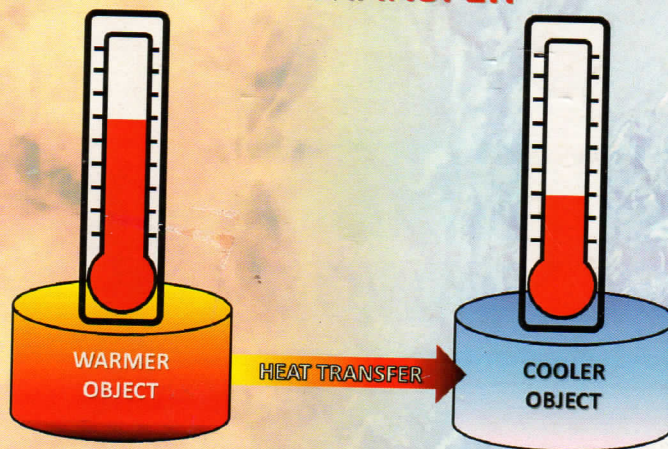




# PROSES PERPINDAHAN PANAS

## HEAT TRANSFER



oleh

Ir. Muhammad Arief Karim, MSc

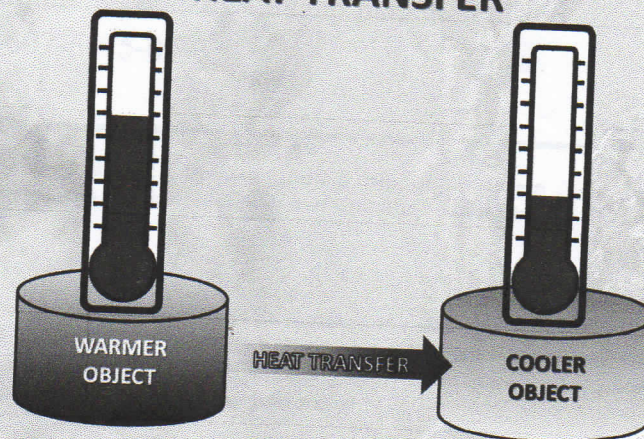
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG

2014



# PROSES PERPINDAHAN PANAS

HEAT TRANSFER



oleh

Ir. Muhammad Arief Karim, MSc

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH PALEMBANG

2014

---

# PROSES PERPINDAHAN PANAS

---

Penulis : Ir. Muhammad Arief Karim, MSc

Layout : Habibullah

Desain Cover : Habibullah

Hak Penerbit Univ. Muhammadiyah Palembang  
Jl. Jendral Ahmad Yani Kel. 13 Ulu - Palembang  
Palembang - Indonesia

Phone : 0711-513022, 514700

Fax, : 0711-513078

Email : [info@umpalembang.ac.id](mailto:info@umpalembang.ac.id)

Hak Cipta dilindungi undang-undang pada penulis

ISBN : 978-602-6875-01-3

Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, sebagaimana yang telah diatur dan diubah dari Undang-undang Nomor 19 Tahun 2002, bahwa:

Kutipan Pasal 113

- (1) Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagai- mana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf l untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan / atau pidana denda paling banyak Rp. 100.000.000,- (seratur juta rupiah).
- (2) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/ atau pidana denda paling banyak Rp. 500.000.000,- (limat ratus juta rupiah)
- (3) Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp.1.000.000.000,- (satu miliar rupiah)
- (4) Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp. 4.000.000.000,- (empat miliar rupiah).

