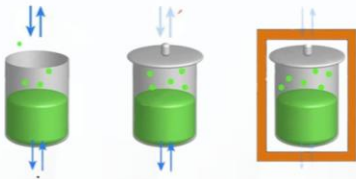




TERMODINAMIKA

Dasar Teori, Hukum, dan Aplikasi



Prof. Dr. Ing. Parabelem T.D. Rompas, M.T
Ir. Charles B.Watuseke, S.T., M.Pd., IPM
Ravael Muaya
Yehezkiel Tambuwun

TERMODINAMIKA:
DASAR TEORI, HUKUM, DAN APLIKASI

Prof. Dr.Ing.Parabelem T.D.Rompas, M.T
Ir.Charles B.Watuseke, S.T., M.Pd., IPM



TAHTA MEDIA GROUP

UU No 28 tahun 2014 tentang Hak Cipta

Fungsi dan sifat hak cipta Pasal 4

Hak Cipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 3 huruf a merupakan hak eksklusif yang terdiri atas hak moral dan hak ekonomi.

Pembatasan Pelindungan Pasal 26

Ketentuan sebagaimana dimaksud dalam Pasal 23, Pasal 24, dan Pasal 25 tidak berlaku terhadap:

- i. penggunaan kutipan singkat Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait untuk pelaporan peristiwa aktual yang ditujukan hanya untuk keperluan penyediaan informasi aktual;
- ii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk kepentingan penelitian ilmu pengetahuan;
- iii. Penggandaan Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait hanya untuk keperluan pengajaran, kecuali pertunjukan dan Fonogram yang telah dilakukan Pengumuman sebagai bahan ajar; dan
- iv. penggunaan untuk kepentingan pendidikan dan pengembangan ilmu pengetahuan yang memungkinkan suatu Ciptaan dan/atau produk Hak Terkait dapat digunakan tanpa izin Pelaku Pertunjukan, Produser Fonogram, atau Lembaga Penyiaran.

Sanksi Pelanggaran Pasal 113

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus 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 Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).

Hak cipta dilindungi undang-undang

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

**TERMODINAMIKA:
DASAR TEORI, HUKUM, DAN APLIKASI**

Penulis:

Prof. Dr.Ing.Parabelem T.D.Rompas, M.T
Ir.Charles B.Watuseke, S.T., M.Pd., IPM

Desain Cover:
Tahta Media

Editor:
Tahta Media

Proofreader:
Tahta Media

Ukuran:
x, 80, Uk: 15,5 x 23 cm

ISBN: 978-634-262-286-5

Cetakan Pertama:
Agustus 2026

Hak Cipta 2026, Pada Penulis

Isi diluar tanggung jawab percetakan

Copyright © 2026 by Tahta Media Group
All Right Reserved

PENERBIT TAHTA MEDIA GROUP

Perumahan Mitra Utama Residence 3 Blok A no 1, Sawahan, Tempel,
Kec. Gatak, Kabupaten Sukoharjo, Jawa Tengah 57557

email: tahtaliterasimedia@gmail.com

website: <http://store.tahtamedia.co.id/>

Anggota IKAPI (216/JTE/2021)

KATA PENGANTAR

Energi merupakan persoalan sentral peradaban modern, dan termodinamika adalah bahasa ilmiah yang memungkinkan kita memahami, menghitung, dan merekayasa setiap proses konversi energi tersebut. Buku “Termodinamika: Dasar Teori, Hukum, dan Aplikasi” hadir menyediakan bahan ajar yang sistematis, kontekstual, dan relevan dengan kebutuhan.

Saya menyambut baik penerbitan buku ini. Penyajian materi yang dimulai dari konsep dasar, kemudian berkembang secara bertahap menuju hukum-hukum termodinamika, siklus tenaga, hingga aplikasi modern seperti analisis eksergi dan energi terbarukan, mencerminkan upaya penulis untuk menjembatani teori dengan praktik keinsinyuran. Dilengkapi dengan ilustrasi tabel, diagram, dan contoh soal penyelesaian, buku ini diharapkan dapat memudahkan mahasiswa dalam membangun pemahaman konsep secara bertahap dan mendalam.

Saya menyampaikan apresiasi setinggi-tingginya kepada tim penulis atas dedikasinya menyusun buku ajar ini, dan berharap karya ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi pengembangan pendidikan tinggi teknik.

Tondano, Juni 2026

Dr. Hendro Maxwell Sumual, S.T., M.Eng., M.Pd.
Dekan Fakultas Teknik, Universitas Negeri Manado

PRAKATA

Termodinamika merupakan salah satu cabang ilmu fisika dan teknik yang paling fundamental dan esensial. Cabang ilmu ini mempelajari hubungan antara energi, panas, kerja, serta sifat-sifat materi. Pemahaman yang baik tentang termodinamika menjadi landasan bagi mahasiswa teknik mesin, teknik kimia, fisika, dan berbagai disiplin ilmu terapan lainnya.

Buku ini ditulis dengan tujuan menyediakan referensi yang komprehensif, sistematis, dan mudah dipahami oleh mahasiswa tingkat sarjana. Penulisan dimulai dari konsep-konsep dasar yang membangun fondasi pemahaman, kemudian secara bertahap menuju topik-topik yang lebih kompleks seperti siklus termodinamika, entropi, dan aplikasi rekayasa.

