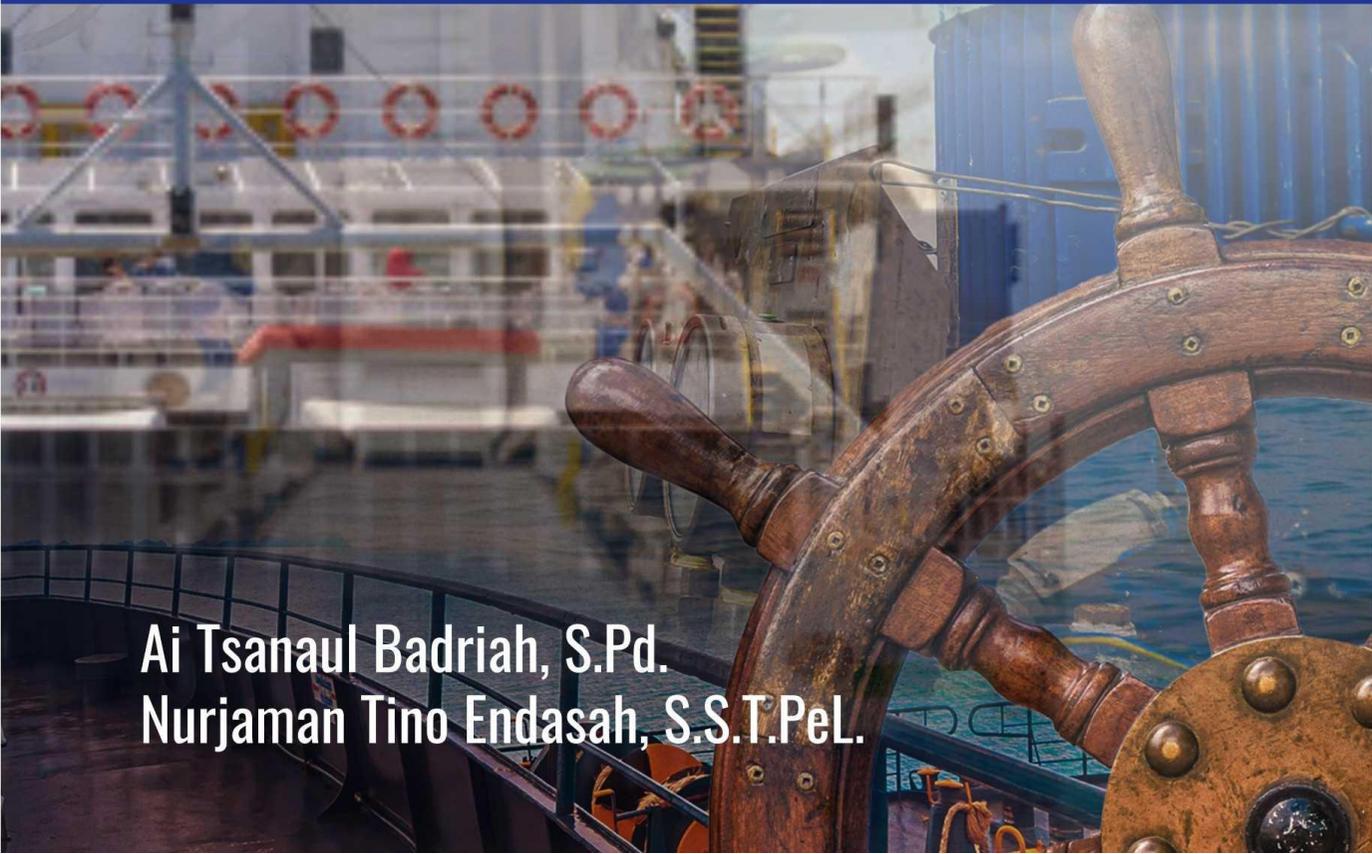


Buku Ajar

TERMODINAMIKA



Ai Tsanaul Badriah, S.Pd.
Nurjaman Tino Endasah, S.S.T.Pel.

Buku Ajar
Termodinamika



www.larispa.co.id

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).

Buku Ajar Termodinamika

Ai Tsanaul Badriah, S.Pd.
Nurjaman Tino Endasah, S.S.T.PeL.

LARISPA
LEMBAGA RISET PUBLIK
PENELITIAN, SURVEI, KONSULTAN, DAN PELAYANAN PUBLIK

LARISPA
LEMBAGA RISET PUBLIK
PENELITIAN, SURVEI, KONSULTAN, DAN PELAYANAN PUBLIK

www.larispa.co.id

BUKU AJAR TERMODINAMIKA

Penulis :

**Ai Tsanul Badriah, S.Pd.
Nurjaman Tino Endasah, S.S.T.PeL.**

Copyright © 2020, Pada Penulis
Hak cipta dilindungi undang-undang
All rights reserved

Penata Letak: Amry Rasyadany

Perancang sampul: Dwi Novidiantoko

Penerbit:

LARISPA INDONESIA

Jl. Sei Mencirim Komplek Lalang Green Land I Blok C No. 18 Medan

Kode Pos: 203522 Medan

Telp: (061) 80026116/ 8002 1139

Laman: www.larispaindonesia.com / www.larispaindonesia.com

Edisi Pertama. 2020

ISBN : 978-602-6552-41-9

Dicetak oleh:

PENERBIT DEEPUBLISH

(Grup Penerbitan CV BUDI UTAMA)

Anggota IKAPI (076/DIY/2012)

Jl.Rajawali, G. Elang 6, No 3, Drono, Sardonoharjo, Ngaglik, Sleman

Jl.Kaliurang Km.9,3 – Yogyakarta 55581

Telp/Faks: (0274) 4533427

Website: www.deepublish.co.id

www.penerbitdeepublish.com

E-mail: cs@deepublish.co.id

www.larispaindonesia.com

KATA PENGANTAR

Syukur alhamdulillah penulis panjatkan ke hadirat Allah Swt., dengan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan buku ajar dengan judul *Buku Ajar Termodinamika*. Buku ajar ini disusun berdasarkan kurikulum dari International Maritime Organization sebagai mana tercantum dalam **IMO Model Course 7.04** yang berjudul **Officer Charge of an Engineering Watch**.

Buku ajar Termodinamika ini disusun sebagai upaya untuk mempermudah dan menunjang proses pembelajaran bagi taruna/i pada Prodi Teknik Permesinan Kapal Politeknik Pelayaran Sorong. Buku ini mencakup pembahasan tentang konsep-konsep termodinamika yang terdiri dari 8 bab. Penulis menyadari bahwa buku ajar termodinamika ini tidak lepas dari kekurangan. Oleh sebab itu kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan dari berbagai pihak untuk perbaikan penulisan isi buku pada masa mendatang. Semoga buku termodinamika ini bermanfaat untuk pengembangan ilmu pengetahuan khususnya di Politeknik Pelayaran Sorong umumnya buat semua pihak yang membaca.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua yang telah mendukung dalam terselesainya buku termodinamika ini. Terlebih penulis ucapkan terima kasih kepada:

1. Direktur Politeknik Pelayaran Sorong.
2. Wakil Direktur I, II dan III Politeknik Pelayaran Sorong.

3. Kepala Bagian Keuangan, Umum dan Kerja Sama Politeknik Pelayaran Sorong.
4. Kepala Bagian Administrasi Akademik dan Ketarunaan Politeknik Pelayaran Sorong.
5. Para Kepala Subbagian di lingkungan Politeknik Pelayaran Sorong Politeknik Pelayaran Sorong.
6. Kaprodi permesinan kapal politeknik pelayaran sorong yang telah memberikan kesempatan dan memfasilitasi dalam penulisan buku ini.
7. Seluruh jajaran *civitas* akademik Politeknik Pelayaran Sorong.
8. Ayah, ibu, dankeluarga yang selalu memberikan dukungan dan doa.

Semoga amal dan kebaikan semua pihak yang berkontribusi dalam penyusunan buku ini diterima Allah Swt. sebagai amal jariah. Aammiin.

Sorong, 20 juni 2020

Penulis



www.larispa.co.id

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI	iii
RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER (RPS)	vi
ALUR PERKULIAHAN 1.....	xvii
ALUR PERKULIAHAN 2.....	xviii

BAB I KONSEP THERMODINAMIKA PADA PERMESINAN KAPAL

A. Definisi Termodinamika.....	1
B. Termodinamika sebagai Ilmu Teknik.....	2
C. Keseimbangan Termodinamika.....	3
D. Sistem, Proses dan Siklus Termodinamika.....	6
E. Properti- Properti Termodinamika untuk Zat yang Terukur.....	8
F. Aplikasi Termodinamika pada Permesinan Kapal	14
G. Rangkuman	14
H. Soal dan Latihan	15

BAB II ENERGI DAN HUKUM I TERMODINAMIKA

A. Pengertian Energi.....	17
B. Bentuk-Bentuk Energi.....	18
C. Hukum I Termodinamika.....	20
D. Aplikasi-Aplikasi Persamaan Energi.....	22
E. Rangkuman	22
F. Soal dan Latihan	23

BAB III SISTEM TERMODINAMIKA

A. Perubahan Sistem Termodinamika 24
B. Jenis-Jenis Sistem 25
C. Rangkuman..... 29
D. Soal dan Latihan 30

**BAB IV PERUBAHAN ENERGI DAN PERPINDAHAN
PANAS (*HEAT TRANSFER*)**

A. Perubahan Energi..... 31
B. Perpindahan Panas (Kalor)..... 32
C. Panas Jenis..... 36
D. Rangkuman 37
E. Soal dan latihan 38

BAB V UAP

A. Uap Jenuh (*Saturated Steam*)..... 39
B. Uap Basah (*Wet Steam*)..... 40
C. Uap Panas Lanjut (*Superheated Steam*)..... 40
D. Turbin Uap..... 43
E. Rangkuman..... 48
F. Soal dan Latihan 49

BAB VI GAS IDEAL

A. Sifat Gas Ideal 50
B. Hukum-hukum Gas..... 51
C. Persamaan Gas Ideal..... 54
D. Rangkuman 57
E. Soal dan Latihan 57

BAB VII PROSES TERMODINAMIKA DAN KERJA

A. Proses Standar	59
B. Proses <i>Irreversible</i>	60
C. Proses <i>Reversible</i>	60
D. Kerja.....	65
E. Rangkuman	72
F. Soal dan Latihan.....	72

BAB VIII HUKUM II TERMODINAMIKA DAN SIKLUS

DAYA IDEAL

A. Hukum II Termodinamika	74
B. Mesin Kalor.....	77
C. Mesin Pendingin dan Pompa Kalor (<i>Refrigerators and Heat Pumps</i>).....	79
D. Siklus Carnot.....	82
E. Siklus Otto.....	85
F. Siklus Diesel.....	87
G. Rangkuman	90
H. Soal dan Latihan.....	91

DAFTAR PUSTAKA	93
-----------------------------	-----------

www.larispa.co.id

	<p style="text-align: center;">KEMENTERIAN PERHUBUNGAN REPUBLIK INDONESIA BADAN PENGEMBANGAN SDM PERHUBUNGAN POLITEKNIK PELAYARAN SORONG Jl. Tanjung Saoka No. 1 –Sorong Barat –Kota Sorong–Papua Barat T. +62 8114440838 e-mail: admin@poltekpel-sorong.ac.id</p>			
	RENCANA PEMBELAJARAN SEMESTER (RPS)			
Nomor FM-PSI-14	Tanggal Disahkan 28 Juni 2019	Tanggal Revisi -		Tanggal Diberlakukan 01 Juli 2019
Mata kuliah: Thermodinamika	Semester: I	Sks: T: 2 P: 1		Kode MK: T32132
Program Studi: Diploma III Permesinan Kapal	Dosen Pengampu/Penanggijawab: Ai Tsanaul Badriah, S.Pd.			
STCW 2010	<i>Apendix 3 of IMO Model Course 7.04</i>			
Competence/ Capaian Pembelajaran Lulusan	<p>Program Studi</p> <p>Sikap</p> <ol style="list-style-type: none"> bertakwa kepada Tuhan Yang Maha Esa dan mampu menunjukkan sikap religius; menjunjung tinggi nilai kemanusiaan dalam menjalankan tugas berdasarkan agama, moral, dan etika; menginternalisasi nilai, norma, dan etika akademik; menunjukkan sikap bertanggungjawab atas pekerjaan di bidang keahliannya secara mandiri; <p>Pengetahuan</p> <p>Menguasai konsep teoretis mengenai <i>thermodinamika</i> dan perpindahan panas, mekanika dan <i>hydrodinamika</i>, karakteristik mesin diesel, turbin uap dan gas termasuk kontrol kecepatan dan konsumsi bahan bakar, mesin pendingin, dan teknologi bahan.</p>			