## DAFTAR ISI

	halaman
LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
DAFTAR ISI .....	ii
NOTASI .....	iii
KATA PENGANTAR .....	viii
BAB.I. PENDAHULUAN .....	1
1.1. Konsep Dasar .....	1
BAB II PERPINDAHAN PANAS KONDUKSI .....	6
2.1 Pendahuluan .....	6
2.2 Hukum Fourier konduksi panas .....	6
2.3 Persamaan konduktivitas panas. ....	11
2.4. Daya Tahan Thermal .....	24
2.5 Kesimpulan Mekanisme Konduksi .....	34
BAB III PERPINDAHAN PANAS KONVEKSI .....	41
3.1. PENDAHULUAN .....	41
3.2 Kombinasi Konduksi dan Konveksi .....	44
3.3. Konveksi Paksa di dalam Pipa dan saluran .....	47
3.5 Konveksi Paksa di dalam Aliran Eksternal .....	61
3.6. Konveksi Bebas .....	66
BAB IV PERPINDAHAN PANAS RADIASI .....	74
4.1 Pendahuluan .....	74
BAB V PERPINDAHAN PANAS MELALUI DINDING PIPA .....	77
5.1 Pendahuluan .....	77
5.2 Laju perpindahan panas .....	77
5.3. Koefisien perpindahan panas .....	79
5.4. Logaritmic mean temperature difference (LMTD) .....	80
5.5. Suhu kalorik dan suhu rata-rata.....	83
5.6. Suhu dinding .....	84

DAFTAR ISI

BAB VI HEAT EXCHANGER .....	86
6.1 Pendahuluan .....	86
6.2 Peralatan Double pipe .....	87
6.3 Shell dan Tube Equipment .....	89
6.4. Koefisien heat transfer keseluruhan .....	92
6.5 LMTD Faktor Koreksi.....	99
6.6 Analisis Alat Penukar Panas Pipa Ganda .....	102
6.7 Desain Awal Shell-and-Tube Exchanger .....	109
6.8 Rating sebuah Shell-dan-Tube Exchanger .....	112
6.9 Efektivitas Heat-Exchanger .....	120
6.10. Film coefisient fluida dalam pipa .....	126
6.11. Diameter ekivalent .....	127
6.12. Film coefficient dalam annulus .....	128
6.13. Equiling factor (factor kotoran) .....	128
6.14. Pressure drop dalam pipa dan annulus .....	131
6.15. Langkah-langkah perhitngan D.P Exchanger .....	132
6.16. Langkah-langkah perhitungan untuk 1-2 Excanger .....	140

## KATA PENGANTAR

86 Dalam upaya untuk memenuhi ketersediaan buku ajar dalam  
86 perkuliahan proses perpindahan panas, terutama yang menggunakan bahasa  
87 Indonesia dalam bidang teknik, maka kali ini penulis menyempatkan diri untuk  
89 ikut membuat sebuah buku/diktat yang bisa digunakan sebagai buku pegangan  
92 oleh mahasiswa teknik khususnya prodi Teknik Kimia. Kali ini penulis  
99 menyiapkan buku ajar/diktat yang ditujukan untuk mata kuliah Proses  
102 Perpindahan Panas. Dalam penyusunan buku ajar ini penulis berupaya  
109 menyesuaikan materinya dengan kurikulum dan silabus yang berlaku di  
112 jurusan Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah  
120 Palembang.

102 Penulis sadar buku ajar ini belum merupakan referensi lengkap dari mata  
109 kuliah Proses Perpindahan Panas, sehingga mahasiswa perlu untuk membaca  
112 buku-buku referensi lain untuk melengkapi pengetahuannya tentang materi buku  
120 ini.

126 Akhir kata, mudah-mudahan buku ini bisa menjadi penuntun bagi  
127 mahasiswa dan memberikan manfaat sebagaimana yang diharapkan. Tak lupa  
128 penulis mengucapkan banyak-banyak terima-kasih kepada pihak-pihak yang  
131 telah banyak membantu dalam penyelesaian pembuatan buku ini.