Penulis berharap buku ini dapat menjadi pedoman yang bermanfaat bagi mahasiswa, dosen, dan praktisi yang ingin memperdalam pengetahuan di bidang termodinamika. Saran dan masukan yang konstruktif sangat diharapkan demi penyempurnaan edisi-edisi berikutnya.

Tondano, Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	iv
PRAKATA	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	x
BAB 1 KONSEP DASAR TERMODINAMIKA	x
Tujuan Pembelajaran	1
Pendahuluan	1
1.1 Pengertian dan Ruang Lingkup Termodinamika.....	2
1.2 Sistem, Lingkungan, dan Batas	3
1.3 Sifat dan Keadaan Termodinamika	5
1.4 Proses dan Siklus Termodinamika	6
1.5 Suhu dan Skala Temperatur	8
1.6 Tekanan	8
1.7 Hukum Zeroth Termodinamika	9
Rangkuman Bab 1.....	12
Evaluasi / Soal Latihan.....	13
BAB 2 HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA.....	14
Tujuan Pembelajaran	14
Pendahuluan	14
2.1 Konsep Energi Internal.....	15
2.2 Kalor dan Kerja.....	15
2.3 Pernyataan Hukum Pertama	17
2.4 Entalpi dan Kapasitas Kalor	18
2.5 Penerapan pada Sistem Tertutup.....	20
2.6 Penerapan pada Volume Kendali (Sistem Terbuka)	20
Rangkuman Bab 2.....	23
Evaluasi / Soal Latihan.....	24

BAB 3 HUKUM KEDUA TERMODINAMIKA	25
Tujuan Pembelajaran	25
Pendahuluan	25
3.1 Keterbatasan Hukum Pertama	26
3.2 Pernyataan Hukum Kedua	26
3.3 Proses Reversibel dan Irreversibel.....	28
3.4 Siklus Carnot.....	28
3.5 Efisiensi Termal dan Koefisien Performa	30
Rangkuman Bab 3.....	32
Evaluasi / Soal Latihan.....	33
BAB 4 ENTROPI DAN IRREVERSIBILITAS	34
Tujuan Pembelajaran	34
Pendahuluan	34
4.1 Definisi Entropi	35
4.2 Pertidaksamaan Clausius.....	35
4.3 Prinsip Peningkatan Entropi	36
4.4 Entropi Gas Ideal.....	37
4.5 Diagram T-s dan h-s	38
Rangkuman Bab 4.....	41
Evaluasi / Soal Latihan.....	41
BAB 5 GAS IDEAL DAN GAS NYATA	43
Tujuan Pembelajaran	43
Pendahuluan	43
5.1 Model Gas Ideal.....	43
5.2 Hukum-Hukum Gas.....	44
5.3 Persamaan van der Waals.....	45
5.4 Faktor Kompresibilitas	46
Rangkuman Bab 5.....	49
Evaluasi / Soal Latihan.....	49

BAB 6 SIKLUS TENAGA DAN REFRIGERASI	51
Tujuan Pembelajaran	51
Pendahuluan	51
6.1 Siklus Rankine	52
6.2 Siklus Brayton.....	54
6.3 Siklus Otto dan Diesel	54
6.4 Siklus Refrigerasi Kompresi Uap.....	56
Rangkuman Bab 6.....	58
Evaluasi / Soal Latihan.....	58
BAB 7 TERMODINAMIKA CAMPURAN DAN REAKSI KIMIA	60
Tujuan Pembelajaran	60
Pendahuluan	60
7.1 Campuran Gas Ideal	61
7.2 Potensial Kimia.....	62
7.3 Entalpi Pembentukan dan Pembakaran	62
7.4 Energi Gibbs dan Kestimbangan	63
7.5 Konstanta Kestimbangan	64
Rangkuman Bab 7.....	66
Evaluasi / Soal Latihan.....	66
BAB 8 APLIKASI TERMODINAMIKA MODERN.....	68
Tujuan Pembelajaran	68
Pendahuluan	68
8.1 Analisis Eksergi	69
8.2 Sistem Pembangkit Listrik	70
8.3 Energi Terbarukan	71
8.4 Termodinamika Biologis	72
Rangkuman Bab 8.....	74
Evaluasi / Soal Latihan.....	75

DAFTAR PUSTAKA	76
INDEKS.....	77
PROFIL PENULIS.....	79

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Sistem Termodinamika.....	4
Gambar 1.2 Sistem Terisolasi, Tertutup, dan Terbuka.....	4
Gambar 1.3 Diagram Proses P-V	7
Gambar 1.4 Hukum Zeroth Termodinamika	10
Gambar 2.1 Silinder Piston dan Boundary Work.....	17
Gambar 2.2 Diagram Volume Kendali (Control Volume).....	22
Gambar 3.1 Diagram Mesin Kalor.....	27
Gambar 3.2 Siklus Carnot pada Diagram T-s.....	30
Gambar 4.1 Diagram T-s dan h-s.....	38
Gambar 6.1 Diagram Siklus Rankine.....	52

BAB 1

KONSEP DASAR TERMODINAMIKA

TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan pengertian dan ruang lingkup termodinamika serta garis besar sejarah perkembangannya.
2. Mengklasifikasikan sistem termodinamika (terisolasi, tertutup, terbuka) beserta contoh aplikasinya.
3. Membedakan sifat ekstensif dan intensif serta menjelaskan konsep keadaan setimbang.
4. Menjelaskan proses-proses termodinamika dasar (isobarik, isovolum, isothermal, adiabatik).
5. Menerapkan konsep suhu, tekanan, dan Hukum Zeroth Termodinamika dalam analisis sederhana.

