

**PERPINDAHAN DAN PENUKAR
KALOR JENIS *SHELL* DAN *TUBE***

**Hasan Maksum
Wawan Purwanto**

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 DAN PENUKAR KALOR JENIS *SHELL* DAN *TUBE*

**Hasan Maksum
Wawan Purwanto**



2018

iii

PERPINDAHAN DAN PENUKAR KALOR JENIS *SHELL* DAN *TUBE*

editor, Tim editor UNP Press
Penerbit UNP Press, Padang, 2018
1 (satu) jilid; 14 x 21 cm (A5)
200 hal.

ISBN : 978-602-1178-27-0

PERPINDAHAN DAN PENUKAR KALOR JENIS *SHELL* DAN *TUBE*

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang pada penulis
Hak penerbitan pada UNP Press

Penyusun: Dr. Hasan Maksum, MT
Wawan Purwanto, Ph.D

Editor Substansi : Tim UNP Press

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

Desain Sampul & Layout: Asrul Huda, Wahid & Edi Prasetyo

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah saya ucapkan ke hadirat Allah SWT, karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan buku berjudul “*Perpindahan dan Penukar Kalor Jenis Shell dan Tube*”

Buku ini terbagi atas tiga klasifikasi besar, bagian pertama menyangkut aspek teori dan konsep tentang pemindahan kalor yang diwakili oleh bab I. Bagian kedua tentang penelitian tentang perpindahan dan penukaran kalor yang diwakili oleh bab II, Bab III, bab Bab IV dan bab VI (penutup). Bagian ketiga dari buku ini diwakili oleh bab V, yaitu tentang alat pemindahan kalor yang dipakai dalam industri. Sedangkan bab VI (penutup) adalah pembahasan khusus yang berkaitan dengan penelitian tentang Aplikasi fluida pada Radiator mobil.

Sekurang-kurangnya ada tiga hal penting yang dapat dipetik oleh pembaca dari buku ini: (1) materi tentang teori dan konsep pemindahan panas yang berguna untuk pembelajaran teknik mesin khususnya dalam hal pemindahan kalor; (2) materi dan strategi yang berkaitan dengan model-model penelitian tentang pemindahan kalor dan penukar kalor jenis *shell* dan *tube* yang berguna baik bagi pengembangan praktis di lapangan maupun pengembangan teori; (3) materi yang berkaitan dengan berbagai jenis peralatan yang dipakai dalam industri, khususnya yang berguna bagi mahasiswa, praktisi dibidang keteknikan mesin maupun di lapangan.

Buku ini berbeda dengan kebanyakan buku lain atau buku yang beredar di pasaran karena dikembangkan berdasarkan pengalaman dan penelitian penulis yang puluhan tahun telah mengajar dan mempelajari pengembangan teknik mesin khususnya mengenai pemindahan kalor.

Terwujudnya buku ini adalah berkat bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada: Bapak Rektor Universitas Negeri Padang, dan teman-teman di Fakultas Teknik UNP, maupun di Jurusan Teknik Mesin yang telah mendorong penulis untuk membuat buku ini. Kemudian kepada rekan yang telah bersedia untuk bertindak sebagai penyunting ahli dan penyunting bahasa dari buku ini dan yang telah bekerja keras membantu dalam proses penerbitan buku ini. Teman sejawat yang tidak bisa penulis sebutkan namanya satu persatu, terutama yang mendorong untuk diterbitkannya buku ini.

Kemudian, penulis menyadari bahwa tentu saja masih ada kekurangan dan kelemahan dari buku ini yang tidak terlihat atau terpikirkan atau di luar jangkauan penulis. Untuk itu, penulis sangat mengharapkan kritikan dan saran yang konstruktif dari pembaca sekalian untuk kesempurnaan buku ini di masa mendatang.

Padang, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	III
DAFTAR ISI.....	VII
DAFTAR GAMBAR.....	XII
DAFTAR TABEL	XV

BAB I KONSEP DASAR PERPINDAHAN PANAS.....	1
A. HUBUNGAN ANTARA PERPINDAHAN PANAS DAN TERMODINAMIKA	1
B. KONVERSI ENERGI	3
C. DASAR-DASAR PERPINDAHAN PANAS (BASICS OF HEAT TRANSFER).....	5
D. MEKANISME PERPINDAHAN PANAS.....	7
1. Perpindahan Panas Konduksi.....	7
2. Perpindahan Panas Konveksi	13
3. Perpindahan Panas Radiasi	16
4. Rangkuman	17