128 Palembang, Maret 2016

131 IR. MUHAMMAD ARIEF KARIM, M.Sc.

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Konsep Dasar

Termodinamika merupakan salah satu bidang ilmu pengetahuan yang membahas tentang kalor, kerja dan sifat substansi yang berkaitan dengan kerja atau kalor tersebut. Hukum-hukum termodinamika pada prinsipnya menjelaskan peristiwa perpindahan panas dan kerja pada proses yang berkaitan dengan energi dalam dan transformasinya dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Dua bentuk transient sangat penting yaitu kerja dan panas. Energi ini disebut transient karena, Panas dan kerja hanya ada ketika terjadi pertukaran energi antara dua sistem atau antara sistem dan sekitarnya, yaitu, ketika sebuah bentuk energi dari satu sistem (seperti energi kinetik, energi potensial, intern energi, energi aliran, energi kimia) diubah menjadi bentuk energi sistem lain atau dari lingkungan. Dalam kebanyakan kasus masalah keteknikan sering melibatkan pertukaran energi dengan aliran panas berupa transfer energi internal antara dua sistem. Terdapat dua jenis sistem termodinamika, yaitu sistem tertutup dan sistem terbuka. Pada sistem tertutup yang melintasi garis batas (boundary layer) hanyalah aliran kalor dan kerja saja, sedangkan pada sistem terbuka, kerja fluida juga melintasi batas dari sistem.

Peristiwa perpindahan energi dalam bentuk panas banyak dijumpai di dalam industri kimia maupun industri-industri yang lain. Ilmu perpindahan panas tidak hanya membahas bagaimana energi panas itu dipindahkan dari satu benda ke benda lain, tetapi juga meramalkan laju perpindahan panas yang terjadi pada kondisi-kondisi tertentu.

Seperti diketahui bahwa temperatur merupakan salah satu properti sistem yang telah dikenal luas penggunaannya, akan tetapi agak sukar untuk mendefinisikannya, oleh karenanya definisi tentang temperatur akan lebih baik diberikan dalam suatu fenomena saja. pertama kita menyadari adanya temperatur (suhu) sebagai perasaan panas atau dingin bila kita menyentuh suatu benda.

Demikian juga apabila dua buah benda, yang satu panas dan yang satu dingin, disentuhkan satu sama lain, maka benda yang panas akan mendingin, dan yang dingin akan menjadi panas, sehingga pada suatu waktu, keduanya akan memiliki rasa panas atau dingin yang sama. Sebenarnya yang terjadi adalah kedua benda tersebut mengalami perubahan sifat, dan pada waktu proses perubahan ini berhenti, kedua benda berada dalam keadaan kesetimbangan thermal. Jadi dua sistem yang berada dalam kesetimbangan thermal mempunyai sifat yang sama, sifat ini disebut temperatur (suhu). Dengan kata lain, temperatur dari suatu benda adalah suatu indikator dari keadaan panas yang dimilikinya didasari kepada kemampuan benda tersebut untuk mentransfer panas ke benda lain. Hukum dasar yang mendasari pengukuran suhu dikenal dengan **hukum termodinamika ke-nol**. Hukum termodinamika ke-nol menyatakan bahwa apabila dua buah benda masing-masing berada dalam keadaan kesetimbangan thermal dengan benda yang ketiga, maka kedua benda ini berada dalam kesetimbangan thermal satu sama lain, artinya, suhu kedua benda tersebut adalah sama. Skala untuk menentukan besar kecilnya temperatur yang sudah dikenal adalah Fahrenheit, Celcius, Kelvin dan Rankine.

Dalam terminologi keteknikan, panas (*heat*) dimaksudkan sebagai salah satu bentuk energi. Ini tentunya berbeda dengan terminologi secara umum, yakni panas adalah sesuatu yang suhunya diatas suhu normal, sebagai contoh pada kalimat "badannya panas", "airnya panas". Misalkan, bila dua benda saling bersentuhan, benda pertama suhunya ( $-5^{\circ}\text{C}$ ) dan benda kedua suhunya ( $-30^{\circ}\text{C}$ ). Bila kita menggunakan terminologi umum, maka antara keduanya tidak akan terjadi perpindahan panas karena kedua benda tersebut berada dalam keadaan dingin. Tetapi karena kita menggunakan terminologi keteknikan, maka sudah pasti akan terjadi perpindahan panas dari benda pertama ke benda kedua. Mengapa ?, karena kedua benda tersebut suhunya berbeda, maka pasti akan terjadi perpindahan panas.