PENDAHULUAN

Bab ini membahas fondasi termodinamika: pengertian, ruang lingkup, sistem termodinamika, sifat-sifat materi, konsep temperatur, tekanan, volume, dan hukum keseimbangan termal yang menjadi titik awal seluruh pembahasan berikutnya.

1.1 PENGERTIAN DAN RUANG LINGKUP TERMODINAMIKA

Termodinamika berasal dari dua kata bahasa Yunani, yaitu *thermos* yang berarti panas, dan *dynamic* yang berarti kekuatan atau daya. Secara harfiah, termodinamika berarti kekuatan yang ditimbulkan oleh panas. Namun dalam pengertian ilmiah modern, termodinamika didefinisikan sebagai cabang ilmu yang mempelajari hubungan antara energi panas, energi mekanik, dan bentuk-bentuk energi lainnya, serta hukum-hukum yang mengatur transformasi energi tersebut.

Termodinamika memiliki fondasi empiris yang sangat kuat. Berbeda dengan mekanika klasik yang dibangun dari hukum Newton, termodinamika dibangun di atas empat hukum fundamental yang diturunkan dari pengamatan dan eksperimen berulang. Keempat hukum tersebut menggambarkan batas-batas kemungkinan konversi energi di alam semesta.

Sejarah Singkat Perkembangan Termodinamika

Perkembangan termodinamika sangat erat dengan revolusi industri abad ke-18 dan ke-19. Kebutuhan untuk memahami dan meningkatkan efisiensi mesin uap mendorong para ilmuwan untuk merumuskan prinsip-prinsip termodinamika secara matematis dan sistematis.

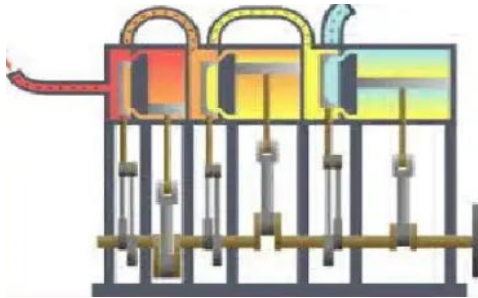
Tokoh / Tahun	Kontribusi Penting
Sadi Carnot (1824)	Memperkenalkan siklus Carnot dan konsep efisiensi termal maksimum
James Joule (1843)	Menentukan kesetaraan mekanis kalor dan meletakkan dasar Hukum Pertama

Tokoh / Tahun	Kontribusi Penting
Rudolf Clausius (1850)	Merumuskan Hukum Kedua dan memperkenalkan konsep entropi
William Thomson/Kelvin (1851)	Memperkenalkan skala suhu absolut dan pernyataan Kelvin tentang Hukum Kedua
Ludwig Boltzmann (1877)	Menghubungkan entropi dengan probabilitas mikrostatus
J. Willard Gibbs (1875-1878)	Mengembangkan termodinamika kesetimbangan dan potensial kimia
Walther Nernst (1906)	Merumuskan Hukum Ketiga Termodinamika

1.2 SISTEM, LINGKUNGAN, DAN BATAS

Sebelum menerapkan prinsip-prinsip termodinamika pada suatu permasalahan, langkah pertama yang mutlak dilakukan adalah mendefinisikan sistem termodinamika dengan jelas dan tepat.

Definisi Sistem Termodinamika
Sistem termodinamika adalah sejumlah materi atau wilayah dalam ruang yang dipilih untuk dianalisis secara termodinamika. Lingkungan adalah segala sesuatu di luar batas sistem. Batas (<i>boundary</i>) adalah permukaan nyata atau imajiner yang memisahkan sistem dari lingkungannya.



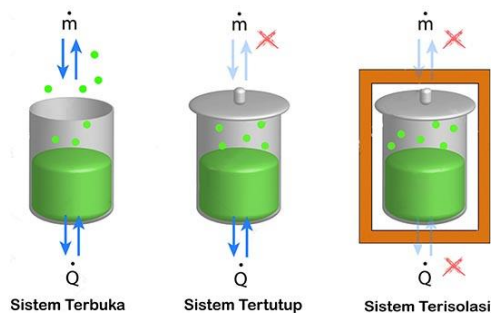
Gambar 1.1 Sistem Termodinamika (Sumber: wikipedia, 2021)

Klasifikasi Sistem Termodinamika

Berdasarkan kemampuannya dalam melakukan pertukaran massa dan energi dengan lingkungan, sistem termodinamika diklasifikasikan menjadi tiga kategori utama:

Jenis Sistem	Pertukaran Massa	Pertukaran Energi
Sistem Terisolasi	Tidak	Tidak
Sistem Tertutup	Tidak	Ya
Sistem Terbuka	Ya	Ya

Sistem Termodinamika



Gambar 1.2 Sistem Terisolasi, Tertutup, dan Terbuka
(Sumber:(anakteknik.co.id, 2022))

Sistem terisolasi adalah sistem yang tidak melakukan pertukaran massa maupun energi dengan lingkungannya. Dalam praktik nyata, sistem yang benar-benar terisolasi tidak ada, namun alam semesta secara keseluruhan dapat dianggap sebagai sistem terisolasi.