STCW 2010	<i>Appendix 3 of IMO Model Course 7.04</i>
	<p>Keterampilan Umum mampu menerapkan pemikiran logis, kritis, sistematis, dan inovatif dalam konteks pengembangan atau implementasi ilmu pengetahuan dan teknologi yang memperhatikan dan menerapkan nilai humaniora yang sesuai dengan bidang keahliannya; mampu menunjukkan kinerja mandiri, bermutu, dan terukur; mampu mengaplikasikan dan memanfaatkan IPTEKS pada bidang penelitian ilmu terapan pelayaran;</p> <p>Keterampilan Khusus Mampu mengoperasikan mesin penggerak utama dan permesinan bantu beserta sistem pengontrolannya di atas kapal Mampu mengoperasikan sistem bahan bakar, minyak lumas, sistem ballas, sistem pemompaan dan sistem pengontrolannya di atas kapal;</p>
<p>Capaian Pembelajaran Mata Kuliah (CPMK)</p>	<p>Sikap menunjukkan sikap bertanggungjawab atas pekerjaan di bidang keahliannya secara mandiri</p> <p>Pengetahuan Memahami mekanisme operasional dari mesin diesel, turbin uap, turbin gas, boiler dan propeller shaft beserta mesin pendukung lainnya; Mampu mendeskripsikan, memahami dan menjelaskan konsep dasar termodinamika, properti termodinamika, energi, sistem, perubahan energi, perpindahan kalor, uap, gas ideal, proses termodinamika dan usaha</p> <p>Keterampilan Umum mampu menerapkan pemikiran logis, kritis, sistematis, dan inovatif dalam konteks pengembangan atau implementasi ilmu termodinamika kaitannya dengan bidang permesinan kapal; mampu menunjukkan kinerja mandiri, bermutu, dan terukur;</p> <p>Keterampilan Khusus Setelah menyelesaikan mata kuliah termodinamika, peserta didik mampu memahami dan menerapkan konsep-konsep termodinamika dalam kaitannya dengan Teknik permesinan kapal</p>

STCW 2010	<i>Appendix 3 of IMO Model Course 7.04</i>
Materi Pembelajaran (<i>Course Outline</i>)	3.1.1 properti termodinamika; 3.1.2 energi; 3.1.3 sistem; 3.1.4 perubahan energi; 3.1.5 perpindahan kalor; 3.1.6 uap; 3.1.7 gas ideal; 3.1.8 proses termodinamika; dan 3.1.9 usaha
Referensi	1. IMO Model Course 7.04 2014 Edition (T1) 2. Basic Engineering Thermodynamics in SI Unit 5 th Edition
MK Prasyarat	(akan diisi oleh Ka. Prodi)
Deskripsi Mata Kuliah	Termodinamika merupakan mata kuliah yang berkaitan dengan konsep dasar termodinamika, properti termodinamika, energi, sistem, perubahan energi, perpindahan kalor, uap, gas ideal, proses termodinamika dan kerja serta penerapannya dalam ilmu Teknik dan permesinan kapal
Penilaian Hasil Pembelajaran (%)	UTS (30%), UAS (40%), Tugas (20%) dan Sikap (10%)

Minggu ke	Kemampuan yang diharapkan (Sub CP-MK)	Bahan Kajian/ Materi Pembelajaran	Metode Pembelajaran	Waktu	Pengalaman Belajar peserta didik	Indikator Kriteria, Bentuk Penilaian	Bobot Nilai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
1	<ul style="list-style-type: none"> • Peserta didik mampu memahami dan menjelaskan konsep dasar termodinamika 	<ul style="list-style-type: none"> • Pengertian termodinamika • Lingkungan, sistem dan keadaan 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Discovery Learning</i> • Ceramah • Diskusi 	<ul style="list-style-type: none"> • T= 1x2x50 • P= 1x1x170 (100 = tatap muka, 70= persiapan dan pelaporan) 	<ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan definisi termodinamika • Menjelaskan dan membedakan lingkungan, sistem dan keadaan 	<p>Indikator:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kelengkapan dan kejelasan dalam memahami dan menjelaskan definisi termodinamika • Kelengkapan dan kejelasan dalam memahami dan menjelaskan serta membedakan lingkungan, keadaan dan sistem <p>Kriteria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan dan penguasaan masalah <p>Bentuk Penilaian:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kuis 	10%

x

Minggu ke	Kemampuan yang diharapkan (Sub CP-MK)	Bahan Kajian/ Materi Pembelajaran	Metode Pembelajaran	Waktu	Pengalaman Belajar peserta didik	Indikator Kriteria, Bentuk Penilaian	Bobot Nilai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
2	<ul style="list-style-type: none"> Peserta didik mampu memahami dan menjelaskan properti termodinamika 	<ul style="list-style-type: none"> Properti termodinamika di antaranya tekanan, temperatur, volume dan energi Nilai intensif dan nilai ekstensif Persamaan keadaan <ul style="list-style-type: none"> Fase padat Fase cair Fase gas 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Collaborative Learning</i> Ceramah Diskusi kelompok 	<ul style="list-style-type: none"> T= 1x2x50 P= 1x1x170 	<ul style="list-style-type: none"> Menjelaskan dan mendeskripsikan properti termodinamika; tekanan, temperatur, volume dan energi Mempelajari dan memahami nilai intensif dan nilai ekstensif Menjelaskan, memahami dan membedakan persamaan keadaan pada fase padat, fase cair dan fase gas 	<p>Indikator</p> <p>Kelengkapan dan kejelasan dalam:</p> <ul style="list-style-type: none"> Menjelaskan dan mendeskripsikan properti termodinamika; tekanan, temperatur, volume dan energi Mempelajari dan memahami nilai intensif dan nilai ekstensif Menjelaskan, memahami dan membedakan persamaan keadaan pada fase padat, fase cair dan fase gas <p>Kriteria:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan dan penguasaan masalah 	10%

Minggu ke	Kemampuan yang diharapkan (Sub CP-MK)	Bahan Kajian/ Materi Pembelajaran	Metode Pembelajaran	Waktu	Pengalaman Belajar peserta didik	Indikator Kriteria, Bentuk Penilaian	Bobot Nilai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
						Bentuk Penilaian: • Tes tertulis (kuis)	
3-5	<ul style="list-style-type: none"> • Peserta didik mampu memahami dan menjelaskan termodinamika energi 	<ul style="list-style-type: none"> • Termodinamika energi 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Discovery Learning</i> • Ceramah • Demonstrasi 	<ul style="list-style-type: none"> • T= 3x2x50 • P= 3x1x170 	<ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan termodinamika energi 	Indikator Kemampuan dalam menjelaskan termodinamika energi Kriteria: <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan dan penguasaan masalah Bentuk Penilaian: <ul style="list-style-type: none"> • Tes tertulis (kuis) 	10%
6	<ul style="list-style-type: none"> • Peserta didik mampu memahami dan menjelaskan sistem termodinamika 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistem termodinamika • Macam-macam sistem termodinamika 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Cooperative Learning</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • T= 1x2x50 	<ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan sistem termodinamika • Menjelaskan dan mendeskripsikan macam-macam sistem termodinamika 	Indikator: Kemampuan dalam: <ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan sistem termodinamika • Menjelaskan dan mendeskripsikan macam-macam sistem termodinamika 	10%

Minggu ke	Kemampuan yang diharapkan (Sub CP-MK)	Bahan Kajian/ Materi Pembelajaran	Metode Pembelajaran	Waktu	Pengalaman Belajar peserta didik	Indikator Kriteria, Bentuk Penilaian	Bobot Nilai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
						Kriteria: <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan dan penguasaan masalah Bentuk Penilaian: <ul style="list-style-type: none"> Tes tertulis (kuis) 	
7-8	<ul style="list-style-type: none"> Peserta didik mampu memahami dan menjelaskan perubahan-perubahan energi 	<ul style="list-style-type: none"> Perubahan-perubahan energi <i>Non flow equation</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <i>Contextual Instruction</i> 	<ul style="list-style-type: none"> T= 2x2x50 P= 3x1x170 	<ul style="list-style-type: none"> Menjelaskan konsep perubahan-perubahan energi Menjelaskan dan mencari hubungan <i>non flow equatin</i> 	Indikator: Kemampuan dalam: <ul style="list-style-type: none"> Menjelaskan konsep perubahan-perubahan energi Menjelaskan dan mencari hubungan <i>non flow equatin</i> Kriteria: <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan dan penguasaan masalah Bentuk Penilaian: <ul style="list-style-type: none"> Presentasi kelompok 	10%
Ujian Tengah Semester							

Minggu ke	Kemampuan yang diharapkan (Sub CP-MK)	Bahan Kajian/ Materi Pembelajaran	Metode Pembelajaran	Waktu	Pengalaman Belajar peserta didik	Indikator Kriteria, Bentuk Penilaian	Bobot Nilai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
9	<ul style="list-style-type: none"> • Peserta didik mampu memahami dan menjelaskan perpindahan kalor 	<ul style="list-style-type: none"> • Konduksi • Konveksi • Radiasi 	<ul style="list-style-type: none"> • Ceramah • Diskusi kelompok 	<ul style="list-style-type: none"> • T= 1x2x50 • P= 1x1x170 	<ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan dan mendeskripsikan konduksi • Menjelaskan dan mendeskripsikan konveksi • Menjelaskan dan mendeskripsikan radiasi 	<p>Indikator: Kemampuan dalam:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan dan mendeskripsikan konduksi • Menjelaskan dan mendeskripsikan konveksi • Menjelaskan dan mendeskripsikan radiasi <p>Kriteria:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ketepatan dan penguasaan masalah <p>Bentuk Penilaian: Presentasi kelompok</p>	10%
10-11	<ul style="list-style-type: none"> • Peserta didik mampu memahami dan menjelaskan konsep uap 	<ul style="list-style-type: none"> • kondisi <i>saturated vapour</i>, • <i>dry vapour</i>, • <i>wet vapour</i>, • <i>dryness fraction</i>, dan • <i>superheated vapour</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>discovery learning</i> • ceramah 	<ul style="list-style-type: none"> • T: 2x2x50 • P: 2x1x170 	<ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan dan mendeskripsikan <i>saturated vapour</i> • Menjelaskan dan mendeskripsikan <i>dry vapour</i>, • Menjelaskan dan mendeskripsikan <i>wet vapour</i>, 	<p>Indikator: Kemampuan dalam:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Menjelaskan dan mendeskripsikan <i>saturated vapour</i> • Menjelaskan dan mendeskripsikan <i>dry vapour</i>, 	10%

Minggu ke	Kemampuan yang diharapkan (Sub CP-MK)	Bahan Kajian/ Materi Pembelajaran	Metode Pembelajaran	Waktu	Pengalaman Belajar peserta didik	Indikator Kriteria, Bentuk Penilaian	Bobot Nilai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
					<ul style="list-style-type: none"> Menjelaskan dan mendeskripsikan <i>dryness fraction</i>, dan Menjelaskan dan mendeskripsikan <i>superheated vapour</i> 	<ul style="list-style-type: none"> <i>wet vapour</i>, <i>dryness fraction</i>, dan <i>superheated vapour</i> <p>Kriteria:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan dan penguasaan masalah <p>Bentuk Penilaian:</p> <ul style="list-style-type: none"> Presentasi kelompok 	
12	<ul style="list-style-type: none"> Peserta didik mampu memahami dan menjelaskan konsep gas ideal 	<ul style="list-style-type: none"> Gas ideal Temperatur kritis Hukum Boyke Hukum Charles Hukum Boyle-Charles 	<ul style="list-style-type: none"> Ceramah Diskusi kelompok 	<ul style="list-style-type: none"> T: 1x2x50 P: 1x1x170 	<ul style="list-style-type: none"> Menjelaskan dan mendeskripsikan gas ideal Menjelaskan dan mendeskripsikan temperatur kritis Menjelaskan dan mendeskripsikan hukum Boyle Menjelaskan dan mendeskripsikan hukum Charles Menjelaskan dan mendeskripsikan hukum Boyle-Charles 	<p>Indikator:</p> <p>Kemampuan dalam:</p> <ul style="list-style-type: none"> Menjelaskan dan mendeskripsikan gas ideal Menjelaskan dan mendeskripsikan temperatur kritis Menjelaskan dan mendeskripsikan hukum Boyle Menjelaskan dan mendeskripsikan hukum Charles Menjelaskan dan mendeskripsikan 	10%

Minggu ke	Kemampuan yang diharapkan (Sub CP-MK)	Bahan Kajian/ Materi Pembelajaran	Metode Pembelajaran	Waktu	Pengalaman Belajar peserta didik	Indikator Kriteria, Bentuk Penilaian	Bobot Nilai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
						hukum Boyle-Charles Kriteria: <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan dan penguasaan masalah Bentuk Penilaian: <ul style="list-style-type: none"> Presentasi kelompok 	
13-14	<ul style="list-style-type: none"> Peserta didik mampu memahami dan menjelaskan proses termodinamika 	<ul style="list-style-type: none"> Proses-proses termodinamika Aplikasi proses termodinamika terhadap suatu objek 	<ul style="list-style-type: none"> <i>discovery learning</i> ceramah 	<ul style="list-style-type: none"> T: 2x2x50 P: 2x1x170 	<ul style="list-style-type: none"> Menjelaskan proses-proses termodinamika Menjelaskan aplikasi proses-proses termodinamika terhadap suatu objek 	Indikator: Kemampuan dalam: <ul style="list-style-type: none"> Menjelaskan proses-proses termodinamika Menjelaskan aplikasi proses-proses termodinamika terhadap suatu objek Kriteria: <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan dan penguasaan masalah Bentuk Penilaian: <ul style="list-style-type: none"> Presentasi kelompok 	10%