Materi perpindahan panas secara mendalam diajarkan di mata kuliah Perpindahan Panas. Dalam bahasan ini hanya akan membicarakan secara ringkas tentang berbagai mode perpindahan panas yang ada. Dalam proses perpindahan panas dikenal istilah isothermal (*isothermal*) dan adiabatik (*adiabatic*).

Proses isothermal adalah proses yang terjadi pada keadaan suhu yang tidak berubah selama berlangsungnya proses tersebut. Untuk menggambarkan saya ambil contoh proses anda menyetrika pakaian anda. Pasti anda sepakat bila sedang menyeterika pakaian anda, anda harus mempertahankan suhu setrika agar selalu tetap menggunakan pengatur suhu. Bagaimana kalau anda membiarkan suhu ini terus bertambah tinggi selama proses anda menyetrika...saya kira, anda perlu membeli pakaian baru untuk mengganti pakaian yang anda setrika tersebut. Inilah penyebab kenapa kita perlu yang namanya proses isothermal.

Proses adiabatik adalah proses dimana tidak terjadi interaksi panas antara sistem dengan lingkungan. Untuk menggambarkan bayangkanlah ketika seseorang tidur didaerah yang dingin katakanlah di gunung. Sudah pasti orang tersebut akan menggunakan selimut, semakin tebal selimutnya maka semakin nyaman orang tersebut tidur. Kenapa menggunakan selimut?, agar suhu lingkungan yang dingin tidak bersentuhan dengan tubuh orang itu. Sekarang, apakah tubuh orang itu bisa menjadi hangat dengan menggunakan selimut tersebut?. Jawabannya pasti ya. Mengapa?, karena tubuh tubuhnya mengeluarkan panas, dan panas ini tidak dapat melewati selimut. Akibatnya, panas yang terus menerus dikeluarkan oleh tubuh akan semakin meningkatkan suhu didalam selimut hingga tercapai suatu saat tubuhnya akan merasa suhu tersebut sudah terlalu panas dan menyebabkan anda bahkan berkeringat. Demikian pula dengan proses adiabatik secara engineering. Dalam proses adiabatik, walaupun tidak ada panas yang dapat melintasi batas sistem, tetapi suhu sistem tetap dapat berubah akibat adanya aktivitas interaksi energi didalam sistem itu sendiri.

Sebagai energi, panas memiliki satuan kJ (SI) atau Btu (*British Thermal Unit*). Besarnya Energi yang berpindah selama proses perpindahan panas disimbolkan dengan ( $Q$ ), dengan satuan (kJ). Bila besarnya energi ini dihitung atas dasar per satuan massa maka simbolnya ditulis dengan ( $q$ ).

$$q = \frac{Q}{m} \quad (\text{kJ/kg}) \quad (1-1)$$

Sementara laju perpindahan panas merupakan besarnya energi panas yang berpindah persatuan waktu yang satuannya adalah **kJ/detik** atau **kW**. Dalam selang waktu tertentu (dari  $t_1$  hingga  $t_2$ ), besarnya energi panas yang berpindah merupakan integral dari laju perpindahan panas pada selang waktu tersebut.

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} \dot{Q} dt \quad (\text{kJ}) \quad (1-2)$$

$\dot{Q}$  = Laju Perpindahan Panas

Bila laju perpindahan panas sepanjang selang waktu tersebut adalah konstan maka rumusan diatas dapat disederhanakan menjadi:

$$Q = \dot{Q} \Delta t \quad (\text{kJ}) \quad (1-3)$$

Dimana  $\Delta t = t_2 - t_1$

Panas dapat berpindah melalui tiga mekanisme yakni: konduksi, konveksi dan radiasi. Konduksi adalah perpindahan panas yang terjadi akibat adanya interaksi partikel zat dari yang lebih berenergi ke yang kurang berenergi. Terjadi pada umumnya melalui media padat.