Sistem tertutup (juga disebut massa kendali atau control mass) memungkinkan pertukaran energi dalam bentuk kalor dan kerja dengan lingkungan, tetapi massa tidak dapat melintas batas sistem. Contoh: gas yang dikompresikan dalam silinder berpiston.

Sistem terbuka (juga disebut volume kendali atau control volume) memungkinkan pertukaran massa sekaligus energi. Contoh: turbin, kompresor, nozel, dan pipa aliran fluida.

1.3 SIFAT DAN KEADAAN TERMODINAMIKA

Sifat termodinamika (thermodynamic property) adalah karakteristik yang dapat diukur secara makroskopik yang menggambarkan kondisi sistem. Setiap sifat memiliki nilai tertentu yang hanya bergantung pada keadaan sistem saat ini, bukan pada cara sistem mencapai keadaan tersebut.

Sifat Ekstensif dan Intensif

Sifat Ekstensif	Sifat Intensif
Bergantung pada jumlah materi sistem	Tidak bergantung pada jumlah materi sistem
Contoh: massa (m), volume (V), energi dalam (U), entalpi (H), entropi (S)	Contoh: tekanan (P), suhu (T), kerapatan (rho), entalpi spesifik (h), entropi spesifik (s)

Sifat Ekstensif	Sifat Intensif
Jika sistem dibagi dua, nilai berubah (berkurang setengah)	Jika sistem dibagi dua, nilai tetap sama

Sifat spesifik diperoleh dengan membagi sifat ekstensif dengan massa sistem. Contohnya, volume spesifik $v = V/m$ (m^3/kg) dan energi dalam spesifik $u = U/m$ (kJ/kg).

Keadaan Setimbang

Suatu sistem berada dalam keadaan setimbang termodinamika (*thermodynamic equilibrium*) apabila tidak terdapat perubahan neto dalam setiap sifat sistem. Keseimbangan termodinamika mencakup tiga komponen:

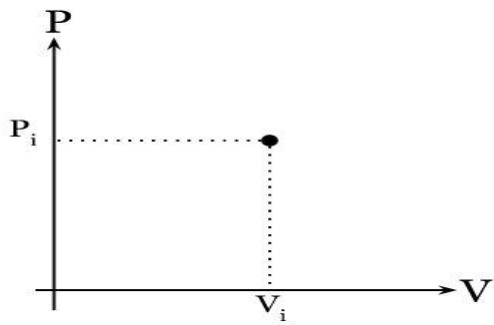
1. Keseimbangan mekanik: tidak ada ketidakseimbangan gaya di dalam sistem atau antara sistem dengan lingkungan
2. Keseimbangan termal: suhu seragam di seluruh sistem
3. Keseimbangan kimia: komposisi kimia tidak berubah dan tidak terdapat reaksi kimia yang berlangsung

Dalam analisis termodinamika klasik (makroskopik), kita hanya dapat mendefinisikan keadaan sistem ketika sistem berada dalam keseimbangan. Oleh karena itu, proses dalam termodinamika klasik diperlakukan sebagai rangkaian keadaan setimbang yang berurutan.

1.4 PROSES DAN SIKLUS TERMODINAMIKA

Proses termodinamika terjadi ketika sistem berpindah dari satu keadaan setimbang ke keadaan setimbang yang lain. Dalam analisis teknik, kita sering menghadapi proses-proses khusus yang disederhanakan untuk memudahkan perhitungan.

Nama Proses	Variabel Tetap	Persamaan Khusus	Contoh Aplikasi
Isobarik	Tekanan (P)	$W = P(V_2 - V_1)$	Pemanasan pada piston bebas
Isovolum	Volume (V)	$W = 0$	Pemanasan dalam wadah tertutup kaku
Isotermal	Suhu (T)	$W = nRT \ln(V_2/V_1)$	Ekspansi gas lambat dengan pendinginan
Adiabatik	Kalor ($Q = 0$)	$PV^\gamma = \text{konstan}$	Kompresi cepat dalam silinder



Gambar 1. 3 Diagram Proses P-V

Siklus termodinamika adalah serangkaian proses yang membawa sistem kembali ke keadaan awal. Karena sistem kembali ke keadaan awal, perubahan semua sifat termodinamika (seperti energi dalam, entropi, entalpi) dalam satu siklus penuh adalah nol. Siklus merupakan dasar dari semua mesin kalor dan mesin refrigerasi.

