Manusia .....	52
Gambar 1. 26	Kotak Elektronik .....	53
Gambar 1. 27	Ruang Bakar Motor Roket .....	56
Gambar 1. 28	Seseorang Berdiri di Ruangan.....	60
Gambar 1. 29	Aliran Udara Dipermukaan Pelat .....	62
Gambar 1. 30	Tangki Penyimpanan.....	63
Gambar 2. 1	Arah Perpindahan Panas pada 1-D.....	67
Gambar 2. 2	Variasi Jarak dan Sudut Berbagai Sistem Koordinat (a) rectangular; (b).cylindrical; (c) spherical.....	67
Gambar 2. 3	Kondisi Tansien dan Stedi.....	68
Gambar 2. 4	Pindah Panas Sistem 2 Dimensi pada Medium Berbentuk Kotak .....	70
Gambar 2. 5	Contoh Perpindahan Panas Satu Dimensi Atau Satu Arah.....	71
Gambar 2. 6	Gradient Temperature $dt/dx$ pada Grafik diagram T-x .....	72
Gambar 2. 7	Vektor Pindah Panas Selalu pada Arah Tegak Lurus (Normal) pada Permukaannya .....	73
Gambar 2. 8	Panas dari Koil Pemanas Listrik Sebagai Akibat dari Konversi Energi Listrik Menjadi Panas .....	74
Gambar 2. 9	Air meyerap radiasi matahari (bentuk pembangkitan panas).....	75
Gambar 2. 10	Pengering Rambut .....	76
Gambar 2. 11	Kawat dari Bahan Besi.....	77
Gambar 2. 12	Batang Uranium Bentuk Silinder .....	78
Gambar 3. 1	Panas Mengalir Melalui Dinding 1- D .....	81
Gambar 3. 2	Distribusi Temperatur pada Dinding Datar Konduksi Stedi.....	83
Gambar 3. 3	Analogi Antara Konsep Tahanan Termal dan Listrik.....	84

Gambar 3. 4	Skema untuk Tahanan Konveksi pada Sebuah Permukaan.....	85
Gambar 3. 5	Tahanan Termal Konveksi dan Radiasi di Permukaan Benda .....	86
Gambar 3. 6	Distribusi Temperatur dan Rangkaian Termal pada Dinding Komposit.....	87
Gambar 3. 7	Rangkaian Tahanan Termal untuk Perpindahan Panas Melalui Dinding Datar yang Dua Sisinya Dikenai Konveksi dan dengan Analogi Listriknya .....	88
Gambar 3. 8	Temperatur Turun Sepanjang Permukaan Arah Aliran Perpindahan Panas dengan Nilainya Proporsional pada Tahanan Termal .....	89
Gambar 3. 9	Rangkaian Tahanan Termal untuk Pindah Panas Konveksi pada Dua Sisinya Melalui Dua Buah Lapisan Dinding Datar .....	91
Gambar 3. 10	Dinding 2 Lapis .....	92
Gambar 3. 11	Dinding dari Bahan Batu Bata .....	93
Gambar 3. 12	Rangkaian Tahanan Termal.....	94
Gambar 3. 13	Untuk Contoh 3.3 .....	96
Gambar 3. 14	Untuk Contoh 3.4 .....	97
Gambar 3. 15	Untuk contoh 3.5 .....	99
Gambar 3. 16	Untuk Contoh 3.6 .....	101
Gambar 3. 17	Untuk Contoh 3.7 .....	103
Gambar 3. 18	Untuk Contoh 3.8 .....	105
Gambar 3. 19	Kehilangan Panas dari Pipa Air Panas.....	106
Gambar 3. 20	Penampang Pipa Silinder.....	107
Gambar 3. 21	Tahanan Termal pada Bidang Berbentuk Bola dan Terjadi Panas Konveksi Sisi Dalam dan Luar .....	109
Gambar 3. 22	Skematik untuk Contoh 3.9.....	110
Gambar 3. 23	Pipa Besi Untuk Contoh 3.10 .....	114
Gambar 3. 24	Pipa Besi Untuk Contoh 3.11 .....	116
Gambar 3. 25	Untuk Contoh 3.12.....	118
Gambar 3. 26	Untuk Contoh 3.13.....	121