Minggu ke	Kemampuan yang diharapkan (Sub CP-MK)	Bahan Kajian/ Materi Pembelajaran	Metode Pembelajaran	Waktu	Pengalaman Belajar peserta didik	Indikator Kriteria, Bentuk Penilaian	Bobot Nilai
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
15	<ul style="list-style-type: none"> Peserta didik mampu memahami dan menjelaskan <i>work transfer</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Konsep kerja kaitannya dengan termodinamika 	<ul style="list-style-type: none"> <i>discovery learning</i> ceramah 	<ul style="list-style-type: none"> T: 1x2x50 P: 1x1x170 	<ul style="list-style-type: none"> Menjelaskan dan mendeskripsikan kerja kaitannya dengan termodinamika 	<p>Indikator:</p> <ul style="list-style-type: none"> Kemampuan dalam Menjelaskan dan mendeskripsikan usaha kaitannya dengan termodinamika <p>Kriteria:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ketepatan dan penguasaan masalah <p>Bentuk Penilaian:</p> <ul style="list-style-type: none"> Presentasi kelompok 	10%
16	UJIAN AKHIR SEMESTER						

KETUA PROGRAM STUDI
PERMESINAN KAPAL

Sorong, Oktober 2019

DOSEN TERMODINAMIKA

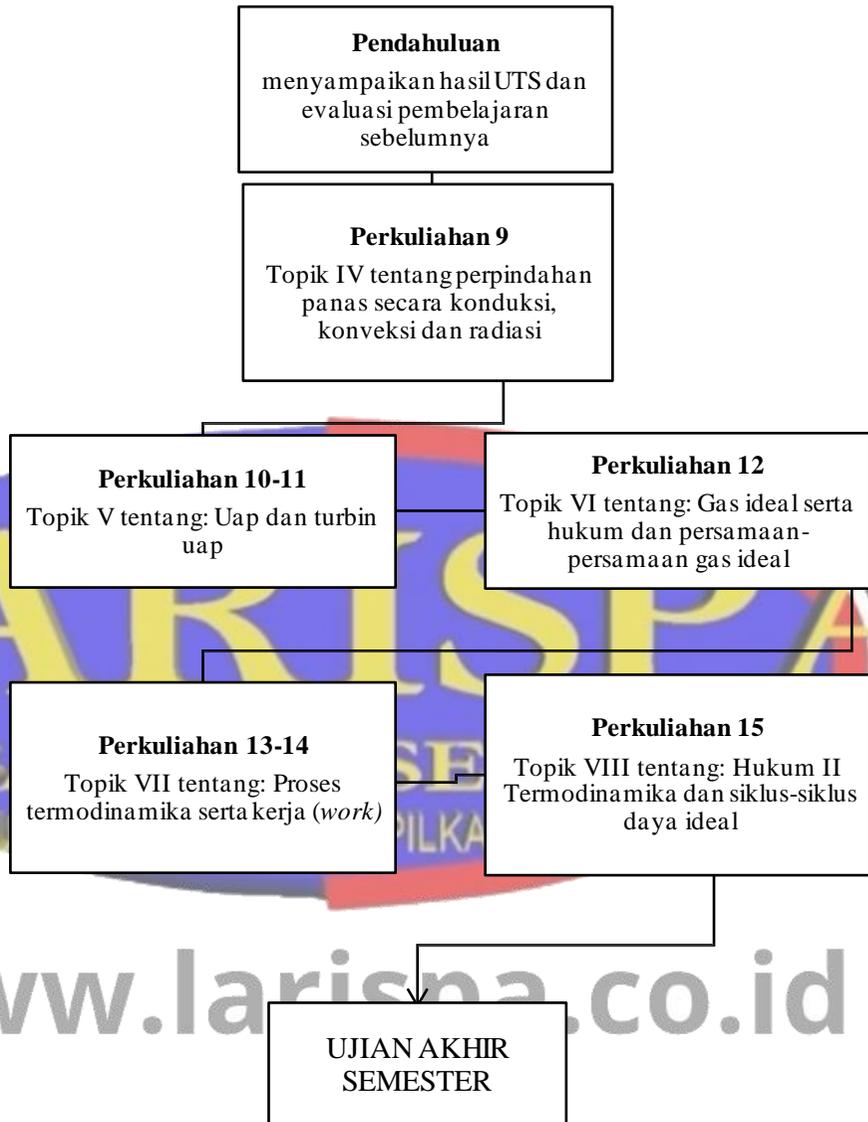
www.larispa.co.id

AI TSANAUL BADRIAH, S.pd

ALUR PERKULIAHAN 1



ALUR PERKULIAHAN 2



BAB I

KONSEP THERMODINAMIKA PADA PERMESINAN KAPAL

Setelah selesai pembelajaran pada bab pertama ini taruna/i diharapkan:

- Memahami dan menjelaskan konsep dasar termodinamika.
- Mendeskripsikan dan menjelaskan properti termodinamika.

A. Definisi Termodinamika

Secara terminologi, kata “termodinamika” berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari dua unsur kata, *therme* (kalor) dan *dynamics* (tenaga gerak atau gaya). Beberapa pengertian dari termodinamika:

1. Termodinamika merupakan studi tentang hubungan antara kerja, panas, dan energi.
2. Termodinamika berkaitan dengan konversi energi dari satu bentuk ke bentuk lainnya.
3. Termodinamika berurusan dengan interaksi sistem dan lingkungannya.
4. Termodinamika adalah ilmu tentang energi, yang secara spesifik membahas tentang hubungan antara energi panas dengan kerja.

Termodinamika adalah suatu bidang ilmu yang mempelajari penyimpanan, transformasi (perubahan) dan transfer energi. Energi disimpan sebagai energi internal (yang berkaitan dengan temperatur),

energi kinetik (yang disebabkan oleh gerak), energi potensial (yang disebabkan oleh ketinggian) dan energi kimia (yang disebabkan oleh komposisi kimiawi); ditransformasikan/diubah dari salah satu bentuk energi tadi ke bentuk lainnya; dan ditransfer melintasi suatu batas sebagai kalor atau usaha/kerja (*work*). Dalam termodinamika kita akan mengembangkan persamaan-persamaan matematis yang menghubungkan transformasi dan transfer energi dengan properti-properti bahan seperti temperatur, tekanan atau entalpi.

B. Termodinamika sebagai Ilmu Teknik

Dalam penerapannya, termodinamika merupakan rumpun bidang ilmu pengetahuan dan teknologi (iptek) yang menggabungkan antara ilmu fisika dan ilmu teknik untuk dapat menghasilkan suatu produk teknologi yang berguna bagi kehidupan manusia

Sejak permulaannya dengan revolusi industri, termodinamika telah berkembang menjadi ilmu yang menjelaskan beragam fenomena alam dan teknis. Hukum termodinamika mengatur sejumlah proses: konversi panas ke kerja dalam mesin panas, dan sebaliknya, yaitu, pekerjaan memanaskan konversi dalam *freezer*, lemari es, dan sistem pendingin udara; pencampuran dan pemisahan; transportasi melalui membran (osmosis); reaksi kimia dan pembakaran, dan sebagainya. Semua ini akan dibahas dalam teks ini. Singkatnya, pemahaman yang baik tentang termodinamika sangat diperlukan dalam berbagai bidang, khususnya teknik permesinan kapal.

Pengetahuan tentang termodinamika diperlukan untuk merancang perangkat apa pun yang melibatkan pertukaran antara panas dan pekerjaan,

atau konversi bahan untuk menghasilkan panas (pembakaran) pada mesin-mesin di atas kapal.

Dengan berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi, maka prinsip alamiah dalam berbagai proses termodinamika direkayasa menjadi berbagai bentuk mekanisme untuk membantu manusia dalam menjalankan kegiatannya. Termodinamika dikembangkan dari keinginan rekayasa, yaitu untuk meningkatkan efisiensi mesin panas. Kebutuhan ini menghasilkan hukum termodinamika.

Beberapa contoh aplikasi teknik termodinamika pada permesinan kapal sebagai berikut:

1. Batas efisiensi untuk mesin panas, lemari es, dan pompa panas.
2. Mesin pembakaran internal: Otto, Diesel.
3. Sistem terbuka sederhana: kompresor, pompa, turbin.
4. Penukar panas: penukar panas tertutup bersama dan berlawanan aliran, penukar panas terbuka.
5. Siklus gabungan: turbin gas dan siklus uap untuk efisiensi tinggi.

C. Kesetimbangan Termodinamika

Suatu benda dikatakan berada dalam keadaan kesetimbangan termodinamik bila nilai dari besaran keadaan makroskopiknya tidak lagi berubah dalam jangka waktu yang cukup lama. Termodinamika hanya akan meninjau besaran-besaran keadaan setelah sistem berada dalam kesetimbangan termodinamik. Bahkan besaran-besaran termodinamika hanya terdefinisi dalam keadaan kesetimbangan termodinamik. Termodinamika tidak meninjau proses bagaimana suatu sistem berubah mencapai kondisi kesetimbangan termodinamiknya, karena itu tidak ada variabel waktu dalam relasi-relasi termodinamika.

Kondisi kesetimbangan termodinamika jelas adalah suatu yang sangat jauh dari realita, karena bagaimanapun suatu benda tidak akan dapat lepas dari interaksinya dengan lingkungan, sehingga tidak mungkin nilai besaran-besaran makroskopiknya benar-benar tidak berubah. Tetapi kondisi mendekati kesetimbangan termodinamika sudah cukup untuk dapat diterapkannya relasi-relasi termodinamika. Sebagai contoh hukum radiasi benda hitam dapat diterapkan pada matahari ataupun bintang walaupun mereka tidak benar-benar dalam keadaan kesetimbangan termodinamik. Sehingga dengan menganalisa spektrum gelombang elektromagnetik yang dipancarkan matahari ataupun bintang, dapat diduga besar temperatur permukaannya.

1. Kesetimbangan termal

Dua benda dikatakan berada dalam keadaan kesetimbangan termal bila dalam kondisi adanya kemungkinan interaksi antara partikel kedua sistem, tidak ada lagi total perpindahan energi panas antara keduanya (tidak tampak lagi perubahan keadaan makro pada kedua benda). Bila benda A berada dalam kesetimbangan termal dengan benda B, serta benda B berada dalam kesetimbangan termal dengan benda C, maka benda A akan berada dalam kesetimbangan termal dengan benda C. Relasi kesetimbangan termal adalah suatu relasi ekuivalensi, sehingga seseorang dapat mengelompokkan benda-benda yang berada dalam keadaan setimbang termal dan memberi parameter yang menunjukkan hal itu. Fakta empiris ini dikenal sebagai hukum termodinamika ke nol. Benda-benda yang berada dalam keadaan kesetimbangan termal satu sama lain, didefinisikan memiliki temperatur yang sama. Dua benda yang berada dalam keadaan kesetimbangan termal akan memiliki temperatur yang

sama. Jadi hukum termodinamika ke-nol ini tidak lain adalah pernyataan tentang adanya besaran temperatur. Besaran temperatur ini adalah besaran intensif, karena nilainya tidak bergantung pada jumlah partikel. Konsep temperatur hanya berlaku untuk sistem makroskopik. Tidak ada artinya mendefinisikan temperatur untuk sebuah partikel. Walaupun sebuah benda tidak secara keseluruhan berada dalam kesetimbangan termal, bagian-bagian dari benda tersebut mungkin berada dalam keadaan kesetimbangan termal lokal. Maka pada bagian-bagian benda tersebut dapat didefinisikan temperatur.

2. Kesetimbangan mekanik

Sebelum mendefinisikan kesetimbangan mekanik, perlu didefinisikan terlebih dahulu besaran tekanan p . Bila ditinjau suatu bagian dari sistem yang dibatasi dengan suatu dinding pembatas (tidak harus berupa dinding sesungguhnya, dapat hanya berupa dinding andaian). Pada dinding tersebut secara umum akan ada gaya dari sistem (atau bagian sistem) yang bekerja ke bagian di sebelah luar dinding. Gaya tersebut secara umum dapat diuraikan menjadi komponen yang sejajar dan yang tegak lurus permukaan dinding. Karena komponen gaya yang tegak lurus permukaan diberikan oleh sistem yang terdiri dari banyak partikel, maka nilainya secara umum sebanding dengan luas permukaan dinding. Tekanan tidak lain adalah konstanta kesebandingan antara gaya tegak lurus dinding dan elemen luas permukaan, sehingga untuk elemen gaya dF dan elemen luas permukaan dA dapat dituliskan:

$$dF = p dA; p = \frac{dF}{dA}$$

Bila antara sistem dan lingkungan terdapat kesetimbangan sedemikian sehingga tidak terjadi perubahan (makroskopis) volume sistem dan lingkungan, maka dikatakan bahwa sistem dan lingkungan berada dalam keadaan kesetimbangan mekanik. Dalam kondisi kesetimbangan mekanik, sistem dan lingkungan akan memiliki nilai tekanan p yang sama.

3. Kesetimbangan jumlah partikel

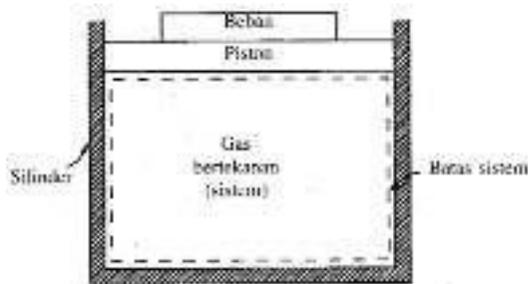
Bila antara sistem dan lingkungan dapat terjadi pertukaran partikel, maka jumlah partikel dalam sistem tidak tetap. Tetapi bila jumlah partikel yang keluar dari sistem dan yang masuk ke dalam sistem secara rerata sama, maka terdapat kesetimbangan jumlah partikel antara sistem dan lingkungan. Ketika itu antara sistem dan lingkungan dikatakan memiliki nilai potensial kimia yang sama.