1.5 SUHU DAN SKALA TEMPERATUR

Suhu merupakan salah satu sifat termodinamika yang paling fundamental. Secara fisis, suhu mencerminkan tingkat energi kinetik rata-rata partikel penyusun suatu zat. Semakin tinggi suhu, semakin besar energi kinetik rata-rata partikel.

Dalam termodinamika, pengukuran suhu harus menggunakan skala yang terstandarisasi. Terdapat beberapa skala suhu yang umum digunakan:

Skala	Titik Beku Air	Titik Didih Air	Nol Absolut
Celsius (°C)	0°C	100°C	-273.15°C
Kelvin (K)	273.15 K	373.15 K	0 K
Fahrenheit (°F)	32°F	212°F	-459.67°F
Rankine (R)	491.67 R	671.67 R	0 R

Dalam termodinamika, skala Kelvin adalah skala yang paling fundamental. Skala ini disebut skala suhu absolut karena titik nolnya (0 K) merupakan suhu terendah yang secara termodinamika mungkin ada, yaitu kondisi di mana semua gerakan molekuler berhenti. Hubungan antara skala Celsius dan Kelvin adalah:

$$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$$

1.6 TEKANAN

Tekanan didefinisikan sebagai gaya yang bekerja secara tegak lurus per satuan luas permukaan. Dalam sistem SI, satuan tekanan

adalah Pascal (Pa), di mana $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$. Dalam rekayasa, satuan yang lebih umum digunakan adalah kilopascal (kPa), bar, atau atm.

$$P = F / A \quad [Pa = N/m^2]$$

Dalam pengukuran tekanan, terdapat dua referensi yang umum digunakan:

1. Tekanan absolut (P_{abs}): tekanan yang diukur terhadap vakum sempurna (tekanan nol absolut)
2. Tekanan gauge (P_{gauge}): tekanan yang diukur terhadap tekanan atmosfer lokal
3. Tekanan vakum: tekanan negatif yang diukur terhadap tekanan atmosfer

Hubungan antara ketiga tekanan tersebut dinyatakan sebagai:

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{gauge}}$$

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{vakum}}$$

1.7 HUKUM ZEROth TERMODINAMIKA

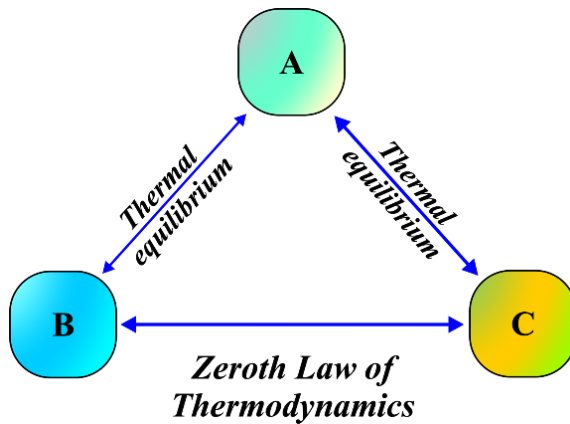
Hukum Zeroth Termodinamika merupakan landasan konseptual yang memungkinkan kita mendefinisikan suhu secara termodinamika dan menggunakannya sebagai sifat yang dapat diukur. Hukum ini dirumuskan setelah Hukum Pertama dan Kedua, namun karena sifatnya yang lebih fundamental, maka diberi nomor nol.

Pernyataan Hukum Zeroth

Jika dua sistem A dan B masing-masing berada dalam kesetimbangan termal dengan sistem ketiga C, maka A dan B juga berada dalam kesetimbangan termal satu sama lain.

Pernyataan Hukum Zeroth

Implikasi: Suhu adalah sifat yang dapat digunakan untuk menentukan kesetimbangan termal.



Gambar 1. 4 Hukum Zeroth Termodinamika
(Sumber: unifyphysics, 2025)

Hukum Zeroth membenarkan penggunaan termometer. Ketika sebuah termometer disentuhkan ke suatu objek dan dibiarkan mencapai kesetimbangan, termometer tersebut mengukur suhu sistem. Jika dua objek berbeda menunjukkan nilai yang sama pada termometer, kedua objek tersebut berada dalam kesetimbangan termal meskipun tidak bersentuhan langsung satu sama lain.

Tinjauan Lebih Mendalam — Hubungan Tekanan Absolut, Tekanan Gauge, dan Manometer Fluida

Tinjauan Lebih Mendalam — Hubungan Tekanan Absolut, Tekanan Gauge, dan Manometer Fluida

Dalam praktik rekayasa, tekanan suatu fluida sering kali tidak diukur secara langsung, melainkan melalui kolom fluida pada manometer. Hubungan antara tinggi kolom fluida dan tekanan diturunkan dari kesetimbangan gaya hidrostatik, yaitu $P = \rho \times g \times h$, dengan ρ adalah massa jenis fluida manometer, g adalah percepatan gravitasi, dan h adalah tinggi kolom fluida. Pemahaman ini penting karena hampir seluruh alat ukur tekanan mekanik (manometer pipa-U, manometer miring, barometer raksa) bekerja berdasarkan prinsip dasar yang sama, sebelum era sensor tekanan elektronik.