Gambar 3. 27	Contoh-Contoh Sirip.....	123
Gambar 3. 28	Berbagai Luasan Permukaan Sirip.....	124
Gambar 3. 29	Distribusi Temperatur .....	124
Gambar 3. 30	Perpindahan Panas pada Sirip Bentuk Batang .....	125
Gambar 3. 31	Kondisi Batas Pada Batang Takhingga .....	127
Gambar 3. 32	Kondisi Batas pada Batang Dengan Ujung Berisolasi.....	128
Gambar 3. 33	Kondisi Batas pada Ujung Batang Terjadi Rugi Kalor.....	129
Gambar 3. 34	Sirip Bentuk Segi Empat Lurus .....	131
Gambar 3. 35	Perbandingan Efisiensi Sirip .....	133
Gambar 3. 36	Prosentase Efisiensi Sirip Anulus.....	134
Gambar 3. 37	Pengukuran di Sumur Berisi Minyak .....	135
Gambar 3. 38	Sirip Segi Empat Lurus .....	137
Gambar 3. 39	Efektivitas Sirip .....	139
Gambar 3. 40	Berbagai Luas Permukaan Sirip Persegi Panjang Dengan Tiga Sirip .....	141
Gambar 3. 41	Berbagai Geometri pada Sirip .....	143
Gambar 3. 42	Untuk Contoh 3.16 .....	143
Gambar 3. 43	Untuk Contoh 3.17 .....	145
Gambar 3. 44	Untuk Contoh 3.18 .....	147
Gambar 3. 45	Untuk Contoh 3.19 .....	149
Gambar 3. 46	Untuk Soal Latihan 1.....	151
Gambar 3. 47	Untuk Soal Latihan 2.....	152
Gambar 4. 1	Perpindahan Panas Konveksi pada Elemen dx.....	156
Gambar 4. 2	Lapis Batas Termal Dipermukaan.....	161
Gambar 4. 3	Udara pada Permukaan Plat Rata.....	165
Gambar 5. 1	Distribusi Kecepatan pada Aliran Turbulen .....	172
Gambar 6. 1	Kecepatan Cahaya di Ruang Vakum.....	180
Gambar 6. 2	Spektrum Elektromagnetik .....	181
Gambar 6. 3	Radiasi Sebuah Benda Hitam .....	183
Gambar 6. 4	(a).variasi daya emisi benda hitam sebagai fungsi panjang gelombang dan	

	temperatur; (b) perbandingan daya emisi benda hitam ideal dan benda kelabu dengan daya emisi di permukaan nyata.....	185
Gambar 6. 5	Untuk Contoh Soal 6.1 .....	186
Gambar 7. 1	Aliran Sistem Heat Exchanger Pipa Ganda .....	190
Gambar 7. 2	Perpindahan Panas pada Pipa Ganda.....	191
Gambar 7. 3	Aliran (a)searah, (b) selang-seling, dan Grafik Temperatur In, Out.....	193
Gambar 7. 4	Aliran Double Pipe Heat Exchanger .....	194
Gambar 7. 5	Hairpin Heat Exchanger .....	194
Gambar 7. 6	Double Pipe Heat Exchanger Aliran Cocurrent Dan Counter Current .....	195
Gambar 7. 7	Double-Pipe Heat Exchangers In Series.....	196
Gambar 7. 8	Double-Pipe Heat Exchangers In Series-Parallel.....	196
Gambar 7. 9	Shell and Tube, (a) Square pitch dan (b) Triangular pitch .....	197
Gambar 7. 10	Shell and Tube Heat Exchanger.....	198
Gambar 7. 11	Plate Type Heat Exchanger dengan Aliran Countercurrent.....	199
Gambar 7. 12	Skema dari Jacketed Vessel with Coil and Stirrer .....	200
Gambar 7. 13	Konduksi Panas Melalui Dinding .....	201
Gambar 7. 14	Konveksi dari Permukaan ke Fluida.....	201
Gambar 7. 15	Transfer Panas dari Fluida a ke b .....	203
Gambar 7. 16	LMTD untuk Aliran Countercurrent .....	205
Gambar 7. 17	LMTD untuk Aliran Concurrent .....	205

## PENDAHULUAN

### 1. Tujuan Intruksional Pembelajaran

Setelah selesai pembelajaran sampai akhir semester, mahasiswa dapat menguasai prinsip dan konsep dasar teoritis perpindahan panas secara umum dan khusus. Selain itu, diharapkan mampu mengaplikasikan dalam penelitian ilmu *mechanical*.

