



PERPINDAHAN KALOR DAN MASSA

**Erlanda Augupta Pane
Ismail**



PERPINDAHAN KALOR DAN MASSA

**Erlanda Augupta Pane
Ismail**



PERPINDAHAN KALOR DAN MASSA

Tim Penulis:

Erlanda Augupta Pane, Ismail

Desain Cover:

Usman Taufik

Sumber Ilustrasi:

www.freepik.com

Tata Letak:

Handarini Rohana

Editor:

Teknobiz Team

Proofreader:

Aas Masrurroh

ISBN:

978-623-500-680-2

Cetakan Pertama:

Februari, 2025

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

WIDINA MEDIA UTAMA

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 360/JBA/2020

Website: www.penerbitwidina.com

Instagram: [@penerbitwidina](https://www.instagram.com/penerbitwidina)

Telepon (022) 87355370

KATA PENGANTAR

Kepada Para Pembaca Yang Terhormat,

Dengan rasa syukur dan kebahagiaan, kami mempersembahkan buku ini yang berjudul “Perpindahan Kalor dan Massa”. Buku ini merupakan buku pegangan (*handbook*) untuk mempelajari fenomena perpindahan kalor dan massa yang merupakan disiplin ilmu bagian dari bidang termodinamika dengan mengkaji proses perpindahan kalor dan massa dalam bentuk 3 metode yakni metode konduksi, metode konveksi (metode konveksi alam dan metode konveksi paksa), dan metode radiasi. Metode perpindahan kalor dan massa yang terjadi tersebut juga dipelajari dalam berbagai media perantara yang digunakan antara lain bidang datar, tabung, dan bola. Setelah memahami proses perpindahan panas dalam berbagai macam metode dan bidang perantara, kemudian pembaca akan diajak untuk memahami pengaplikasian proses perpindahan kalor dan massa dalam kehidupan sehari-hari seperti pengaplikasian di dalam mesin penukar kalor dan sistem pipa *heat exchanger*.

Terima kasih kepada semua pihak yang telah berkontribusi dalam penyusunan buku ini. Semoga buku ini dapat menjadi sumber inspirasi dan pengetahuan yang bermanfaat bagi pembaca, serta memberikan kontribusi positif bagi perkembangan pengaplikasian sistem perpindahan kalor dan massa bagi teknologi terapan pada kehidupan masyarakat sehari-hari.

Selamat membaca !

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI	iv
BAB 1 PENDAHULUAN	1
A. Definisi Perpindahan Kalor	1
B. Perpindahan Kalor : Konduksi	2
C. Perpindahan Kalor : Konveksi	7
D. Perpindahan Kalor : Radiasi	10
E. Latihan Soal	13
BAB 2 KONDUKSI KEADAAN STEADY STATE SATU DIMENSI	15
A. Pendahuluan: Sistem Bidang Datar	15
B. Pendahuluan : Sistem Radial- Silinder	17
C. Koefisien Perpindahan Panas Menyeluruh	20
D. Tebal Kritis Isolasi	23
E. Sistem Sumber Panas	24
F. Silinder Dengan Sumber Kalor	25
G. Sistem Konduksi-Konveksi	27
H. Sirip	29
I. Latihan Soal	30
BAB 3 KONDUKSI KEADAAN STEADY STATE MULTIDIMENSI	33
A. Pendahuluan	33
B. Analisis Matematik Konduksi Kalor Dua-Dimensi	34
C. Analisis Grafik	36
D. Faktor Bentuk Konduksi	36
E. Metode Analisis Numerik	40
F. Formulasi Numerik Dengan Unsur-Unsur Tahanan	44
G. Iterasi Gauss-Seidel	45
H. Analogi Listrik Untuk Konduksi Dua-Dimensi	47
I. Latihan Soal	47
BAB 4 KONDUKSI KEADAAN STEADY STATE	49
A. Pendahuluan	49
B. Sistem Kapasitas Panas Tergabung	50
C. Aliran Kalor Transien Dalam Benda Padat Semi Tak Berhingga	53
D. Fluks Kalor Tetap Pada Benda Padat Semi Tak Berhingga	54
E. Kondisi Batas Konveksi	55
F. Sistem Dimensi Rangkap	62
G. Metode Numerik Transien	64

H. Tahanan Termal dan Formulasi Kapasitas	66
BAB 5 PRINSIP-PRINSIP KONVEKSI	71
A. Pendahuluan	71
B. Aliran Viskositas (Kental)	72
C. Aliran Invisid	75
D. Lapisan Batas Laminar Pada Plat Rata	78
E. Persamaan Energi Lapisan Batas	82
F. Lapisan Batas Termal	84
G. Hubungan Antara Gesek-Fluida dan Perpindahan Kalor	89
H. Perpindahan Kalor Lapisan Batas Turbulen	90
I. Viskositas Pusaran dan Panjang Pencampuran	91
J. Perpindahan Kalor Turbulen Atas Dasar Analogi Gesek-Fluida	94
K. Tebal Lapisan Batas Turbulen	96
L. Perpindahan Kalor Dalam Alirann Tabung Laminar	98
M. Suhu Limbak (Bulk Temperature)	100
N. Aliran Turbulen Dalam Tabung	100
O. Perpindahan Kalor Dalam Aliran Kecepatan Tinggi	102
DAFTAR PUSTAKA	106