D. Sistem, Proses dan Siklus Termodinamika

Sistem termodinamika adalah sejumlah tertentu dari materi yang terkandung dalam suatu permukaan tertutup. Permukaan tersebut biasanya sangat mudah dikenali seperti misalnya silinder yang menyimpan gas. Suatu sistem termodinamika adalah suatu massa atau daerah yang dipilih, untuk dijadikan objek analisis. Daerah sekitar sistem tersebut disebut sebagai lingkungan. Dalam aplikasinya batas sistem merupakan bagian dari sistem maupun lingkungannya, dan dapat tetap atau dapat berubah posisi atau bergerak.

Semua materi dan ruang yang berada di luar suatu sistem secara kolektif disebut sebagai lingkungan (*surrounding*) dari sistem tersebut. Termodinamika berurusan dengan interaksi antara suatu sistem dengan lingkungannya, atau antara suatu sistem dengan sistem lainnya. Suatu sistem berinteraksi dengan lingkungannya melalui transfer energi melewati

pembatasnya. Tidak ada materi yang melintasi pembatas dari suatu sistem. Jika sistem tersebut tidak bertukar energi dengan lingkungannya, sistem tersebut disebut sistem terisolasi.



Gambar 1.1 Sistem

Karakteristik yang menentukan sifat dari sistem disebut properti dari sistem, seperti tekanan (P), temperatur (T), volume (V), massa (m), viskositas, konduksi panas, dan lain-lain. Selain itu ada juga properti yang didefinisikan dari properti yang lainnya seperti, berat jenis, volume spesifik, panas jenis, dan lain-lain.

Suatu sistem dapat berada pada suatu kondisi yang tidak berubah, apabila masing-masing jenis properti sistem tersebut dapat diukur pada semua bagiannya dan tidak berbeda nilainya. Kondisi tersebut disebut sebagai keadaan (*state*) tertentu dari sistem, di mana sistem mempunyai nilai properti yang tetap. Apabila propertinya berubah, maka keadaan sistem tersebut disebut mengalami perubahan keadaan. Suatu sistem yang tidak mengalami perubahan keadaan disebut sistem dalam keadaan seimbang (ekuilibrium).

Perubahan sistem termodinamika dari keadaan seimbang satu menjadi keadaan seimbang lain disebut proses, dan rangkaian keadaan di antara keadaan awal dan akhir disebut lintasan proses.

Proses yang berjalan pada satu jenis properti tetap, disebut proses *iso-* diikuti nama properti nya, misalnya proses *isobaris* (tekanan konstan), proses *isochoris* (volume konstan), proses *isothermis* (temperatur konstan) dan lain-lain.

Suatu sistem disebut menjalani suatu siklus, apabila sistem tersebut menjalani rangkaian beberapa proses, dengan keadaan akhir sistem kembali ke keadaan awalnya.

E. Properti- Properti Termodinamika untuk Zat yang Terukur

Materi yang berada dalam suatu sistem dapat hadir dalam beberapa fase; sebagai padatan, cairan, atau gas. Fase (*phase*) adalah suatu kuantitas dari materi yang memiliki komposisi kimiawi yang sama secara menyeluruh. Batas-batas fase memisahkan berbagai fase dalam suatu campuran (*mixture*).

Properti adalah suatu kuantitas yang dipakai untuk mendeskripsikan suatu sistem. Keadaan (*state*) dari suatu sistem adalah kondisinya yang dideskripsikan dengan cara memberikan nilai-nilai tertentu untuk properti-propertinya pada suatu waktu tertentu. Properti-properti yang umum adalah tekanan, temperatur, volume, kecepatan dan posisi. Fitur yang penting dari suatu properti adalah bahwa properti memiliki suatu nilai unik pada saat suatu sistem berada dalam suatu keadaan tertentu, dan nilai ini tidak bergantung pada keadaan-keadaan sebelumnya yang telah dilalui sistem tersebut; artinya, bukan merupakan suatu fungsi jalur. Karena suatu properti tidak bergantung pada jalurnya, setiap perubahan bergantung hanya pada kondisi awal dan akhir dari sistem tersebut.

Properti-properti termodinamika dibagi menjadi dua jenis umum, yaitu properti intensif dan properti ekstensif. Properti intensif adalah

properti yang tidak bergantung pada massa dari sistemnya; contohnya adalah temperatur, tekanan, densitas dan kecepatan karena properti-properti ini berlaku untuk seluruh sistem tersebut, atau bagian-bagian dari sistem tersebut. Jika kita menyatukan dua sistem, properti-properti intensifnya tidak dijumlahkan. Properti ekstensif adalah properti yang bergantung pada massa dari sistemnya; contohnya adalah volume, momentum dan energi kinetik. Jika dua sistem digabungkan, properti ekstensif dari sistem yang baru adalah penjumlahan dari properti-properti ekstensif dari kedua sistem awalnya. Jika kita membagi suatu properti ekstensif dengan massanya, yang dihasilkan adalah properti spesifik.

Tiga sifat *intensif* yang penting dan mampu diukur dalam termodinamika teknik ialah volume spesifik (v), tekanan (p), dan temperatur (T). Ke tiga sifat ini sangat berguna dalam proses analisis termodinamika, baik untuk analisis teoretis maupun untuk analisis praktis terhadap keadaan komponen proses termodinamika, khususnya tekanan dan temperatur.

1. Volume Spesifik (v)

Volume spesifik didefinisikan sebagai kebalikan densitas, $v = 1/\rho$, yaitu volume persatuan massa, dengan satuan SI m^3/Kg atau cm^3/g .

Volume spesifik merupakan sifat intensif dan dapat berbeda dari satu titik ke titik lain, dengan kata lain nilainya akan berubah sebagai fungsi dari perubahan nilai sifat-sifat yang lain. Pada aplikasi tertentu, penulisan volume spesifik akan lebih mudah jika diberikan dalam basis molar. Jumlah mol suatu senyawa (n) diperoleh dengan membagi massa (m) dalam satuan kg. Secara matematis ditulis:

$$n = \frac{m}{M}$$

Contoh Soal

Massa udara dalam suatu ruangan 3 x 5 x 20 m diketahui sebesar 350 kg. Tentukanlah densitas, volume spesifik dan berat spesifiknya!

Penyelesaian:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{350}{(3)(5)(20)} = 1,167 \text{ kg/m}^3$$

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1,167} = 0,857 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$w = \rho \cdot g = (1,167)(9,81) = 11,45 \text{ N/m}^3$$

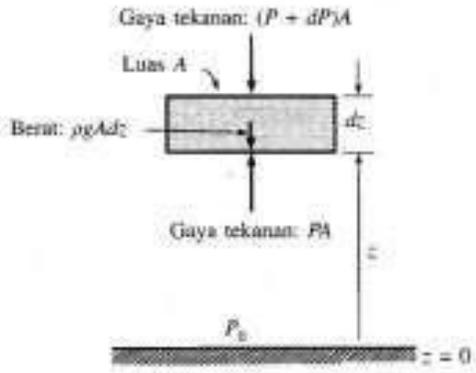
2. Tekanan (P)

Tekanan (P) adalah gaya normal (tegak lurus) dalam satuan newton (N) yang terjadi pada suatu permukaan bidang dalam satuan luas (m^2). Tekanan atmosfer: berat atau gaya molekul udara di atas lokasi per satuan luas, bergantung pada temperatur dan tekanan.

$$p = \frac{F}{A}$$

Dalam atmosfer tekanan berubah terhadap ketinggian. Perubahan ini dapat diekspresikan secara matematis dengan menganalisis kesetimbangan elemen udara. Jika semua gaya yang beraksi pada elemen tersebut ke arah vertikal (arah atas adalah positif) dijumlahkan akan dihasilkan:

$$dP = -\rho g dz$$



Gambar 1.2 Gaya-gaya yang beraksi pada suatu elemen udara

Kebanyakan hubungan termodinamika harus menggunakan tekanan absolut. Tekanan absolut terdiri dari tekanan terukur, atau tekanan alat ukur (*gage pressure*), ditambah dengan tekanan atmosfer lokal:

$$P_{abs} = P_{ukur} + P_{atm}$$

Contoh soal

Tuliskanlah pembacaan tekanan alat ukur sebesar 35 psi dalam pascal absolut!

Penyelesaian:

Pertama-tama kita konversikan pembacaan tekanan tersebut ke dalam pascal, maka kita memperoleh:

$$(35 \frac{lbf}{in^2}) (144 \frac{in^2}{ft^2}) (0,04788 \frac{kPa}{lbf/ft^2}) = 241 \text{ kPa alat ukur}$$

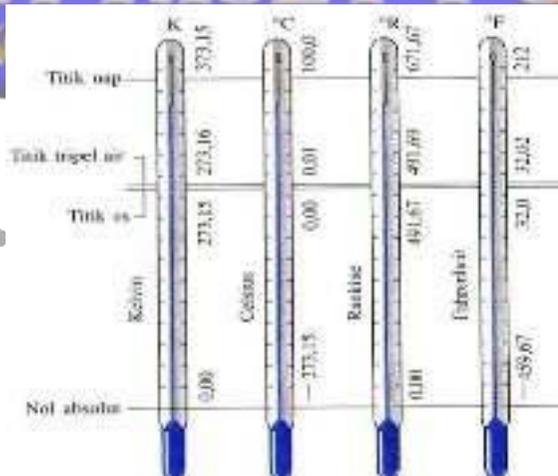
Untuk memperoleh tekanan absolut kita tambahkan saja tekanan atmosfer ke nilai di atas. Dengan mengasumsikan $P_{atm} = 100 \text{ kPa}$, kita memperoleh:

$$P = 241 \text{ kPa} + 100 \text{ kPa} = 341 \text{ kPa}$$

3. Temperature (T)

Secara umum, suhu (temperatur) merupakan konsep intuisi yang menyatakan perasaan 'panas' dan 'dingin' yang dihasilkan oleh indera manusia terhadap suatu benda. Oleh karena keterbatasan indera manusia maka perlu digunakan skala pengukuran yang dapat menunjukkan nilai temperatur yang lebih cermat. Skala temperatur ditunjukkan oleh nilai numerik yang berhubungan dengan suatu titik standar tertentu. Berdasarkan persetujuan internasional, digunakan titik standar berupa titik tripel (*triple point*) air (H₂O) yang menunjukkan keadaan kesetimbangan antara fase air berupa: es (padat), cairan, dan uap (gas).

Dalam penerapannya, skala temperatur terdiri atas empat jenis, yang semuanya mengacu pada titik standar (*triple point*) air, yakni: skala Kelvin (K), skala Celcius (°C), skala Rankine (°R), dan skala Fahrenheit (°F).



Gambar perbandingan skala temperatur

Temperatur/suhu = t, temperatur absolut/mutlak = T.

$$t_C = T_K - 273, \quad T_K = t_C + 273 \quad 1.1$$

$$t_F = T_R - 460, \quad T_R = t_F + 460 \quad 1.2$$

$$t_C = 100/180 (t_F - 32), \quad t_F = (180/100) t_C + 32. \quad 1.3$$

$$t_C = 5/9 (t_F - 32), \quad t_F = (9/5) t_C + 32. \quad 1.4$$

Contoh soal

Hitung dan tentukan konversi derajat skala temperatur berikut:

- Suatu benda memiliki temperatur 300 °C, berapa temperatur °F
- Suatu benda memiliki temperatur 300 °F berapa temperatur °C
- Suatu benda memiliki temperatur 300 K, berapa temperatur °F
- Suatu benda memiliki temperatur 600 R, berapa temperatur °C
- Suatu benda memiliki temperatur 300 K, berapa temperatur °R

Penyelesaian:

$$a) t_C = 300 \text{ } ^\circ\text{C}, \quad t_F = (180/100) t_C + 32 = (9/5) 300 + 32$$

$$t_F = 572 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$b) t_F = 300 \text{ } ^\circ\text{F}, \quad t_C = 100/180 (t_F - 32) = 5/9 (300 - 32)$$

$$t_C = 148,89 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$c) T_K = 300 \text{ K}, \quad t_C = T_K - 273 = 300 - 273 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_F = (9/5) 27 + 32 = 80,6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$d) T_R = 600 \text{ R}, \quad t_F = T_R - 460 = 600 - 460 = 140 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$t_C = 5/9 (140 - 32) = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$e) T_K = 300 \text{ K}, \quad t_C = T_K - 273 = 300 - 273 = 27 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_F = (9/5) 27 + 32 = 80,6 \text{ } ^\circ\text{F}$$

$$T_R = 80,6 + 460 = 540,6 \text{ R.}$$

F. Aplikasi Termodinamika pada Permesinan Kapal

Sebelum kita memasuki bagian teknis dari studi termodinamika ini, untuk tinjauan singkat, terdapat beberapa aplikasi termodinamika pada permesinan kapal sebagai berikut:

1. Batas efisiensi untuk mesin panas, lemari es, dan pompa panas.
2. Mesin gerak abadi.
3. Mesin pembakaran internal: Mesin Otto, Mesin Diesel.
4. System terbuka sederhana: kompresor, turbin, pompa.
5. Osmosis terbelakang tekanan: daya dari pencampuran air tawar dan air asin; dll.