BAB II PENINGKATAN PERPINDAHAN KALOR DAN DAYA PEMOMPAAN PENUKAR KALOR JENIS <i>SHELL</i> DAN <i>TUBE</i>	18
A. PENDAHULUAN	18
B. PENELITIAN TENTANG PERPINDAHAN DAN DAYA PEMOMPAAN PENUKAR KALOR.....	21
C. HASIL PENELITIAN.....	25
D. REFERENSI.....	30

BAB III PEMASANGAN <i>RECTANGULAR RIB</i> PADA PERMUKAAN DALAM DARI ANULUS (PENUKAR KALOR JENIS PIPA SEPUSAT)	32
A. PENDAHULUAN	32

B. PENELITIAN TENTANG PEMASANGAN <i>RECTANGULAR RIB</i>	40
C. HASIL PENELITIAN.....	41
D. SIMPULAN	46
E. REFERENSI	47

BAB IV PENINGKATAN PERPINDAHAN KALOR DAN PENURUNAN TEKANAN PADA ALAT PENUKAR KALOR JENIS PIPA SEPUSAT	49
A. PENDAHULUAN	49
B. ALAT PENUKAR KALOR	50
C. PENELITIAN PENINGKATAN PERPINDAHAN KALOR DAN PENURUNAN TEKANAN PADA ALAT PENUKAR KALOR ALAT PENUKAR KALOR.....	52
D. HASIL PENELITIAN.....	58
E. KESIMPULAN.....	62
F. REFERENSI	63

BAB V ALAT PENUKAR KALOR.....	65
A. PENDAHULUAN	65
B. PENGERTIAN HEAT EXCHANGER	68
C. KLASIFIKASI HEAT EXCHANGER BERDASARKAN FUNGSI	70
1. <i>Heat Exchanger</i>	70
2. <i>Cooler</i>	71
3. <i>Condenser</i>	71
4. <i>Heater</i>	72
5. <i>Evaporator</i>	72
6. <i>Chiller</i>	72
7. <i>Reboiler</i>	72
8. <i>Air Cooler Air Cooled Exchanger (Air Cooler)</i>	73
D. Klasifikasi Heat Exchanger Berdasarkan Konstruksinya	73

1.	<i>Fixed Tube Sheet</i>	73
2.	<i>Floating Heat/Tube Sheet (Removeable And Non Removeable Bundles)</i>	74
3.	<i>U-Tube, U-Bundle</i>	74
4.	<i>Kettle</i>	74
5.	<i>Double Pipe</i>	74
6.	<i>Pipe coil</i>	74
E.	Klasifikasi Heat Exchanger Berdasarkan Standar TEMA	76
1.	<i>Klasifikasi Heat Exchanger Berdasarkan Jenis Alirannya</i>	75
2.	<i>Susunan Tube</i>	76
3.	<i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	77
4.	<i>Macam-Macam Baffle</i>	77
5.	<i>Tube</i>	78
F.	Macam-macam Heat Exchanger Berdasarkan Proses Transfer Panas.....	79
1.	<i>Heat Exchanger Tipe Kontak Tak Langsung</i>	79
2.	<i>Heat Exchanger Tipe Direct-Transfer</i>	79
3.	<i>Storage Type Exchanger</i>	80
4.	<i>Fluidized-Bed Heat Exchanger</i>	80
5.	<i>Heat Exchanger Tipe Kontak Langsung</i>	81
G.	Jenis-jenis Heat Exchanger Lainnya	84
1.	<i>Double Pipe Heat Exchanger</i>	84
2.	<i>Plate and Frame Heat Exchanger</i>	85
3.	<i>Shell and Tube Heat Exchanger</i>	86
4.	<i>Adiabatic Whell Heat Exchanger</i>	86
5.	<i>Pillow Plate Heat Exchanger</i>	87
6.	<i>Dynamic Scraped Surface Heat Exchanger</i>	87
H.	Phase-change Heat Exchanger	87
I.	Faktor Perpindahan Panas dan Analisa Kerja Heat Exchanger.....	88
J.	Koefisien Overall Perpindahan Panas (U)	88
1.	<i>Fouling Factor</i>	89