### 2. Deskripsi Mata Kuliah

Mata kuliah ini secara umum membahas terkait dengan prinsip dan proses pindah panas atau perpindahan panas (*heat transfer*), khususnya dalam tiga model yaitu pindah panas secara konduksi, secara konveksi dan secara radiasi. Ketiga cara prinsip perpindahan panas tersebut dapat digunakan untuk menganalisis peralatan termal yaitu alat penukar kalor yang sangat banyak digunakan dalam industri-industri yang terkait dengan energi panas.

### 3. Prasarat mata kuliah

Untuk mendukung kemudahan dalam pemahaman pembelajaran pindah panas, semestinya sudah menguasai ilmu-ilmu dasar matematika, fisika teknik (kalor), termodinamika dan mekanika fluida.

### 4. Rencana pembelajaran

Rencana pembelajaran yang dibahas dalam buku ajar ini diantaranya adalah :

- a. Konsep dasar pindah panas; sistem satuan, temperatur, panas (*heat*), dan energi.
- b. Mekanisme pindah panas secara konduksi
- c. Mekanisme pindah panas secara konveksi
- d. Pindah panas dengan perubahan phase
- e. Pindah panas radiasi
- f. Alat penukar kalor

5. Petunjuk penggunaan buku ajar

Bagi Mahasiswa:

- a. Setiap mahasiswa diminta untuk membaca dan mempelajari semua materi pada buku ajar ini secara cermat dan tepat.
- b. Tulislah bagian-bagian yang dianggap penting.
- c. Belajar dengan cara diskusi dengan teman-teman jika ada materi yang kurang dipahami atau tanyakan kepada penyusun bahan ajar ini.
- d. Apabila materi buku ajar ini sudah mampu dipahami, carilah referensi lain yang relevan untuk memperkuat pemahaman dan analisis.

Bagi Pengajar :

- a. Baca dan pelajari materi buku ajar ini secara cermat dan tepat.
- b. Catat atau tandai hal-hal yang anda anggap penting.
- c. Jika ada materi yang kurang jelas, diskusikan dengan pengajar lain atau carilah referensi lain atau tanyakan kepada penyusun bahan ajar ini.
- d. Setelah anda memahami uraian materi dalam setiap bab, baca referensi untuk memperkuat pemahaman.
- e. Berikan evaluasi sesuai kondisi yang sebenarnya pada peserta didik

6. Capaian pembelajaran

- a. Mampu memahami prinsip, konsep-konsep dan proses dasar pindah panas serta parameter-parameter yang terlibat didalamnya.
- b. Mampu menjelaskan besaran dan satuan serta sifat material pada pindah panas
- c. Mampu menganalisis dan menerapkan prinsip-prinsip pindah panas dalam menyelesaikan permasalahan terkait sistem-sistem termal dan pemindah panas.
- d. Mampu melakukan penyelesaian persoalan perpindahan panas menggunakan prinsip dan hukum-hukum perpindahan panas.



## 7. Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk mendapatkan umpan balik dari proses pembelajaran yang telah dilakukan yaitu berupa evaluasi formatif selama proses pembelajaran berlangsung.

### Ketentuan umum

1. Mahasiswa tidak dapat mengikuti ujian akhir jika tidak memenuhi 75 % kehadiran.
2. Mahasiswa diberi nilai 0 (nol) jika terbukti plagiat dalam mengerjakan tugas.
3. Tugas berupa membuat makalah, Mini Riset, Rekayasa Ide, proyek dan presentasi.
4. Penilaian dilakukan oleh dosen, yaitu berupa: (tugas+quis+uts+uas).

### Penilaian Akhir

NILAI MATA KULIAH				NILAI SIKAP	
Rentang Nilai	Huruf	Bobot	Taraf kompetensi	Rentang Nilai	Kategori
85 -100	A	4	Sangat Kompeten	3,51 - 4,00	Sangat Baik (SB)
75 -84	B	3	Kompeten	2,51 - 3,50	Baik (B)
65 -74	C	2	Cukup Kompeten	1,51 - 2,50	Kurang Baik (KB)
0 -64	E	0	Tidak Kompeten	0,00 - 1,50	Sangat Kurang Baik (SKB)

# BAB

# 1

# PRINSIP PINDAH PANAS

## A. Kompetensi yang Diharapkan

Setelah mempelajari buku ajar pindah panas mahasiswa diharapkan memahami dan mempunyai kemampuan dalam menjelaskan prinsip-prinsip pindah panas atau perpindahan panas dengan korelasi konsep mata kuliah pendukung lainnya seperti termodinamika, mekanika fluida yang sebelumnya sudah pernah dipelajari.