G. Rangkuman

1. Secara terminologi, kata “termodinamika” berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari dua unsur kata, *therme* (kalor) dan *dynamics* (tenaga gerak atau gaya). Termodinamika adalah suatu bidang ilmu yang mempelajari penyimpanan, transformasi (perubahan) dan transfer energi.
2. Dalam termodinamika kita akan mengembangkan persamaan-persamaan matematis yang menghubungkan transformasi dan transfer energi dengan properti-properti bahan seperti temperatur, tekanan atau entalpi.
3. Suatu benda dikatakan berada dalam keadaan kesetimbangan termodinamik bila nilai dari besaran keadaan makroskopiknya tidak lagi berubah dalam jangka waktu yang cukup lama.
4. Suatu sistem termodinamika adalah suatu massa atau daerah yang dipilih, untuk dijadikan objek analisis. Daerah sekitar sistem tersebut disebut sebagai lingkungan. Dalam aplikasinya batas sistem

merupakan bagian dari sistem maupun lingkungannya, dan dapat tetap atau dapat berubah posisi atau bergerak.

5. Semua materi dan ruang yang berada di luar suatu sistem secara kolektif disebut sebagai lingkungan (*surrounding*) dari sistem tersebut.
6. Suatu sistem dapat berada pada suatu kondisi yang tidak berubah, apabila masing-masing jenis properti sistem tersebut dapat diukur pada semua bagiannya dan tidak berbeda nilainya. Kondisi tersebut disebut sebagai keadaan (*state*).
7. Materi yang berada dalam suatu sistem dapat hadir dalam beberapa fase, yaitu sebagai padatan, cairan, atau gas.
8. Properti-properti termodinamika dibagi menjadi dua jenis umum, yaitu *properti intensif* dan *properti ekstensif*.
9. *Properti intensif* adalah properti yang tidak bergantung pada massa dari sistemnya.
10. *Properti ekstensif* adalah properti yang bergantung pada massa dari sistemnya.
11. Tiga sifat *intensif* yang penting dan mampu diukur dalam termodinamika teknik ialah volume spesifik (v), tekanan (p), dan temperatur (T). Ke tiga sifat ini sangat berguna dalam proses analisis termodinamika, baik untuk analisis teoretis maupun untuk analisis praktis terhadap keadaan komponen proses termodinamika, khususnya tekanan dan temperatur.

H. Soal dan Latihan

1. Jelaskan pengertian dari termodinamika
2. Jelaskan bahwa termodinamika sangat penting dalam Teknik permesinan kapal!

3. Hitung dan tentukan konversi derajat skala temperatur berikut:
 - a. Suatu benda memiliki temperatur $98\text{ }^{\circ}\text{C}$, berapa temperatur derajat $^{\circ}\text{F}$
 - b. Suatu benda memiliki temperatur $210\text{ }^{\circ}\text{F}$ berapa temperatur derajat $^{\circ}\text{C}$
 - c. Suatu benda memiliki temperatur 400 K , berapa temperatur derajat $^{\circ}\text{F}$
 - d. Suatu benda memiliki temperatur 760 R , berapa temperatur derajat $^{\circ}\text{C}$
 - e. Suatu benda memiliki temperatur 400 K , berapa temperatur derajat R
4. Hitunglah gaya yang diakibatkan oleh tekanan yang beraksi pada pintu horizontal berdiameter 1 m dari suatu kapal selam yang berada 600 m di bawah permukaan!



www.larispaco.id

BAB II

ENERGI DAN HUKUM I TERMODINAMIKA

Setelah selesai pembelajaran pada bab ini taruna/i diharapkan memahami dan menjelaskan termodinamika energi

A. Pengertian Energi

Suatu sistem dapat memiliki beberapa bentuk energi. Energi dapat melintasi batas dari suatu sistem dalam 3 bentuk yang berbeda: panas/kalor (*heat*), kerja (*work*) dan Aliran massa (*mass flow*). Kalor (Q) merupakan energi yang berpindah dari satu benda ke benda yang lain akibat adanya perbedaan suhu. Berkaitan dengan sistem dan lingkungan, bisa dikatakan kalor merupakan energi yang berpindah dari sistem ke lingkungan atau energi yang berpindah dari lingkungan ke sistem akibat adanya perbedaan suhu. Jika suhu sistem lebih tinggi daripada suhu lingkungan, kalor akan mengalir dari sistem menuju lingkungan. Sebaliknya, jika suhu lingkungan lebih tinggi dari suhu sistem, maka kalor mengalir dari lingkungan menuju sistem.

Jika Kalor (Q) berkaitan dengan perpindahan energi akibat adanya perbedaan suhu, maka Kerja (W) berkaitan dengan perpindahan energi yang terjadi melalui cara-cara mekanis. Misalnya jika sistem melakukan kerja terhadap lingkungan, maka energi dengan sendirinya akan berpindah dari sistem menuju lingkungan. Sebaliknya jika lingkungan melakukan

kerja terhadap sistem, maka energi akan berpindah dari lingkungan menuju sistem.

Salah satu contoh sederhana berkaitan dengan perpindahan energi antara sistem dan lingkungan yang melibatkan Kalor dan Kerja adalah uap air panas yang mendorong tutup panci. Adanya kalor menyebabkan sistem (uap) mendorong penutup panci (uap melakukan kerja terhadap lingkungan). Ini merupakan salah satu contoh perubahan keadaan sistem akibat adanya perpindahan energi antara sistem dan lingkungan. Masih banyak contoh lain. Perubahan keadaan sistem akibat perpindahan energi antara sistem dan lingkungan yang melibatkan Kalor dan Kerja, disebut proses termodinamika

B. Bentuk-Bentuk Energi

Energi dapat dibagi dalam beberapa bentuk yaitu: energi kinetik, energi potensial dan energi dalam.

1. Energi Kinetik

Energi kinetik (*kinetic energy*) merupakan sifat ekstensif.

$$EK = \frac{1}{2} mc^2$$

Keterangan:

EK : Energi kinetik (J)

m : massa (kg)

c : kecepatan (m/s)

2. Energi Potensial

Energi potensial (*potential energy*) merupakan sifat ekstensif suatu benda.

$$EP = m g z$$

Keterangan:

EP : Energi potensial (J)

m : massa (kg)

g : konstanta gravitasi (9,8m/s²)

z : ketinggian (m)

3. Energi Dalam (U)

Energi dalam (U) sistem merupakan jumlah seluruh energi kinetik molekul sistem, ditambah jumlah seluruh energi potensial yang timbul akibat adanya interaksi antara molekul sistem. Kita berharap bahwa jika kalor mengalir dari lingkungan menuju sistem (sistem menerima energi), energi dalam sistem bertambah... Sebaliknya jika sistem melakukan kerja terhadap lingkungan (sistem melepaskan energi), energi dalam sistem berkurang.

Dengan demikian, berdasarkan kekekalan energi dapat disimpulkan perubahan energi dalam sistem = Kalor yang ditambahkan pada sistem (sistem menerima energi)–Kerja yang dilakukan oleh sistem (sistem melepaskan energi). Secara matematis:

$$\Delta U = Q - W$$

Rumus di atas hanya berlaku untuk sistem tertutup. (Sistem tertutup merupakan sistem yang hanya memungkinkan pertukaran energi antara sistem dengan lingkungan). Untuk sistem tertutup yang terisolasi, tidak ada

energi yang masuk atau keluar dari sistem, karenanya, perubahan energi dalam = 0.

Energi dalam (*internal energy*) merupakan sifat ekstensif sistem. Perubahan energi dalam pada sebuah proses adalah $U_2 - U_1$. Dalam gas, cairan, dan zat padat dengan kerapatan tinggi, gaya antar molekul sangat mempengaruhi energi dalam.

4. Entalpi (H)

Entalpi merupakan jumlah energi/panas yang dikandung suatu zat pada tekanan tetap, sehingga perubahan entalpi sama dengan kalor reaksi. Entalpi (H) dari suatu sistem dirumuskan sebagai berikut:

$$H = U + PV$$

Keterangan:

H : Entalpi (J)

U : Energi dalam (J)

P : Tekanan (Pa)

V : Volume (m^3)

C. Hukum I Termodinamika

Hukum Termodinamika Pertama juga dikatakan sebagai Hukum Kekekalan Energi. Aspek dasar dari konsep energi adalah kelestarian energi, yaitu bahwa energi suatu sistem yang tertutup/diisolasi adalah konstan. Sebagai contoh, apabila ada dua buah benda yang bergerak saling bertabrakan dan kemudian kedua benda tersebut berhenti. Apakah yang terjadi dengan berbagai energinya (misalnya, energi kinetik). Ada dua

pernyataan, yaitu:

- Energi yang dihasilkan telah hilang.
- Energi didisipasikan ke dalam bentuk panas.

Pernyataan pertama hanya tepat apabila diterapkan terhadap energi mekanik. Sebagai hasil tabrakan, energi kinetik kedua benda yang bertabrakan tersebut dikonversikan menjadi energi dalam. Energi dalam ini tidak nampak secara jelas, tetapi akan jelas karena adanya peningkatan suhu dari kedua benda tersebut. Tidak ada energi yang hilang, energi hanya mengalami perubahan bentuk ke energi yang lain. Pernyataan kedua dapat menjadi benar dengan mengganti panas ke energi dalam. Panas dan energi dalam adalah dua hal yang sangat berbeda sekali, energi yang dikaitkan dengan berbagai gerakan dan gaya mikroskopik adalah energi dalam bukan panas.

Persamaan umum hukum termodinamika pertama untuk sebuah siklus tertutup diekspresikan sebagai berikut “Perubahan dari total energi bersih di dalam sistem selama proses adalah sama dengan total energi yang masuk ke sistem dikurangi total energi yang keluar sistem selama proses”.

$$(Total\ energi\ masuk\ sistem\ E_{in}) - (Total\ energi\ keluar\ sistem\ E_{out}) \\ =\ perubahan\ energi\ dalam\ sistem\ \Delta E_{sistem}$$

Atau www.larispa.co.id

$$E_{in} - E_{out} = \Delta E_{sistem}$$

Untuk sistem tertutup yang stasioner perubahan energi kinetik dan energi potensial dapat diabaikan. Sehingga hukum termodinamika pertama dapat direduksi menjadi:

$$\Delta E = \Delta U$$

Hukum I Termodinamika sebenarnya merupakan hukum kekekalan energi. Jika suatu sistem diberi kalor (ΔQ), maka sistem tersebut dapat melakukan usaha (ΔW) dan energi di dalamnya dapat berubah (ΔU).

Dengan ketentuan:

- ΔQ berharga $+/ -$: berarti sistem menerima/melepas kalor
- ΔW berharga $+/ -$: berarti sistem melakukan/menerima usaha
- ΔU berharga $+/ -$: berarti terjadi penambahan /pengurangan energi dalam.

D. Aplikasi-Aplikasi Persamaan Energi

Perubahan-perubahan energi kinetik atau energi potensial seringkali dapat diabaikan jika dibandingkan dengan faktoriaktor lainnya dalam persamaan energi. Perubahan-perubahan energi potensial biasanya diperhitungkan hanya dalam situasi-situasi yang melibatkan cairan dan di mana area masuk dan keluarnya dipisahkan oleh suatu jarak vertikal yang cukup besar. Aplikasi-aplikasi berikut akan memberikan ilustrasi tentang beberapa aplikasi dari persamaan energi:

1. Katup-katup pengatur (*throttling devices*).
2. Kompresor, pompa dan turbin.
3. Alat-alat penukar kalor (*heat exchanger*).

www.larispaco.id

E. Rangkuman

1. Suatu sistem dapat memiliki beberapa bentuk energi. Energi dapat melintasi batas dari suatu sistem dalam 3 bentuk yang berbeda: panas/kalor (*heat*), kerja (*work*) dan Aliran massa (*mass flow*).
2. Energi dapat dibagi dalam beberapa bentuk yaitu: energi kinetik,

- energi potensial, energi dalam dan entalpi.
3. Hukum Termodinamika Pertama juga dikatakan sebagai Hukum Kekekalan Energi
 4. Persamaan umum hukum termodinamika pertama untuk sebuah siklus tertutup diekspresikan sebagai berikut “Perubahan dari total energi bersih di dalam sistem selama proses adalah sama dengan total energi yang masuk ke sistem dikurangi total energi yang keluar sistem selama proses”.
 5. Aplikasi-aplikasi berikut akan memberikan ilustrasi tentang beberapa aplikasi dari persamaan energi: katup-katup pengatur (*throttling devices*), kompresor, pompa, turbin dan alat-alat penukar kalor (*heat exchanger*).

F. Soal dan Latihan

1. Sebutkan dan jelaskan bentuk-bentuk energi yang dapat melintasi batas suatu sistem!
2. Jelaskan bunyi hukum I termodinamika!
3. Sebuah mobil seberat 2200 kg yang melaju pada kecepatan 90 km/jam (25 m/s) menabrak sebuah mobil lain seberat 1000 kg yang sedang diam. Setelah menabrak, mobil yang besar melambar menjadi 50 km/jam (13,89 m/s). dan mobil yang lebih kecil memiliki kecepatan sebesar 88 km/jam (24,44 m/s). Seberapa besarkah kenaikan yang terjadi pada energi internal. jika kedua kendaraan tersebut dianggap sebagai suatu sistem!
4. Apa yang dimaksud dengan entalpi!
5. Sebutkan beberapa aplikasi yang memberikan ilustrasi tentang persamaan energi!