2. <i>Pressure Drop</i>	92
K. Spiral Heat Exchanger (Penukar Kalor Spiral)	94
1. <i>Spiral Plate Heat Exchanger</i>	96
2. <i>Spiral Tube Heat Exchanger</i>	99
L. Perpindahan panas pada Fin dan Sirip	108
1. <i>Fin (Sirip)</i>	108
2. <i>Menara Pendingin (Cooling Tower)</i>	114
3. <i>Motor Bakar</i>	115
4. <i>Processor Computer</i>	115
M. Fin Pada Perpindahan Panas Konveksi	116
1. <i>Radiator</i>	116
2. <i>Pipa Ganda</i>	117
3. <i>Sirip Pendingin Komponen Elektronika</i>	118
4. <i>Kompresor</i>	118
N. Analisis Satu Dimensi Pada Fin dengan Penampang Seragam	119
1. Fin dengan Kehilangan Panas yang Diabaikan pada Bagian Ujung	120
2. Efisiensi Fin	120
3. Rangkuman	121

BAB VI APLIKASI FLUIDA PADA RADIATOR

MOBIL	123
A. PENDAHULUAN	124
B. DESKRIPSI TEORI	128
1. Sistem Pendingin	128
2. Komponen Sistem Pendingin Air	132
3. Alat Penukar Kalor (<i>Heat Exchanger</i>)	143
4. Efektivitas Alat Penukar Kalor (Radiator)	144
C. DESAIN PENELITIAN	147
1. Defenisi Operasional	149
2. Variabel Penelitian	149
3. Instrumen dan Teknik Pengumpulan Data	150

4. Teknik Analisa Data.....	151
D. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	153
1. Data Hasil Pengujian.....	153
2. Data Nilai Efektivitas Radiator	155
3. Pembahasan.....	157
E. KESIMPULAN.....	159
GLOSSARI.....	162
INDEKS	178
BIOGRAFI SINGKAT PENULIS.....	183

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Suatu Proses Konversi Tenaga	4
Gambar 1.2 Perpindahan Panas: Dua Benda A Dan B Yang Berbeda Temperatur Disinggungkan, Maka Panas Akan Mengalir Dari Benda A Ke Benda B	6
Gambar 1.3 Mekanisme Perpindahan Panas Secara Konduksi	8
Gambar 1.4 Pengaruh Temperatur Terhadap Konduktivitas Termal Bahan	10
Gambar 1.5 A Sketsa Mekanisme Perpindahan Panas Konduksi pada Sebuah Pelat	11
Gambar 1.5 b Sketsa Mekanisme Perpindahan Panas Konduksi Pada Sebuah Pelat	12
Gambar 1.6 Mekanisme Perpindahan Panas Secara Konduksi	15
Gambar 2.1 Skema Peralatan Eksperimen	21
Gambar 2.2 Hubungan Antara Nu Dengan Re Aliran Fluida	26
Gambar 2.3 Hubungan Antara F Dengan Re	27
Gambar 2.4 Hubungan Antara Laju Perpindahan Kalor Dengan Peningkatan Daya Pemompaan Dengan Variasi Sudut Kemiringan <i>Baffle</i>	29
Gambar 3.1 Aliran Fluida Dan Keseimbangan Gaya	34
Gambar 3.2 Saluran Fluida Berbentuk Anulus Konsentris	36
Gambar 3.3 Skema Peralatan Eksperimen	40
Gambar 3.4 Hubungan Antara Nu Dengan Re Aliran Fluida Dalam Anulus Yang Dipasang <i>Rectangular rib</i> Dengan Variasi Tinggi (H) Untuk Jarak Antara <i>Rectangular rib</i> (S) = 43 Mm	42
Gambar 3.5 Hubungan Antara Nu Dengan Re Aliran Fluida dalam Anulus yang Dipasang <i>Rectangular rib</i>	