Pada media cair yang diam, perpindahan panas konduksi juga dapat terjadi, tetapi bila media cair tersebut mulai bergerak, maka analisis yang digunakan adalah analisis konveksi. Konveksi adalah perpindahan panas dari permukaan media padat ke fluida yang bergerak diatas permukaan media padat tersebut. Sementara radiasi adalah perpindahan panas sebagai akibat terjadinya emisi dari gelombang elektromagnetis.

(1-1)

(1-2)

(1-3)

## BAB II PERPINDAHAN PANAS KONDUKSI

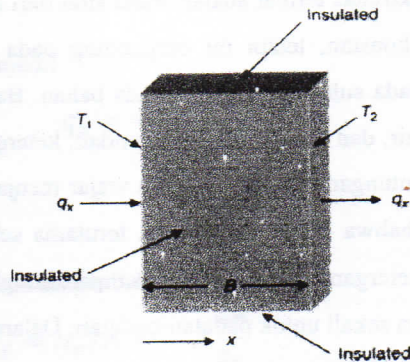
### 2.1 Pendahuluan

Konduksi panas adalah salah satu dari tiga modus dasar pengangkutan energi termal (Dua diantaranya konveksi dan radiasi) dan dilibatkan hampir di dalam semua proses operasi transfer panas. Di dalam peralatan penukaran panas, sebagai contoh, panas dikondisikan melalui suatu dinding zat padat (sering kali disuatu dinding tabung) yang pemisahkan dua cairan mempunyai perbedaan suhu. Lebih lanjut, konsep dari hambatan termal, yang mengikuti persamaan dasar konduksi panas, adalah secara luas menggunakan analisis permasalahan yang timbul di dalam desain dan peralatan operasi industri. Sebagai tambahan, banyak permasalahan proses rekayasa yang terjadi dapat dipecahkan dengan ketelitian yang bisa diterima menggunakan solusi sederhana dari konduksi panas untuk persegi panjang, silindris, dan geometri berbentuk bola.

Bab ini menyediakan satu pengenalan kepada teori yang makroskopik konduksi panas dan teknik penerapan-penerapannya. Konsep utama dari hambatan termal, yang digunakan sepanjang permasalahan, dikembangkan di sini, dan kegunaanya di dalam meneliti dan memecahkan permasalahan dari praktis yang digambarkan.

### 2.2 Hukum Fourier konduksi panas

Teori mathematical dari konduksi panas dikembangkan pada awal abad yang ke sembilan belas oleh Yusuf Fourier. Teori itu didasarkan pada hasil-hasil dari percobaan-percobaan berupa gambaran, di dalam Gambar 11 di mana dari suatu padatan persegi panjang yang berada pada suhu  $T_1$ , serta yang berada pada suatu suhu yang lebih rendah,  $T_2$ .



Gambar 2.1 konduksi panas dalam satu-dimensi di suatu padatan.

Empat sudut-sudut yang lainnya dibatasi sehingga panas dapat mengalir hanya didalam arah x. Karena suatu bahan yang diberi, itu maka ditemukan bahwa tingkat,  $q_x$ , di mana panas (yang berkenaan dengan panas tenaga) ditransfer dari sisi yang panas ke sisi yang dingin adalah proporsi potongan paling luas, (A), ke seberang aliran kalor : perbedaan suhu,  $T_1 - T_2$  dan berbanding terbalik dengan ketebalan, (B), dari bahan. Yang dapat dirumuskan:

$$q_x \propto \frac{A(T_1 - T_2)}{B}$$

Hubungan ini menjadi satu persamaan, dapat di peroleh :

$$q_x = \frac{kA(T_1 - T_2)}{B} \quad (2.1)$$

Proposi Konstan proporsionalitas, k, menghubungkan konduktivitas termal. Persamaan (1.1) juga bisa diterapkan pada konduksi panas zat cair dan gas. Bagaimanapun, ketika perbedaan suhu ada di dalam cairan-cairan, arus konveksi cenderung disiapkan, sehingga panas secara umum tidak ditransfer semata-mata oleh mekanisme konduksi.

ISBN 978-602-6875-01-3