BAB III

SISTEM TERMODINAMIKA

Setelah selesai pembelajaran pada bab ini taruna/i diharapkan:

- Memahami dan menjelaskan termodinamika energi.
- Mendeskripsikan dan menjelaskan jenis-jenis sistem termodinamika.

A. Perubahan Sistem Termodinamika

Suatu sistem dapat berada pada suatu kondisi yang tidak berubah, apabila masing-masing jenis properti sistem tersebut dapat diukur pada semua bagiannya dan tidak berbeda nilainya. Kondisi tersebut disebut sebagai keadaan (*state*) tertentu dari sistem, di mana sistem mempunyai nilai properti yang tetap. Apabila propertinya berubah, maka keadaan sistem tersebut disebut mengalami perubahan keadaan. Suatu sistem yang tidak mengalami perubahan keadaan disebut sistem dalam keadaan seimbang (*equilibrium*).

Perubahan sistem termodinamika dari keadaan seimbang satu menjadi keadaan seimbang lain disebut proses, dan rangkaian keadaan di antara keadaan awal dan akhir disebut lintasan proses seperti terlihat pada gambar.



Gambar 3.1 proses lintasan dari keadaan 1 ke keadaan 2

Tergantung dari jenis prosesnya, maka keadaan 2 dapat dicapai dari keadaan 1 melalui berbagai lintasan yang berbeda. Proses termodinamika biasanya digambarkan dalam sistem koordinat 2 properti, yaitu P-V diagram, P-v diagram, atau T-S diagram. Proses yang berjalan pada satu jenis properti tetap, disebut proses *iso-* diikuti nama properti nya, misalnya proses *isobarik* (tekanan konstan), proses *isochorik* (volume konstan), proses *isothermik* (temperatur konstan) dan lain-lain. Suatu sistem disebut menjalani suatu siklus, apabila sistem tersebut menjalani rangkaian beberapa proses, dengan keadaan akhir sistem kembali ke keadaan awalnya.

B. Jenis-Jenis Sistem

1. Sistem terbuka (*opened system*) biasa juga disebut volume atur (*control volume*)

Sistem yang mengakibatkan terjadinya pertukaran energi (panas dan kerja) dan massa dengan lingkungannya.

Sistem terbuka ini meliputi peralatan yang melibatkan adanya aliran massa kedalam atau keluar sistem seperti pada kompresor, turbin, nozel dan motor bakar.

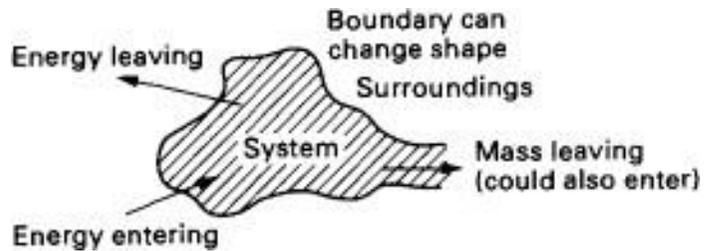
Sistem mesin motor bakar adalah ruang di dalam silinder mesin, di mana campuran bahan-bahan bakar dan udara masuk kedalam silinder, dan gas buang keluar sistem.

Pada sistem terbuka ini, baik massa maupun energi dapat melintasi batas sistem yang bersifat permeabel.

Dengan demikian, pada sistem ini volume dari sistem tidak berubah sehingga disebut juga dengan kontrol volume.

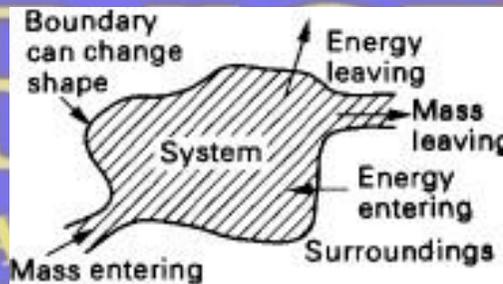
Sistem terbuka terbagi 2, yakni:

a. Sistem terbuka *one-flow*

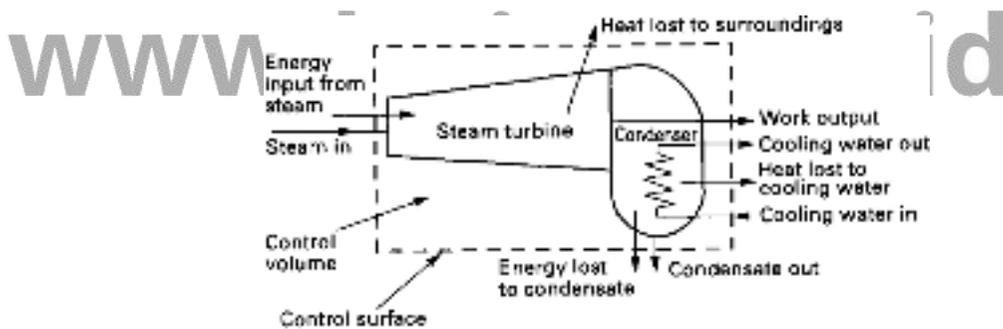


Gambar 3.2 Sistem terbuka *one-flow*

b. Sistem terbuka *two-flow*



Gambar 3.3 Sistem terbuka *two-flow*



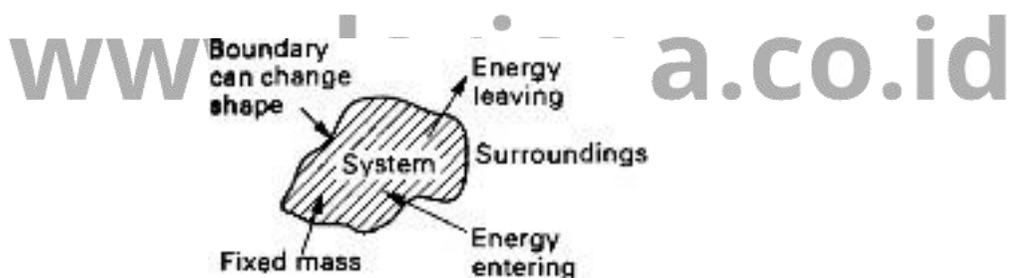
Gambar 3.4 Control volume

2. Sistem tertutup (*closed system*) biasa juga disebut massa atur (*control mass*)

Sistem yang mengakibatkan terjadinya pertukaran energi (panas dan kerja) tetapi tidak terjadi pertukaran massa dengan lingkungan. Sistem tertutup terdiri atas suatu jumlah massa yang tertentu di mana massa ini tidak dapat melintasi lapis batas sistem. Tetapi, energi baik dalam bentuk panas (*heat*) maupun usaha (*work*) dapat melintasi lapis batas sistem tersebut.

Dalam sistem tertutup, meskipun massa tidak dapat berubah selama proses berlangsung, namun volume dapat saja berubah disebabkan adanya lapis batas yang dapat bergerak (*moving boundary*) pada salah satu bagian dari lapis batas sistem tersebut.

Contoh sistem tertutup adalah suatu balon udara yang dipanaskan, di mana massa udara di dalam balon tetap, tetapi volumenya berubah dan energi panas masuk ke dalam masa udara di dalam balon. Sebagaimana gambar sistem tertutup di bawah ini, apabila panas diberikan kepada sistem (Q_{in}), maka akan terjadi pengembangan pada zat yang berada di dalam sistem. Pengembangan ini akan menyebabkan piston akan terdorong ke atas (terjadi W_{out}). Karena sistem ini tidak mengizinkan adanya keluar masuk massa ke dalam sistem (massa selalu konstan) maka sistem ini disebut *control mass*.



Gambar 3.5 Sistem tertutup

Suatu sistem dapat mengalami pertukaran panas atau kerja atau keduanya, biasanya dipertimbangkan sebagai sifat pembatasnya:

- Pembatas *adiabatik*: tidak memperbolehkan pertukaran panas.
- Pembatas *rigid*: tidak memperbolehkan pertukaran kerja.

Dikenal juga istilah dinding, ada dua jenis dinding yaitu dinding *adiabatik* dan dinding *diatermik*.

- Dinding adiabatik adalah dinding yang mengakibatkan kedua zat mencapai suhu yang sama dalam waktu yang lama (lambat).

Untuk dinding adiabatik sempurna tidak memungkinkan terjadinya pertukaran kalor antara dua zat.

- Sedangkan dinding diatermik adalah dinding yang memungkinkan kedua zat mencapai suhu yang sama dalam waktu yang singkat (cepat).

Pada sistem tertutup, jumlah total energi diperoleh dari:

$$E = U + \sum EP + \sum EK$$

Sehingga dapat pula diperoleh hubungan:

$$E_1 + Q = E_2 + W$$

atau

$$Q = (E_2 - E_1) + W$$

atau

$$Q - W = E_2 - E_1$$

3. Sistem Terisolasi

Sistem yang mengakibatkan tidak terjadinya pertukaran panas, zat atau kerja dengan lingkungannya. Contohnya: air yang disimpan dalam termos dan tabung gas yang terisolasi.



Gambar 3.6 Sistem terisolasi

Dalam kenyataan, sebuah sistem tidak dapat terisolasi sepenuhnya dari lingkungan, karena pasti ada terjadi sedikit pencampuran, meskipun hanya penerimaan sedikit penarikan gravitasi. Dalam analisis sistem terisolasi, energi yang masuk ke sistem sama dengan energi yang keluar dari sistem.

C. Rangkuman

1. Perubahan sistem termodinamika dari keadaan seimbang satu menjadi keadaan seimbang lain disebut proses, dan rangkaian keadaan di antara keadaan awal dan akhir disebut lintasan proses.
2. Proses yang berjalan pada satu jenis properti tetap, disebut proses *iso-* diikuti nama properti nya, misalnya proses *isobarik* (tekanan

konstan), proses *isochorik* (volume konstan), proses *isothermik* (temperatur konstan) dan lain-lain.

3. Suatu sistem disebut menjalani suatu siklus, apabila sistem tersebut menjalani rangkaian beberapa proses, dengan keadaan akhir sistem kembali ke keadaan awalnya.
4. Sistem terdiri dari tiga jenis, yaitu: sistem terbuka, sistem tertutup, dan sistem terisolasi.

D. Soal dan Latihan

1. Apa pengertian dari sistem termodinamika!
2. Jelaskan perbedaan dari sistem terbuka, sistem tertutup dan sistem terisolasi!
3. Gambar skema proses lintasan suatu sistem termodinamika dari keadaan 1 ke keadaan 2!
4. Sebutkan beberapa aplikasi sistem terisolasi dalam kehidupan sehari-hari!
5. Jelaskan syarat-syarat agar suatu sistem menjadi sebuah siklus!



www.larispaco.id

BAB IV

PERUBAHAN ENERGI DAN PERPINDAHAN PANAS (*HEAT TRANSFER*)

Setelah selesai pembelajaran pada bab ini taruna/i diharapkan:

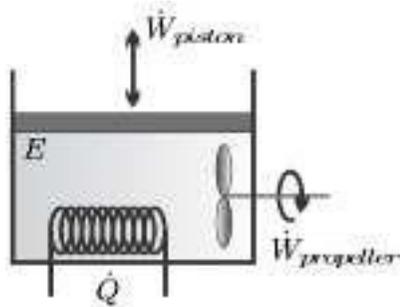
- Memahami dan menjelaskan perubahan energi.
- Memahami dan menjelaskan perpindahan panas.

A. Perubahan Energi

Termodinamika awalnya dikembangkan untuk lebih memahami proses di mesin uap dan perangkat konversi lainnya, sehingga pemahaman tersebut dapat digunakan untuk meningkatkan mesin. Sementara konversi dari panas ke kerja dan panas ke panas dapat diamati dengan mudah dalam proses yang sederhana dan lebih kompleks, hukum yang mengatur sama sekali tidak terlihat dari pengamatan sederhana. Untuk itu diperlukan pemikiran inovatif dan eksperimen yang cermat untuk mengungkap hukum konservasi energi. Karena pentingnya dalam termodinamika, itu juga dikenal sebagai Hukum Pertama Termodinamika.

Butuh beberapa waktu untuk merumuskan hukum pertama dalam bentuk sederhana ini, penghargaan untuk mencari dan merumuskannya diberikan Robert Meyer (1814-1878), James Prescott Joule (1818-1889), dan Hermann Helmholtz (1821-1894). Melalui pengukuran dan analisis yang cermat, mereka mengakui bahwa energi panas, energi mekanik, dan energi listrik dapat diubah menjadi satu sama lain, yang menyiratkan

bahwa energi dapat ditransfer dengan melakukan pekerjaan, seperti dalam mekanika, dan dengan perpindahan panas.