Contoh Soal 1.1

Sebuah manometer pipa-U berisi raksa ($\rho = 13.600 \text{ kg/m}^3$) digunakan untuk mengukur tekanan gas dalam suatu tangki. Beda tinggi kolom raksa terbaca $h = 60 \text{ cm}$, dan tekanan atmosfer lokal $P_{\text{atm}} = 101,3 \text{ kPa}$. Tentukan tekanan absolut gas dalam tangki tersebut ($g = 9,81 \text{ m/s}^2$).

Penyelesaian: Tekanan yang ditimbulkan kolom raksa adalah:

$$P_{\text{gauge}} = \rho \times g \times h = 13.600 \times 9,81 \times 0,6 = 80.062 \text{ Pa} \approx 80,06 \text{ kPa}.$$

Karena permukaan raksa yang lebih rendah berhubungan dengan tangki gas (gas mendorong raksa turun, sehingga tekanan gas lebih tinggi dari atmosfer), maka berlaku:

$$P_{\text{abs}} = P_{\text{atm}} + P_{\text{gauge}} = 101,3 + 80,06 = 181,36 \text{ kPa}.$$

Tinjauan Lebih Mendalam — Hubungan Tekanan Absolut, Tekanan Gauge, dan Manometer Fluida

Hasil ini menunjukkan bahwa prinsip kesetimbangan hidrostatik yang sederhana dapat dipakai untuk mengukur tekanan sistem secara akurat tanpa memerlukan sensor elektronik, dan menjadi dasar kalibrasi banyak instrumen tekanan industri hingga saat ini.

RANGKUMAN BAB 1

Poin-Poin Kunci Bab 1

1. Termodinamika mempelajari transformasi energi panas, mekanik, dan bentuk energi lainnya.
2. Sistem termodinamika diklasifikasikan sebagai: terisolasi, tertutup, dan terbuka.
3. Sifat intensif tidak bergantung pada massa; sifat ekstensif bergantung pada massa.
4. Keadaan setimbang mencakup kesetimbangan mekanik, termal, dan kimia.
5. Proses termodinamika umum: isobarik, isovolum, isothermal, adiabatik.
6. Skala suhu absolut (Kelvin) digunakan dalam termodinamika; $T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$.
7. Hukum Zeroth membenarkan konsep dan pengukuran suhu secara termodinamika.

EVALUASI / SOAL LATIHAN

Kerjakan soal-soal berikut untuk menguji pemahaman Anda terhadap tujuan pembelajaran pada bab ini.

1. (Uraian) Jelaskan perbedaan antara sistem tertutup dan sistem terbuka, serta berikan masing-masing satu contoh aplikasinya dalam dunia teknik.
2. (Uraian) Mengapa energi dalam (U) digolongkan sebagai sifat ekstensif, sedangkan suhu (T) digolongkan sebagai sifat intensif? Jelaskan disertai contoh sederhana.
3. (Hitungan) Sebuah termometer menunjukkan suhu 35°C . Nyatakan suhu tersebut dalam skala Kelvin, Fahrenheit, dan Rankine.
4. (Hitungan) Tekanan gauge suatu tangki gas terbaca 250 kPa pada lokasi dengan tekanan atmosfer $101,3\text{ kPa}$. Tentukan tekanan absolutnya.
5. (Studi Kasus) Sebuah piston-silinder berisi gas mengalami proses isobarik pada tekanan 200 kPa ; volume berubah dari $0,1\text{ m}^3$ menjadi $0,25\text{ m}^3$. Hitung kerja batas (*boundary work*) yang dilakukan gas..
6. (Uraian) Jelaskan mengapa kesetimbangan termodinamika mensyaratkan terpenuhinya kesetimbangan mekanik, termal, dan kimia secara bersamaan.

BAB 2

HUKUM PERTAMA

TERMODINAMIKA

TUJUAN PEMBELAJARAN

Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu:

1. Menjelaskan konsep energi internal sebagai sifat *keadaan (state property)* suatu sistem.
2. Membedakan kalor dan kerja serta menerapkan konvensi tanda termodinamika teknik secara konsisten.
3. Merumuskan dan menerapkan Hukum Pertama Termodinamika pada sistem tertutup.
4. Menghitung entalpi dan menggunakan kapasitas kalor c_v dan c_p dalam analisis proses gas ideal.
5. Menerapkan persamaan energi pada volume kendali (sistem terbuka) dalam kondisi tunak (*steady-flow*).

PENDAHULUAN

Hukum Pertama Termodinamika menyatakan prinsip kekekalan energi. Bab ini membahas konsep energi internal, kalor, kerja, entalpi, serta penerapan hukum pertama pada sistem tertutup maupun sistem terbuka (volume kendali).

2.1 KONSEP ENERGI INTERNAL

Energi *internal* (*internal energy*, U) adalah total energi mikroskopik yang dimiliki oleh suatu sistem. Ini mencakup energi kinetik translasi, rotasi, dan vibrasi molekul, serta energi potensial akibat gaya-gaya antaratomik dan antarmolekul.