BAB 1

PENDAHULUAN

A. DEFINISI PERPINDAHAN KALOR

Perpindahan kalor adalah ilmu untuk meramalkan perpindahan energi yang terjadi karena adanya perbedaan suhu diantara benda atau material. Ilmu termodinamika yang memberikan ilmu bahwa energi yang pindah dinamakan sebagai kalor atau panas (*heat*). Ilmu perpindahan kalor tidak hanya menjelaskan energi panas berpindah dari satu benda ke benda lain; tetapi juga meramalkan laju perpindahan pada kondisi tertentu. Ilmu perpindahan kalor melengkapi hukum pertama dan kedua termodinamika dengan memberikan beberapa kaidah percobaan untuk menentukan perpindahan energi. Tiga modus perpindahan kalor yang dikenal saat ini antara lain konduksi (hantaran), konveksi (ilian), dan radiasi (sinaran).



(a)



(b)



(c)

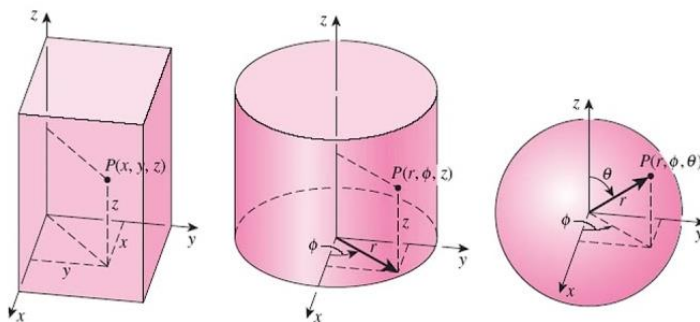
Gambar 1 Peristiwa Perpindahan Panas
(a) Konduksi; (b) Konveksi; dan (c) Radiasi

BAB 2

KONDUKSI KEADAAN *STEADY STATE* SATU DIMENSI

A. PENDAHULUAN: SISTEM BIDANG DATAR

Proses penerapan Persamaan Hukum Fourier digunakan untuk aliran panas (*thermal*) dalam sistem sederhana satu dimensi. Tipe sistem satu dimensi yang dipelajari pada penerapan Persamaan Hukum *Fourier* antara lain sistem bidang datar, sistem silinder, dan sistem bola yang mana suhu benda dijadikan sebagai fungsi jarak radial. Ketiga jenis sistem tersebut dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Jenis Sistem Bidang Datar, Tabung,
dan Bola Pada Persamaan Hukum *Fourier*

Perpindahan panas dalam multi dimensi dapat didekati dengan menggunakan analisis satu dimensi (persamaan differensial menjadi sederhana dan mendapatkan penyelesaian sederhana pula). Adapun untuk Penerapan Hukum *Fourier* dapat diintegrasikan dari Persamaan 1 menjadi Persamaan 2 sebagai berikut, bilamana konduktivitas termal (*thermal conductivity*), tebal dinding, dan suhu muka dinding dalam kondisi tetap.

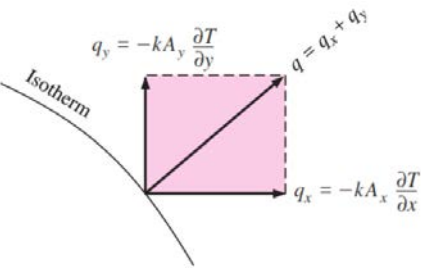
BAB 3

KONDUKSI KEADAAN

STEADY STATE MULTI DIMENSI

A. PENDAHULUAN

Analisis mengenai aliran panas secara konduksi melalui multi dimensi bisa dilakukan melalui bidang dua dimensi (*two dimensional heat flow*). Kondisi keadaan tersebut terjadi dalam bentuk *steady state* dengan memberlakukan Persamaan *Laplace* yang menganggap konduktivitas termal secara tetap dengan menggunakan Persamaan 1 berikut ini.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} = 0 \quad (1)$$


Gambar 1 Ilustrasi yang menjelaskan aliran panas dalam bidang dua dimensi

Persamaan 1 dapat diselesaikan dengan cara sistem analitik, sistem numerik atau sistem grafik. Penyelesaian Persamaan 1 tersebut dapat juga memberikan suhu dalam dua dimensi sebagai fungsi dari koordinat sumbu x dan sumbu y. Persamaan aliran panas pada sumbu x dan sumbu y dapat dijelaskan pada Persamaan 2 dan Persamaan 3.

$$Sb.x : q_x = -kA_x \frac{\partial T}{\partial x} \quad (2)$$

$$Sb.y : q_y = -kA_y \frac{\partial T}{\partial y} \quad (3)$$

BAB 4

KONDUKSI KEADAAN *STEADY STATE*

A. PENDAHULUAN

Benda padat yang mengalami perubahan lingkungan berusaha untuk kembali ke dalam keadaan setimbang (keadaan *steady state*) dalam waktu transisi. Selama waktu transisi benda mengalami kondisi keadaan tak setimbang (*unsteady state*). Proses transisi benda dilakukan perhitungan perubahan energi dalam (*internal energy*) sesuai dengan waktu, yang memerlukan kondisi batasan (*boundary conditions*) agar sesuai dengan situasi fisis di dalam perpindahan panas keadaan tak setimbang (*unsteady state*).