Gambar 4.1 Sistem tertutup dengan kerja pertukaran energi $U \cdot W$ dan panas $\cdot Q$ dengan lingkungannya

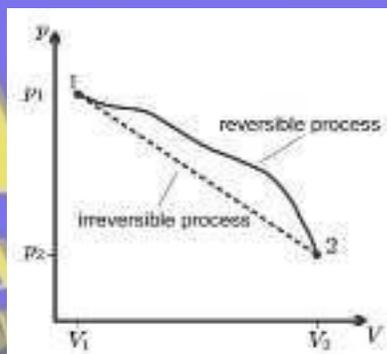
Untuk proses *reversible* (quasi-statis), hukum termodinamika pertama dikurangi menjadi

$$U_2 - U_1 = Q_{12} - \int PdV \dots\dots\dots 4.1$$

B. Perpindahan Panas (Kalor)

Kalor merupakan transfer energi karena perbedaan suhu. Kalor adalah energi yang dipindahkan melintasi batas suatu sistem yang disebabkan oleh perbedaan temperatur antara sistem dengan lingkungannya. Suatu sistem tidak menyimpan panas, tapi menyimpan energi dan kalor merupakan energi yang sedang mampir. Ini seringkali disebut dengan perpindahan kalor. Pengalaman menunjukkan bahwa untuk sistem dalam kontak termal arah perpindahan panas dibatasi. Panas akan selalu berubah dari panas menjadi dingin dengan sendirinya, tetapi tidak sebaliknya.

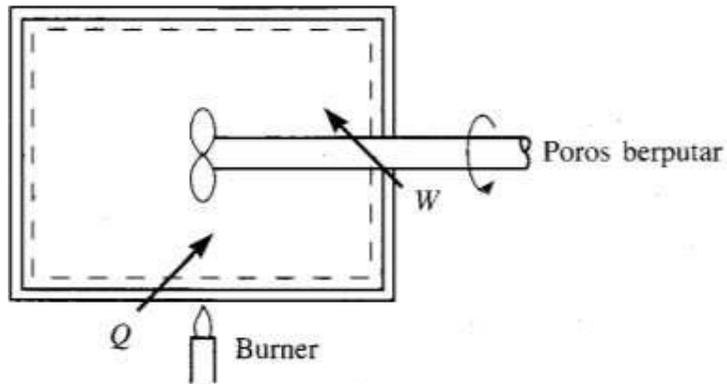
Sebagai ilustrasi, perhatikan sebuah balok panas dan balok dingin dengan massa yang sama. Balok yang panas menyimpan lebih banyak energi dibandingkan dengan balok yang dingin karena memiliki aktivitas molekular yang lebih besar, artinya memiliki temperatur yang lebih tinggi. Jika kedua balok tersebut saling disentuhkan, energi mengalir dari balok yang panas ke balok yang dingin melalui perpindahan kalor. Pada akhirnya kedua balok tersebut akan mencapai kesetimbangan termal, di mana keduanya memiliki temperatur yang sama. Perpindahan kalor telah berhenti, balok yang panas telah memberikan energi dan balok yang dingin telah memperoleh energi.



Gambar 4.2 Proses reversible (*quasi-statis*) dan irreversible (*non-kesetimbangan*) antara keadaan keseimbangan 1 dan 2

www.larispa.co.id

Karena aliran panas hanya sebagai respons terhadap perbedaan suhu, proses perpindahan panas semu-statis (*reversible*) hanya dapat diwujudkan dalam batas perbedaan suhu sangat terbatas antara sistem dan batas sistem, dan untuk gradien suhu tidak terbatas dalam sistem. Seperti halnya usaha, adalah sesuatu yang melintasi batas. Karena suatu sistem tidak menyimpan kalor, kalor bukanlah merupakan suatu properti.



Gambar 4.3 energi ditambahkan ke suatu sistem

Total perpindahan panas untuk proses antara kondisi 1 dan 2 adalah

$$Q_{12} = \int_1^2 \delta Q = \int_{t_1}^{t_2} Q dt$$

Sesuai konvensi, jika kalor dipindahkan ke suatu sistem maka nilainya adalah positif. Jika kalor dipindahkan dari suatu sistem maka nilainya adalah negatif. Ini berlawanan dengan konvensi yang dipilih untuk usaha; jika suatu sistem melakukan usaha terhadap lingkungannya maka nilainya adalah positif. Perpindahan kalor positif menambahkan energi ke suatu sistem, sedangkan usaha positif mengurangi energi dari suatu sistem. Suatu proses di mana terdapat perpindahan kalor sama dengan nol disebut sebagai proses *adiabatik*. Proses yang demikian disimulasikan secara eksperimental dengan cara menginsulasi sistem sehingga sedikit sekali kalor yang berpindah.

Terdapat tiga moda perpindahan kalor: konduksi, konveksi dan radiasi. Seringkali dalam rancangan-rancangan *engineering*, ketiga moda tersebut harus diperhatikan:

1. Perpindahan kalor *konduksi* terjadi dalam suatu bahan karena adanya perbedaan temperatur di dalam bahan tersebut. Moda ini dapat terjadi di dalam semua zat, tapi paling sering diasosiasikan dengan zat-zat padat. Moda ini diekspresikan secara matematis melalui hukum perpindahan kalor *Fourier*, yang untuk bidang satu dimensi memiliki bentuk:

$$\dot{Q} = kA \frac{\Delta T}{L}$$

Di mana: k = konduktivitas termal (W/mK) L

= ketebalan dinding

A = luas dinding

ΔT = perbedaan temperatur

2. Perpindahan konveksi terjadi ketika energi dipindahkan dari suatu permukaan padat ke suatu fluida yang bergerak, jika tidak terdapat pergerakan fluida, tidak ada perpindahan kalor konvektif. Konveksi diekspresikan dalam bentuk perbedaan temperatur antara temperatur umum fluida T_{∞} dan temperature permukaan T_s . Hukum pendinginan newton mengekspresikan ini sebagai:

$$\dot{Q} = h_c A (T_s - T_{\infty})$$

Di mana: h_c = Koefisien perpindahan konvektif

3. Transfer *radiasi*, di mana radiasi elektromagnetik yang melintasi batas sistem diserap atau dipancarkan oleh materi di dalam sistem. *Radiasi* energi yang dipindahkan sebagai foton-foton. Perpindahan dapat terjadi melalui hampa udara atau melalui zat-zat transparan seperti air. Perhitungannya dilakukan dengan menggunakan hukum

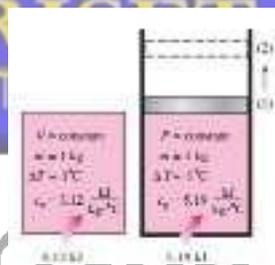
Stefan Boltzmann dan memperhitungkan energi yang dilepas dan energi yang diserap dari lingkungan.

$$Q' = \epsilon\sigma A(T^4 - T_{surr}^4)$$

Di mana: σ = konstanta Stefan Boltzmann

C. Panas Jenis

Panas jenis didefinisikan sebagai energi yang diperlukan untuk meningkatkan temperatur suatu zat dalam satu satuan massa sebesar satu derajat. Pada umumnya energi akan tergantung pada bagaimana proses tersebut terjadi. Dalam termodinamika, terdapat dua macam panas jenis; panas jenis pada volume konstan C_v dan panas jenis pada tekanan konstan C_p . Panas jenis pada tekanan konstan C_p selalu lebih besar dari pada C_v , karena pada tekanan konstan, sistem mengalami ekspansi dan hal tersebut memerlukan energi.



Gambar 4.4 Panas Jenis pada P dan Q konstan

Contoh Soal

Suatu percobaan kalorimeter untuk menentukan panas jenis suatu zat padat, diketahui data sebagai berikut: Sebuah kalorimeter terbuat dari tembaga ($c_k = 0,093 \text{ cal/gr} \cdot ^\circ\text{C}$) massa 90 gram diisi air 50 gram temperatur

27 °C, logam campuran massa 42 gram dipanaskan pada temperatur 98 °C, selanjutnya logam campuran dimasukkan dalam air dan temperatur campuran menunjukkan 38 °C. Berapa panas jenis dari logam campuran?

Penyelesaian

Energi panas, $Q = m \cdot c \cdot t$.

Energi panas sebelum dicampur = Energi panas setelah dicampur

$$(m_k \cdot c_k + m_a \cdot c_a) t_1 + m_l \cdot c_l \cdot t_2 = (m_k \cdot c_k + m_a \cdot c_a + m_l \cdot c_l) t_3$$

$$m_l \cdot c_l (t_2 - t_3) = (m_k \cdot c_k + m_a \cdot c_a) (t_3 - t_1)$$

$$c_l = (m_k \cdot c_k + m_a \cdot c_a) (t_3 - t_1) / m_l (t_2 - t_3) = 1.7$$

Kalorimeter, $m_k = 90$ gr, panas jenis, $c_k = 0,093$ cal/gr.°C, $t_1 = 27$ °C

Air, $m_a = 50$ gr, panas jenis, $c_a = 1,00$ cal/gr.°C, $t_1 = 27$ °C

Logam camp., $m_l = 42$ gr, panas jenis, $c_l = ?$, $t_2 = 98$ °C Temperatur campuran, $t_3 = 38$ °C

$$c_l = (90 \cdot 0,093 + 50 \cdot 1,00) (38 - 27) / 42 (98 - 38)$$

$$c_l = 0,255 \text{ cal/gr.}^{\circ}\text{C.}$$

D. Rangkuman

1. Melalui pengukuran dan analisis yang cermat, Robert Meyer (1814-1878), James Prescott Joule (1818-1889), dan Hermann Helmholtz (1821-1894) mengakui bahwa energi panas, energi mekanik, dan energi listrik dapat diubah menjadi satu sama lain, yang menyiratkan bahwa energi dapat ditransfer dengan melakukan pekerjaan, seperti dalam mekanika, dan dengan perpindahan panas.
2. Kalor adalah energi yang dipindahkan melintasi batas suatu sistem yang disebabkan oleh perbedaan temperatur antara sistem dengan lingkungannya.

3. Terdapat tiga moda perpindahan kalor: *konduksi, konveksi dan radiasi*. Seringkali dalam rancangan-rancangan *engineering*, ketiga moda tersebut harus diperhatikan.

E. Soal dan latihan

1. Jelaskan mengapa kalor disebut sebagai aliran energi!
2. Suatu percobaan kalorimeter untuk menentukan panas jenis suatu zat padat, diketahui data sebagai berikut: Sebuah kalorimeter terbuat dari tembaga ($c_k = 0,093 \text{ cal/gr.}^\circ\text{C}$) massa 46 gram diisi air 90 gram temperatur 29°C , logam campuran massa 36 gram dipanaskan pada temperatur 98°C , selanjutnya logam campuran dimasukkan dalam air dan temperatur campuran menunjukkan 37°C . Berapa panas jenis dari logam campuran tersebut?
3. Jelaskan definisi dari panas jenis!
4. Suatu percobaan kalorimeter untuk menentukan panas jenis suatu zat padat, diketahui data sebagai berikut: Sebuah kalorimeter terbuat dari tembaga ($c_k = 0,093 \text{ cal/gr.}^\circ\text{C}$) massa 46 gram diisi dengan cairan 90 gram temperatur 29°C , logam besi campuran massa 36 gram ($c_i = 0,10 \text{ cal/gr.}^\circ\text{C}$) dipanaskan pada temperatur 98°C , selanjutnya logam campuran dimasukkan dalam air dan temperatur campuran 36°C . Berapa panas jenis dari cairan tersebut?
5. Sebutkan dan jelaskan tiga jenis moda perpindahan kalor!

BAB V

UAP

Setelah selesai pembelajaran pada bab ini taruna/i diharapkan mampu memahami dan menjelaskan konsep uap.

Uap adalah gas atau bentuk lain dari air, yang diperoleh dari memanaskan air hingga suhu tertentu, hingga air mendidih. Dalam keadaan sesungguhnya, setiap saat, pada temperatur berapa pun, air selalu menguap. Namun hal ini hanya terjadi di permukaan, dan temperatur uap ini tetap rendah. Sama dengan temperatur uap itu sendiri. Adapun uap yang dimaksud di sini adalah uap air, hasil dari pemanasan air hingga mendidih, di mana selanjutnya seluruh air yang dipanaskan akan menjadi uap. Ini terjadi pada “titik didih” air, pada tekanan dan temperatur tetap yang tertentu, tergantung tekanannya.

A. Uap Jenuh (Saturated Steam)

Uap jenuh adalah uap yang mempunyai temperatur dan tekanan “seimbang”, atau mempunyai tekanan tertentu pada temperatur tertentu. Artinya, jika temperaturnya berubah, maka tekanannya juga akan berubah, demikian juga sebaliknya. Pengertian lain adalah, pada tekanan tertentu, air yang dipanaskan akan mendidih pada temperatur tertentu, maka pada temperatur, yang terus berlangsung pada semua air berubah menjadi uap. Sebaliknya, jika uap didinginkan pada tekanan tertentu, maka pada

temperatur tertentu uap akan berubah menjadi air yang akan berlangsung terus hingga semua uap berubah menjadi air.

B. Uap Basah (*Wet Steam*)

Uap basah adalah uap yang mengandung butir-butir air, yaitu terjadi selama proses perubahan dari air menjadi uap atau dari uap menjadi air, pada temperatur didih dan seimbang dengan tekanannya. Perbandingan antara uap dan air pada uap basah disebut “derajat kekeringan” (*dryness factor*), dalam satuan proses (%) jika dinyatakan dalam derajat kekeringan 80%, ini berarti massa uap akan terdiri dari 80% uap dan 20% air. Dan ini pun berarti bahwa uap jenuh mempunyai derajat kekeringan 100%.

C. Uap Panas Lanjut (*Superheated Steam*)

Uap panas lanjut adalah uap jenuh yang jika dipanaskan terus temperaturnya akan naik, yang terjadi baik pada tekanan tetap maupun berubah.