Penting untuk dipahami bahwa energi internal adalah sifat keadaan (*state property*), artinya nilainya bergantung sepenuhnya pada keadaan sistem saat itu, bukan pada sejarah atau jalur yang dilalui sistem untuk mencapai keadaan tersebut. Perubahan energi internal hanya bergantung pada keadaan awal dan akhir:

$$\Delta U = U_2 - U_1 \text{ [kJ]}$$

Dalam praktik rekayasa, sering digunakan energi dalam spesifik $u = U/m$ (kJ/kg). Untuk gas ideal monoatomik, energi internal hanya bergantung pada suhu:

$$u = c_v T \text{ (gas ideal)}$$

di mana c_v adalah kapasitas kalor spesifik pada volume konstan (kJ/kg.K).

2.2 KALOR DAN KERJA

1. Kalor (*Heat*)

Kalor (Q) adalah bentuk transfer energi yang terjadi melalui batas sistem akibat adanya perbedaan suhu antara sistem dan lingkungannya. Kalor bukan merupakan sifat sistem, melainkan energi dalam perjalanan (*energy in transit*).

Konvensi tanda yang digunakan dalam buku ini adalah konvensi termodinamika teknik:

- $Q > 0$: kalor masuk ke dalam sistem (sistem menerima kalor)
- $Q < 0$: kalor keluar dari sistem (sistem melepas kalor)
- $Q = 0$: proses adiabatik (tidak ada perpindahan kalor)

2. Kerja (Work)

Kerja (W) adalah bentuk transfer energi lain yang melewati batas sistem. Kerja termodinamika terjadi ketika gaya bekerja melalui suatu jarak atau ketika listrik mengalir melintasi potensial.

Konvensi tanda yang digunakan:

- a. $W > 0$: kerja dilakukan oleh sistem (sistem melakukan kerja pada lingkungan)
- b. $W < 0$: kerja dilakukan pada sistem (lingkungan melakukan kerja pada sistem)

Kerja batas (*boundary work atau P-dV work*) adalah kerja yang dilakukan oleh atau pada sistem akibat pergerakan batas sistem.

Untuk proses kuasi-statis (quasi-static process):

$$W_b = \int P \, dV \text{ [kJ]}$$

Untuk berbagai jenis proses, kerja batas dihitung sebagai berikut:

Jenis Proses	Persamaan Kerja Batas	Keterangan
Isobarik (P = konstan)	$W = P(V_2 - V_1)$	P konstan
Isovolum (V = konstan)	$W = 0$	Tidak ada perubahan volume
Isotermal gas ideal	$W = P_1 V_1 \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$	T konstan, PV = konstan
Polietropik ($PV^n = C$)	$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n}$	n tidak sama dengan 1
Adiabatik reversibel	$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-\gamma}$	$Q=0, n = \gamma = \frac{c_p}{c_v}$

DAFTAR PUSTAKA

- Atkins, P., & de Paula, J. (2010). *Physical Chemistry* (9th ed.). Oxford University Press.
- Bejan, A. (2016). *Advanced Engineering Thermodynamics* (4th ed.). Wiley. Pembahasan mendalam tentang eksergi, irreversibilitas, dan optimasi sistem termal.
- Carnot, S. (1824). *Reflections on the Motive Power of Fire and on Machines Fitted to Develop That Power*. Paris: Bachelier.
- Clausius, R. (1850). *Über die bewegende Kraft der Wärme*. *Annalen der Physik*, 79, 368-397. Makalah orisinal yang merumuskan Hukum Kedua dan memperkenalkan konsep entropi.
- Prigogine, I. (1980). *From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences*. W. H. Freeman. Karya Nobel tentang termodinamika non-kesetimbangan dan struktur dissipatif.
- Rompas, P. T. D. (2015). *Termodinamika Teknik I: Buku Ajar*. Manado: Unima Press.
- Sandler, S. I. (2006). *Chemical, Biochemical, and Engineering Thermodynamics* (4th ed.). Wiley. Mencakup termodinamika biokimia dan aplikasi industri.
- Sears, F. W., & Salinger, G. L. (1986). *Thermodynamics, Kinetic Theory, and Statistical Thermodynamics* (3rd ed.). Addison-Wesley.
- Smith, J. M., Van Ness, H. C., & Abbott, M. M. (2005). *Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics* (7th ed.). McGraw-Hill. Fokus pada aplikasi termodinamika dalam teknik kimia, kesetimbangan fasa dan reaksi.