Analisis perpindahan panas keadaan tak setimbang mempunyai arti praktis yang nyata mengingat banyaknya proses pemanasan dan pendinginan yang harus dihitung. Solusi masalah perpindahan panas transien dapat dimulai dengan menggunakan persamaan umum konduksi kalor pada metode pemisahan-variabel. Perhitungan plat tak berhingga dengan ketebalan plat 2L menjadi salah satu studi kasus yang dapat dianalisis, dimana plat tersebut memiliki kondisi suhu yang seragam (T_i) dan pada waktu titik nol suhu permukaan tiba-tiba turun menjadi $T = T_1$ yang dapat dilihat pada Gambar 1.

BAB 5

PRINSIP-PRINSIP KONVEKSI

A. PENDAHULUAN

Perpindahan panas konveksi memerlukan neraca energi disamping analisis dinamika fluida, dimana neraca energi dapat mempengaruhi gradien suhu dalam fluida. Perpindahan panas secara konveksi memerlukan analisis hubungan sederhana antara dinamika-fluida dan analisis lapisan batas (*boundary layer analysis*). Proses perpindahan panas konveksi terbagi ke dalam dua tipe yakni konveksi paksa dan konveksi alam. Adapun contoh fenomena perpindahan panas secara konveksi yakni peristiwa air mendidih, balon udara, refrigerator, *air conditioner*, dan oven.



Gambar 1 Peristiwa Perpindahan Panas Konveksi

DAFTAR PUSTAKA

- Holman, J.P., 2014, "Heat Transfer Tenth Edition", McGraw Hill Higher Education Publishers, New York
- A. Cengel, Yunus and Afshin J. Ghajar, "Heat and Mass Transfer: Fundamentals & Applications Fifth Edition", McGraw Hill Higher Education Publishers, New York

PERPINDAHAN KALOR DAN MASSA

Perpindahan kalor dan massa adalah dua fenomena fisik yang sangat penting dalam berbagai proses teknik, terutama dalam bidang termodinamika, rekayasa termal, dan transportasi bahan. Keduanya melibatkan transfer energi dan material dari satu tempat ke tempat lain, tetapi dengan mekanisme yang berbeda. Perpindahan kalor merujuk pada proses transfer energi panas dari satu objek atau sistem ke objek atau sistem lainnya yang memiliki suhu lebih rendah. Proses ini dapat terjadi melalui tiga mekanisme utama: konduksi, konveksi, dan radiasi. Konduksi adalah perpindahan panas melalui suatu material tanpa pergerakan massa, terjadi ketika partikel-partikel dalam material bergetar dan mentransfer energi ke partikel lainnya. Konveksi adalah transfer panas melalui pergerakan fluida (cair atau gas), di mana fluida panas bergerak ke tempat yang lebih dingin. Sementara itu, radiasi adalah transfer energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik, seperti sinar infra merah, yang tidak memerlukan medium untuk merambat. Perpindahan massa berkaitan dengan pergerakan zat atau bahan dari satu tempat ke tempat lain dalam suatu sistem. Proses ini terjadi karena perbedaan konsentrasi, tekanan, atau suhu di dalam suatu media. Salah satu contoh perpindahan massa adalah difusi, di mana molekul bergerak dari daerah dengan konsentrasi tinggi ke daerah dengan konsentrasi rendah. Selain itu, pergerakan fluida dalam suatu sistem juga dapat menyebabkan perpindahan massa, seperti dalam proses adveksi, di mana bahan tertransportasi bersama dengan aliran fluida. Kedua fenomena ini sangat penting dalam berbagai aplikasi industri, seperti dalam desain sistem pemanas, pendingin, dan proses kimia, di mana pemahaman tentang perpindahan kalor dan massa dapat meningkatkan efisiensi dan kinerja sistem. Integrasi keduanya juga krusial dalam analisis termodinamika untuk mendesain proses yang melibatkan perubahan energi dan bahan secara bersamaan.



SCANME

www.penerbitwidina.com
@penerbitwidina
penerbit widina
penerbitwidina@gmail.com
widina store
widina bookstore

Layanan Pembaca & Penjualan Buku
0815-7000-699

Teknik & Industri

ISBN 978-623-500-680-2



9

786235

006802