## B. Ukuran dan Satuan

Pemakaian satuan dan dimensi secara tepat akan menghemat waktu dan dapat menghindarkan kesalahan. Dimensi adalah pengertian dasar ukuran seperti panjang, waktu, suhu dan massa. Satuan adalah sarana untuk menyatakan dimensi dengan angka, misalnya, *foot* atau meter untuk panjang jam atau detik untuk waktu, derajat F atau derajat K untuk suhu. Terdapat berbagai sistem satuan yang masih dipergunakan. Tiga sistem yang paling lazim dipakai ditunjukkan dalam tabel 1.1, sistem metrik, SI dan teknik britania hanya mempunyai tiga satuan dasar. Kemudian, sistem teknik Amerika mempunyai empat satuan yang didefinisikan secara mendasar dan karena itu kita perlu menggunakan faktor konversi  $g_c$  untuk memperoleh satuan yang konsisten. Pernyataan ini bersumber dari hukum kedua Newton tentang gerakan, yang menyatakan bahwa gaya yang sebanding dengan laju perubahan momentum terhadap waktu. Untuk massa tertentu hukum ini dapat dinyatakan sebagai berikut:

# BAB

# 2

## PERSAMAAN UMUM PINDAH PANAS KONDUKSI

### A. Kompetensi yang Diharapkan

Setelah mempelajari buku pindah panas atau perpindahan panas bagian bab 2 ini mahasiswa diharapkan memahami persamaan umum dalam perpindahan panas secara konduksi, prinsip-prinsip dasar konduksi, dan mampu menerapkan analisis persamaan konduksi satu dimensi pada kondisi *steady state*.

### B. Pemahaman Perpindahan Panas Konduksi

Pindah panas atau Perpindahan panas selalu memiliki arah dan besaran dimana besaran laju dari perpindahan panas akan proporsional dengan gradient temperatur. Konduksi pada sebuah media pada umumnya pada 3 dimensi dan dipengaruhi oleh waktu. Dimana  $T=T(x,y,z,t)$  dan temperatur pada media tersebut akan bervariasi besarnya dengan adanya perubahan posisi dan waktunya. Konduksi dalam medium dikatakan steady pada saat temperatur tidak berubah terhadap waktu, berbeda dengan unsteady atau transient. Konduksi dalam medium dikatakan dalam satu dimensi (*one dimensional*) ketika arah laju perpindahan panas hanya diperhitungkan satu arah dimensi dengan mengabaikan 2 arah yang lain.

# BAB 3

## PINDAH PANAS KONDUKSI STEDI 1 DIMENSI

### A. Kompetensi yang Diharapkan

Setelah mempelajari buku perpindahan panas stedi 1 dimensi (1-D) mahasiswa diharapkan memahami dan mempunyai kemampuan dalam menjelaskan prinsip-prinsip perpindahan panas pada kondisi *steady state*.

### B. Pindah Panas Konduksi Stedi 1-D

Pindah panas secara konduksi dalam kondisi stedi/tunak satu dimensi (*steady state - one dimensional*) adalah perpindahan panas konduksi yang terjadi pada suatu benda/material, dimana distribusi temperatur bukan sebagai fungsi waktu, dan aliran energi panas dominan terjadi pada satu arah dengan mengabaikan arah aliran energi panas lainnya atau dengan kata lain arah aliran energi panas lainnya diisolasi. Untuk kasus ini akan dijelaskan pengetahuan tentang perpindahan panas konduksi *steady state* satu dimensi pada bidang geometris seperti persegi empat (dinding datar), silinder, bidang bulat dan permukaan perpindahan panas yang diperluas atau disebut fin/sirip. Gambar 3. 1 merupakan contoh Panas mengalir melalui dinding pada satu dimensi ketika temperatur nilainya bervariasi pada satu arah aliran. Ketebalan dinding yang kecil menyebabkan arah gradien suhu di dalamnya menjadi besar. Selanjutnya, jika suhu udara di dalam dan di luar rumah tetap konstan, kemudian perpindahan panas melalui dinding rumah dapat dimodelkan stedi dan satu dimensi. Temperatur pada

# BAB

# 4

# PINDAH PANAS KONVEKSI

## A. Kompetensi yang Diharapkan

Setelah mempelajari perpindahan panas konveksi mahasiswa diharapkan memahami dan mempunyai kemampuan dalam menjelaskan prinsip dasar panas konveksi, persamaan umum panas konveksi, klasifikasi pindah panas konveksi, *boundary layer*, aliran fluida.