	Dengan Variasi Jarak (S) Untuk Tinggi <i>Rectangular rib</i> (H) = 7 Mm	43
Gambar 3.6	Hubungan Antara F Dengan Re Aliran Fluida Dalam Anulus Yang Dipasang <i>Rectangular rib</i> Dengan Variasi Tinggi (H) Untuk Jarak Antara <i>Rectangular rib</i> (S) = 43 Mm	45
Gambar 3.7	Hubungan Antara F Dengan Re Aliran Fluida dalam Anulus yang Dipasang <i>Rectangular rib</i> Dengan Variasi Jarak (S) untuk Tinggi <i>Rectangular rib</i> (H) = 7 Mm	46
Gambar 4.1	Skema Peralatan Eksperimen	54
Gambar 4.2	Aliran Fluida Dan Kesetimbangan Gaya	55
Gambar 4.3	Saluran Fluida Berbentuk Anulus Konsentris	57
Gambar 4.4	Hubungan Antara Nu Dengan Re Aliran Fluida Dalam Anulus Dengan Sirip Dipilin Pada Pipa Dengan Variasi <i>Pitch</i>	60
Gambar 4.5	Hubungan Antara F Dengan Re Aliran Fluida Dalam Anulus Dengan Sirip Dipilin Pada Pipa Dengan Variasi <i>Pitch</i>	61
Gambar 5.1	Mesin Alat Penukar Kalor	67
Gambar 5.2	Head Exchanger	68
Gambar 5.3	Fluidized-Bed Heat exchanger	82
Gambar 5.4	Immiscible Fluid Exchangers	83
Gambar 5.5	Gas-Liquid Exchanger	84
Gambar 5.6	Double Pipe Heat exchanger	85
Gambar 5.7	Plate and Frame Heat exchanger	86
Gambar 5.8	<i>Shell</i> and Tube Heat exchanger	87
Gambar 5.9	Contoh Penukar Kalor Jenis Spiral	95
Gambar 5.10	Contoh Tipe Aliran Searah	96
Gambar 5.11	Contoh Tipe Aliran Berlawanan Arah	97
Gambar 5.12	Gambar potongan Spiral plate Heat exchanger	98
Gambar 5.13	Model Spiral Heat exchanger (Plate)	98

Gambar 5.14 Gambar Potongan Heat Exchanger Tipe Spiral \ (Tube)	101
Gambar 5.15 Konduksi Panas Pada Keping Plan-Paralel	106
Gambar 5.16 Contoh (1) Spiral Heat exchanger yang Digunakan di Industri	108
Gambar 5.17 Contoh (2) Spiral Heat exchanger yang Digunakan di Industri	108
Gambar 5.18 Gambar Fin (sirip).....	111
Gambar 5.19 Gambar Radiator	112
Gambar 5.20 Kondesor	113
Gambar 5.21 Proses Kondesor	113
Gambar 5.22 Evaporator	114
Gambar 5.23 Menara Pendingin	115
Gambar 5.24 Komponen Pendingin Motor Bakar	116
Gambar 5.25 Gambar IC	116
Gambar 5.26 Radiator	117
Gambar 5.27 Pendingin Pipa Ganda	118
Gambar 5.28 Sirip Pendingin Komponen Elektronika	119
Gambar 5.29 Kompresor	119
Gambar 6.1 Sistem Pendingin Air	133
Gambar 6.2 Konstruksi Radiator	134
Gambar 6.3 Tutup Radiator (relief valve dan vacuum valve).....	135
Gambar 6.4 Tangki Atas dan Tangki Bawah Radiator	136
Gambar 6.5 Pipa (tube) dan sirip (fin) inti radiator	137
Gambar 6.6 Pompa Air	137
Gambar 6.7 Kipas Radiator	139
Gambar 6.8 Thermostat	140
Gambar 6.9 Pengukuran Suhu Fluida	149
Gambar 6.10 Perbandingan efektivitas radiator dengan variasi coolant	157
Gambar 6.11 Perbandingan rata-rata efektivitas radiator dengan titik beku dan titik didih coolant	158

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Nilai Konduktivitas Termal Beberapa Jenis Bahan	10
Tabel 2.1 Besar Nilai Koefisien Perpindahan Panas Konveksi, H, Pada Beberapa Kondisi	21
Tabel 5.1 Fouling Factor	92
Tabel 6.1 Macam-Macam Cairan Pendingin (Coolant) Yang Disediakan Bengkel Di Kota Padang	128
Tabel 6.2 Spesifikasi Mitsubishi Long Life Coolant	143
Tabel 6.3 Spesifikasi Top 1 Super Coolant.....	143
Tabel 6.4 Spesifikasi Prestone	144
Tabel 6.5 Desain Penelitian	149
Tabel 6.6 Rata-Rata Data Hasil Pengukuran Suhu Saat Menggunakan Air (Aqua).....	154
Tabel 6.7 Rata-Rata Data Hasil Pengukuran Suhu Saat Menggunakan Mitsubishi Llc	155
Tabel 6.8 Rata-Rata Data Hasil Pengukuran Suhu Saat Menggunakan Top1 Super Coolant	155
Tabel 6.9 Rata-Rata Data Hasil Pengukuran Suhu Saat Menggunakan Prestone	155
Tabel 6.10 Data Hasil Pengukuran Efektivitas Radiator	156