INDEKS

A

Adiabatik, 7, 16, 20

B

Brayton, viii, 51, 54, 57, 58, 59,
70, 75

C

Carnot, vii, x, 2, 25, 28, 29, 30,
31, 32, 33, 71, 74, 75, 76

Clausius, vii, 3, 25, 27, 32, 33,
34, 35, 36, 41, 76

D

Diagram T-s dan h-s, vii, x, 38

E

Eksergi, viii, 69, 73, 74

Energi Gibbs, viii, 63, 64, 65, 66

Entalpi, vi, viii, 18, 23, 24, 62,
63, 66

Entropi, vii, 34, 35, 36, 37, 40,
41, 66, 72

G

Gas Ideal, vii, viii, 37, 43, 45, 61

Gas Nyata, 43, 47

Geothermal, 71

H

Hukum Dalton, 60, 61, 66

Hukum Kedua

Termodinamika, 25, 26,
32, 33, 75

Hukum Pertama

Termodinamika, 14, 17,
26

Hukum Zeroth, vi, x, 1, 9, 10,
12

I

Irreversibilitas, 34

K

Kalor (Heat), 15

Kerja (Work), 16

P

Potensial Kimia, viii, 62

Proses Politropik, 22

Proses Reversibel, vii, 28

R

Refrigerasi Kompresi Uap, viii,
56

S

Sifat Ekstensif, 5

Sifat Intensif, 5

Sistem Terisolasi, x, 4

Sistem Tertutup, vi, 4, 17, 20

T

Tekanan, vi, 7, 8, 9, 11, 13, 19,
23, 57, 61, 70

Termodinamika Biologis, viii,
72

V

van der Waals, Persamaan, 77

PROFIL PENULIS



Prof. Dr.-Ing. Parabelem Tinno Dolf Rompas, M.T. adalah seorang Guru Besar (Profesor) di bidang Teknik Mesin di Universitas Negeri Manado. Kepakaran utamanya berfokus pada bidang Mekanika Fluida, Pemodelan dan Simulasi Numerik, serta pengembangan Energi Terbarukan (khususnya energi arus laut). Selain mengajar pada program studi S1 Teknik Mesin dan Teknik Informatika, beliau aktif sebagai peneliti, reviewer di berbagai jurnal ilmiah, serta mengajar pada Program Pascasarjana (S2/S3) Pendidikan Vokasi. Prof. Parabelem juga telah menghasilkan beberapa buku, di antaranya Termodinamika Teknik I: Buku Ajar.

Ir. Charles B. Watuseke, S.T., M.Pd., IPM.

Ir. Charles B. Watuseke merupakan akademisi dan praktisi teknik. Beliau aktif mengajar sekaligus terlibat dalam kepemimpinan sarana teknis, fungsional, serta penelitian terapan di lingkungan Fakultas Teknik UNIMA. Beliau sering berkolaborasi dengan Prof. Parabelem Rompas dalam riset-riset keteknikan, salah satunya adalah merancang alat peraga pembelajaran aliran laminar dan turbulen untuk mata kuliah Mekanika Fluida di UNIMA. Beliau juga tercatat mengikuti program Rekognisi Pembelajaran Lampau (RPL) di jenjang pascasarjana untuk memperkuat kompetensi manajemen mutu pendidikan kejuruan.

TERMODINAMIKA

Dasar Teori, Hukum, dan Aplikasi

Termodinamika: Dasar Teori, Hukum, dan Aplikasi merupakan buku teks yang dirancang untuk memberikan pemahaman komprehensif mengenai prinsip-prinsip dasar termodinamika serta penerapannya dalam bidang teknik dan rekayasa modern. Buku ini disusun secara sistematis mulai dari konsep paling mendasar hingga topik yang lebih kompleks sehingga dapat digunakan sebagai referensi utama bagi mahasiswa, dosen, maupun praktisi teknik.

Pembahasan diawali dengan pengenalan sistem termodinamika, sifat-sifat zat, suhu, tekanan, serta Hukum Zeroth sebagai dasar konsep kesetimbangan termal. Selanjutnya, pembaca diajak memahami Hukum Pertama dan Hukum Kedua Termodinamika yang menjadi fondasi analisis konversi energi, disertai penjelasan mengenai kalor, kerja, energi internal, entalpi, efisiensi termal, dan siklus Carnot.

Buku ini juga membahas konsep entropi dan irreversibilitas secara mendalam, termasuk interpretasi fisik dan matematisnya dalam berbagai proses termodinamika. Selain itu, dijelaskan perilaku gas ideal dan gas nyata, faktor kompresibilitas, serta persamaan keadaan yang banyak digunakan dalam analisis sistem teknik.

Pada bagian aplikasi, pembaca diperkenalkan dengan berbagai siklus tenaga dan refrigerasi, seperti Siklus Rankine, Brayton, Otto, Diesel, dan sistem refrigerasi kompresi uap yang menjadi dasar pengoperasian pembangkit listrik, mesin pembakaran dalam, serta sistem pendingin modern. Buku ini juga mengulas termodinamika campuran, reaksi kimia, energi Gibbs, dan kesetimbangan kimia yang berperan penting dalam industri proses.

Sebagai pelengkap, buku ini menghadirkan pembahasan mengenai aplikasi termodinamika modern, termasuk analisis eksergi, sistem pembangkit energi, energi terbarukan, dan termodinamika biologis. Setiap bab dilengkapi dengan tujuan pembelajaran, contoh soal, pembahasan konseptual, rangkuman, serta soal evaluasi untuk membantu pembaca menguasai materi secara bertahap.

Dengan pendekatan yang sistematis, ilustratif, dan berorientasi pada aplikasi rekayasa, buku ini diharapkan mampu menjadi sumber belajar yang efektif dalam memahami fenomena energi dan konversinya, sekaligus mendukung pengembangan kompetensi akademik dan profesional di bidang teknik.



CV. Tahta Media Group

Sukoharjo, Jawa Tengah

Web : www.tahtamedia.co.id

Ig : tahtamedia group

Telp/WA : +62 896 5427 3996