## B. Pengantar Umum

Dalam bidang teknik terdapat korelasi antara perpindahan kalor konveksi dan penurunan tekanan aliran di dalam pipa, atau gaya tahan aliran yang melintas benda atau permukaan. Aliran fluida mempengaruhi penurunan tekanan, gaya tahan (*drag force*), dan perpindahan kalor. Untuk menentukan penurunan tekanan atau gaya tahanan, medan aliran yang dekat dengan permukaan harus diketahui karena kecepatan terlibat dalam persamaan energi. Penyelesaian persamaan energi akan menghasilkan distribusi temperatur.

# BAB

# 5

# LAPIS BATAS TURBULEN

## A. Kompetensi yang Diharapkan

Setelah mempelajari materi bab 5 pada buku ini mahasiswa diharapkan memahami dan mempunyai kemampuan dalam menjelaskan terkait lapis batas turbulen, kondisi turbulen, koefisien gesek, karakteristik aliran turbulen dan pendekatan bilangan Reynold.

## B. Konsep Turbulensi

Dalam praktek, untuk meningkatkan efektivitas laju perpindahan kalor, maka aliran dibuat turbulen karena kontribusi konduksi relatif kecil untuk fluida pada umumnya. Sudah banyak peneliti yang mempelajari soal-soal yang berkaitan dengan perpindahan kalor turbulen, tetapi perkiraan perpindahan kalor aliran turbulen secara langsung masih sulit diperoleh mengingat kompleksitas persoalan turbulensi.

Dalam aliran turbulen terjadi fluktuasi-fluktuasi kecepatan, temperatur, dan sifat-sifat fluida yang tidak uniform yang sulit untuk dinyatakan dengan persamaan sederhana. Padahal komponen fluktuasi ini justru berperan besar dalam transfer energi maupun momentum. Secara kualitas mekanisme turbulensi digambarkan sebagai pembesaran dari tinjauan molekuler dalam aliran laminar. Mekanisme turbulensi terdiri atas pusaran-pusaran yang berfluktuasi secara cepat yang mengangkut gumpalan-gumpalan fluida secara tidak teratur. Kelompok-kelompok partikel saling bertabrakan secara acak membentuk aliran lintang pada skala makroskopik, dan

# BAB

# 6

# PINDAH PANAS RADIASI

## A. Kompetensi yang Diharapkan

Setelah mempelajari materi bab 6 pada buku ini mahasiswa diharapkan memahami dan mempunyai kemampuan dalam menjelaskan tentang panas radiasi, faktor bentuk, radiasi benda hitam, intensitas radiasi, cara perhitungan, analisis dan aplikasinya.

## B. Panas Radiasi

Radiasi (radiasi termal) adalah pancaran energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik. Dengan tidak adanya media perantara, ada perpindahan panas bersih oleh radiasi antara dua permukaan pada suhu yang berbeda. Tidak seperti konduksi atau konveksi, transfer panas dengan cara radiasi tidak memerlukan kehadiran media material dan dapat terjadi dalam ruang hampa. Laju pelepasan energi per satuan luas ( $W/m^2$ ) disebut daya pancar permukaan  $E$ . Dalam teori ini Hukum Stefan-Boltzman memberikan batas atas daya pancar dari radiasi atau benda hitam yang ideal :

$$E_b = \sigma T_s^4 \quad \sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/m^2K^4$$

di mana:  $T_s$  adalah suhu mutlak permukaan.

Hukum kirchof menjelaskan bahwa Tenaga emisi sama dengan tenaga yang dipancarkan oleh sebuah benda persatuan luas, persatuan waktu. Emisi ini disebabkan oleh perubahan konfigurasi elektron atom atau molekul, dan energi diangkut melalui gelombang elektromagnetik (atau foton). Sedangkan

# BAB

# 7

# ALAT PENUKAR KALOR

## A. Kompetensi yang Diharapkan

Setelah mempelajari materi bab 7 pada buku ini mahasiswa diharapkan memahami dan mempunyai kemampuan dalam menjelaskan tentang cara kerja alat penukar kalor, jenis alat penukar kalor, jenis fluida yang dipakai, cara perhitungan dan analisis dan aplikasinya.

## B. *Heat Exchanger*

*Heat exchanger* adalah perangkat yang memfasilitasi pertukaran panas antara dua cairan pada temperatur yang berbeda, sekaligus menjaga mereka dari pencampuran satu sama lain. Dalam radiator mobil, misalnya, panas dipindahkan dari air panas yang mengalir melalui tabung radiator ke udara mengalir melalui pelat tipis berjarak dekat dinding luar yang melekat pada tabung. Perpindahan panas pada *heat exchanger* biasanya melibatkan konveksi di setiap cairan dan konduksi melalui dinding yang memisahkan dua cairan. Dalam analisis penukar panas, akan lebih mudah untuk bekerja dengan koefisien perpindahan panas keseluruhan “U” yang menyumbang kontribusi dari semua efek transfer panas ini. Laju perpindahan panas antara dua cairan pada lokasi di penukar panas tergantung pada besarnya perbedaan suhu di antara lokasi, yang bervariasi sepanjang penukar panas. Jenis paling sederhana dari penukar panas terdiri dari dua pipa konsentris yang berbeda diameter, seperti yang ditunjukkan pada gambar 7.1 yang disebut *double pipe panas exchanger*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Allan, D. Kraus, 1981, Heat Transfer Fundamental, University of Akron, Ohio
- Frank P. Incropera, David P. DeWitt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine. 2002. Fundamentals of Heat and Mass Transfer 6th Edition. John Wiley & Sons Inc.
- Frank Kreith, Raj M. Manglik, Mark S. Bohn, 2011, Principles of Heat Transfer, Seventh Edition, Cengage Learning, USA.
- Haryanto, A. 2013. Buku Ajar: Transfer Panas. Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Bandar Lampung. 274 hlm
- J.P. Holman (Alih Bahasa Ir. E. Jasjfi M.Sc), 1995, Perpindahan Kalor, edisi keenam, Erlangga Jakarta
- Kern, D.Q, 1983, Process Heat Transfer, McGraw Hill Book Company, New York
- M. Necati Ozisik, 1985, Heat Transfer A Basic Approach, McGraw-Hill
- Parabelem T.D. ROMPAS, Perpindahan kalor, Unima Press, 2012,
- P K NAG, 2008, Heat And Mass Transfer, Second Edition, Tata McGraw-Hill.
- Sitompul, T.M, 1993, Alat Penukar Kalor, Citra Niaga Rajawali, Jakarta.
- Y. A. Cengel, 2003, Heat Transfer: A Practical Approach, 2nd nd., McGraw-Hill.

## TENTANG PENULIS



**Eswanto, S.T., M.Eng, IPP** lahir di banyuwangi provinsi jawa timur, menamatkan studi sarjana bidang teknik mesin di Institut Teknologi Medan, selama menempuh program sarjana, penulis juga aktif mengajar di sekolah-sekolah kejuruan (SMK) dan bekerja paruh waktu di perusahaan konsultan konstruksi dan jembatan. Setelah lulus program sarjana pada tahun 2008 bekerja di perusahaan konsultan proyek insfratraktur khususnya yang menangani pekerjaan mechanical dan plumbing sampai tahun 2011. Tahun 2013 penulis memperoleh gelar Master Of Engineering pada program magister bidang Teknik Mesin di universitas gadjah Mada. Saat ini Eswanto merupakan dosen PNS Teknik Mesin Universitas Negeri Medan, yang aktif mengampu berbagai mata kuliah dalam bidang konversi energi seperti Teknik Pendingin, Heat Transfer, Termodinamika, Mesin-Mesin Konversi Energi, Teknologi Energi Terbarukan, Menggambar Mesin selain itu juga penulis aktif terlibat dalam berbagai pekerjaan mechanical dan plumbing seperti proyek gedung bertingkat, perhotelan, pasar rakyat, gedung sekolah dan industri yang memerlukan jasa pekerjaan mechanical dan plumbing serta pekerjaan yang terkait Teknologi Tepat Guna (TTG). Dalam organisasi profesi penulis saat ini aktif sebagai anggota Persatuan Insyinyur Indonesia (PII) dan Asosiasi Dosen Indonesia (ADI).

Email. [eswanto555@gmail.com](mailto:eswanto555@gmail.com)