Seperti telah dipahami, bahwa perubahan bentuk suatu zat akan terjadi jika zat menerima atau kehilangan panas, dan perubahan ini disebut **perubahan fase**. Sewaktu berbentuk padat, zat berada dalam fase padat, dan jika berubah menjadi cair, fasenya berubah menjadi fase cair, dan selanjutnya menjadi fase gas.

Untuk mengubah bentuk zat-zat tersebut diperlukan sejumlah panas yang berbeda antara satu zat dengan zat lain. Demikian juga dengan jumlah panas yang dibutuhkan dalam setiap tahap perubahan sejak tahap pemanasan fase padat hingga temperatur pencairan dan penguapan.

Jumlah panas yang dibutuhkan sesuai dengan tahapnya, pada (tekanan tetap) dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap pemanasan fase padat, jumlahnya tergantung pada massa, panas jenis dan selisih temperaturnya ($m \times c \times \Delta T$).
2. Tahap pencairan, temperatur dan tekanan tetap, jumlah panas yang harus diberikan hingga seluruh zat berubah menjadi cair disebut panas laten pencairan.
3. Tahap cair, di mana zat yang seluruhnya menjadi cair dinaikkan suhunya hingga mendidih dan mulai menjadi gas. Jumlah panas yang diperlukan tergantung massa, panas jenis dan selisih suhu. ($m \times c \times \Delta T$)
4. Tahap pembentukan gas, temperaturnya tidak naik lagi atau tetap dan zat berada dalam dua-fase, cair dan gas. Panas yang diberikan di sini disebut panas laten penguapan, hingga semua cairan berubah menjadi gas.
5. Tahap terakhir adalah tahap pemanasan gas, di mana temperaturnya akan naik lagi, dan dalam kondisi ini gas disebut panas lanjut.

Peristiwa tersebut berlaku untuk hampir semua zat, termasuk air, yang pada temperatur di bawah 0°C , berbentuk padat (es) dan pada temperatur di atas 100°C , pada tekanan 1 bar, berubah menjadi uap. Pada kedua temperatur tersebut, (0 dan 100°C), air berada dalam sistem dua fase, yaitu padat-cair dan cair-uap.

Di dalam ketel uap, air mempunyai dua bentuk, yaitu cair dan uap, termasuk gelembung-gelembung yang terjadi. Karena itu ketel juga disebut sistem dua fase karena di dalamnya ada zat yang mempunyai dua fase, yaitu air dan uap.

Dalam pembentukan uap, ada tiga tahap dan tiga jenis panas yang perlu dibahas:

1. Tahap pertama, air dipanaskan hingga temperatur jenuh (*saturation temperature*) dan panas yang dibutuhkan disebut entalpi cair (*liquid enthalpy*). Pada tahap ini tekanan tetap, temperaturnya naik.
2. Tahap kedua, air mulai berubah menjadi uap atau sehari-hari disebut mendidih, namun tekanan dan temperaturnya tidak berubah sampai semua air menjadi uap. Istilah lain, perubahan dimulai dari temperatur jenuh dan diakhiri pada temperatur jenuh uap (*dry saturated steam*). Panas yang dibutuhkan untuk ini disebut entalpi penguapan (*evaporation enthalpy*).
3. Tahap ketiga, dimulai dari uap jenuh kering hingga uap menjadi uap panas lanjut (*superheat steam*), di mana temperaturnya akan naik walaupun tekanannya tetap. Panas yang dibutuhkan disebut entalpi panas lanjut (*superheat enthalpy*).

Jadi, temperatur hanya akan naik (atau turun) terjadi pada tahap fase tunggal, sedangkan pada tahap dua-fase, temperatur tetap, hingga seluruh zat berubah menjadi fase tunggal. Sebenarnya, perubahan bentuk padat, cair dan gas adalah kegiatan molekuler, di mana terjadi tarik menarik atau pengembangan/penyusutan antara molekul-molekulnya.

Semakin tinggi “panas laten” yang dimiliki zat, pengembangan molekul semakin bebas walaupun masih terikat pada massa utamanya. Itu lah sebabnya air mudah berubah bentuk, dan uap bahkan sangat cepat mengembang dan berpindah dan volume jenisnya semakin besar.

Dari penjelasan di atas dapat diambil kesimpulan, bahwa entalpi suatu zat di samping tergantung dari massa, panas jenis dan selisih temperaturnya (atau = perubahan energi dalam - ΔU), juga tergantung pada temperatur, tekanan serta volume zat itu sendiri. Dengan istilah lain, untuk per kg massa,:

$$H = \Delta U + pV \text{ atau } h = u + p$$

di mana H = entalpi

ΔU = energi dalam ($m \times c \times \Delta T$)

p = tekanan

v = volume (jenis)

D. Turbin Uap

1. Prinsip kerja turbin uap

Secara singkat prinsip kerja turbin uap adalah sebagai berikut:

- a. Uap masuk kedalam turbin melalui nosel. Di dalam nosel energi panas dari uap dirubah menjadi energi kinetis dan uap mengalami pengembangan. Tekanan uap pada saat keluar dari nosel lebih kecil dari pada saat masuk ke dalam nosel, akan tetapi sebaliknya kecepatan uap keluar nosel lebih besar dari pada saat masuk ke dalam nosel. Uap yang memancar keluar dari nosel diarahkan ke sudu-sudu turbin yang berbentuk lengkungan dan dipasang di sekeliling roda turbin. Uap yang mengalir melalui celah-celah antara sudu turbin itu dibelokkan ke arah mengikuti lengkungan dari sudu turbin. Perubahan kecepatan uap ini menimbulkan gaya yang mendorong dan kemudian memutar roda dan poros turbin.
- b. Jika uap masih mempunyai kecepatan saat meninggalkan sudu turbin berarti hanya sebagian yang energi kinetis dari uap yang diambil oleh sudu-sudu turbin yang berjalan. Supaya energi kinetis yang tersisa saat meninggalkan sudu turbin dimanfaatkan maka pada turbin dipasang lebih dari satu baris sudu gerak. Sebelum memasuki baris kedua sudu gerak. Maka antara baris pertama dan baris kedua sudu gerak dipasang satu baris sudu tetap (*guide blade*) yang

berguna untuk mengubah arah kecepatan uap, supaya uap dapat masuk ke baris kedua sudu gerak dengan arah yang tepat.

- c. Kecepatan uap saat meninggalkan sudu gerak yang terakhir harus dapat dibuat sekecil mungkin, agar energi kinetis yang tersedia dapat dimanfaatkan sebanyak mungkin. Dengan demikian efisiensi turbin menjadi lebih tinggi karena kehilangan energi relatif kecil.

2. Klasifikasi turbin uap

Turbin Uap dapat diklasifikasikan menjadi beberapa kategori yang berbeda berdasarkan pada konstruksinya, prinsip kerjanya dan menurut proses penurunan tekanan uap sebagai berikut:

a. Berdasarkan prinsip kerjanya

1) Turbin impuls

Turbin impuls atau turbin tahapan impuls adalah turbin sederhana berrotor satu atau banyak (gabungan) yang mempunyai sudu-sudu pada rotor itu. Sudu biasanya simetris dan mempunyai sudut masuk dan sudut keluar.

Ciri-ciri dari turbin impuls antara lain:

- Proses pengembangan uap/penurunan tekanan seluruhnya terjadi pada sudu diam/nosel.
- Akibat tekanan dalam turbin sama sehingga disebut dengan Tekanan Rata.

2) Turbin reaksi

Turbin reaksi mempunyai tiga tahap, yaitu masing-masingnya terdiri dari baris sudu tetap dan dua baris sudu gerak. Sudu bergerak turbin reaksi dapat dibedakan dengan mudah dari sudu impuls karena tidak simetris, karena berfungsi sebagai nosel

bentuknya sama dengan sudu tetap walaupun arahnya lengkungnya berlawanan.

Ciri-ciri turbin ini adalah:

- Penurunan tekanan uap sebagian terjadi di Nosel dan Sudu Gerak
- Adanya perbedaan tekanan di dalam turbin sehingga disebut Tekanan bertingkat.

b. Berdasarkan pada tingkat penurunan Tekanan dalam Turbin

1) Turbin Tunggal (*Single Stage*)

Dengan kecepatan satu tingkat atau lebih turbin ini cocok untuk daya kecil, misalnya penggerak kompresor, blower, dll.

2) Turbin Bertingkat (Aksi dan Reaksi)

Di sini sudu-sudu turbin dibuat bertingkat, biasanya cocok untuk daya besar. Pada turbin bertingkat terdapat deretan sudu 2 atau lebih. Sehingga turbin tersebut terjadi distribusi kecepatan/tekanan.

c. berdasarkan Proses Penurunan Tekanan Uap

1) Turbin Kondensasi.

Tekanan keluar turbin kurang dari 1 atm dan dimasukkan kedalam kompresor.

2) Turbin Tekanan Lawan.

Apabila tekanan sisi keluar turbin masih besar dari 1 atm sehingga masih dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin lain.

3) Turbin Ekstraksi.

Di dalam turbin ini sebagian uap dalam turbin diekstraksi untuk proses pemanasan lain, misalnya proses industri.

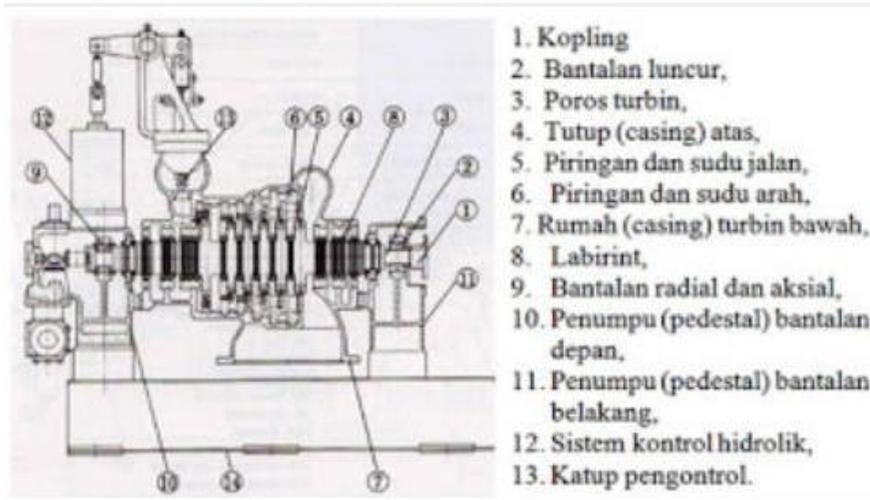
3. Komponen-komponen turbin uap

Komponen utama turbin uap terdiri dari:

- a. Rumah turbin (*casing*), umumnya terdiri dari belahan tutup atas dan rumah bagian bawah.
- b. Poros dan piringan sudu jalan (rotor).
- c. Piringan sudu arah dan nosel.
- d. Bantalan aksial dan radial.
- e. Penyekat (umumnya dari jenis labirin).
- f. Peralatan kontrol uap (*steam chest*).



Gambar 5.1 ilustrasi 3D turbin uap

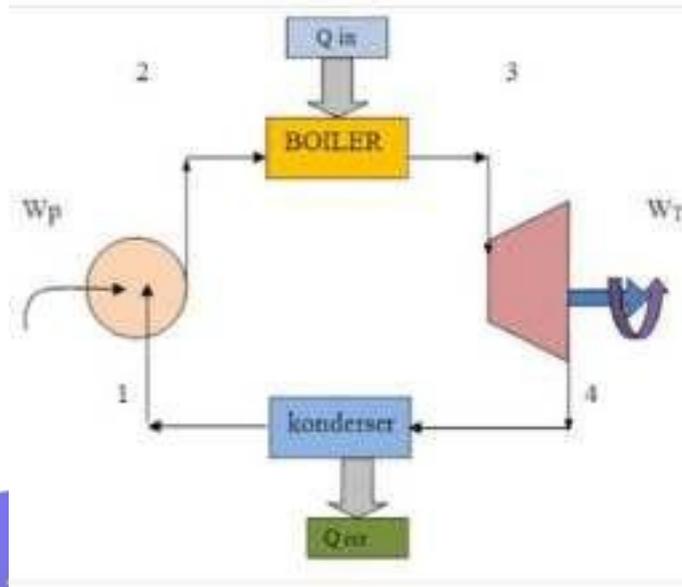


Gambar 5.2 Bagian-bagian turbin uap

4. Siklus turbin uap

Siklus Rankine

Siklus Rankine setelah diciptakan langsung diterima sebagai standar pembangkit daya yang menggunakan uap (*steam*). Siklus Rankine nyata yang digunakan dalam instalasi pembangkit daya jauh lebih rumit dari pada siklus Rankine ideal asli yang sederhana. Siklus Rankine merupakan siklus uap air maka paling baik siklus ini digambarkan pada diagram $P - v$ dan $T - s$ dengan garis yang menunjukkan uap jenuh dan cair jenuh. fluida kerjanya adalah (H_2O).



Gambar 5.3 Siklus rankine

Dalam kenyataan Siklus sistem Turbin Uap menyimpang dari Siklus Ideal (Siklus Rankine) antara lain karena faktor tersebut di bawah ini:

- Kerugian dalam pipa atau saluran fluida kerja, misalnya kerugian gesekan dan kerugian kalor ke atmosfer di sekitarnya.
- Kerugian tekanan dalam ketel uap.
- Kerugian energi di dalam turbin karena adanya gesekan pada fluida kerja dan bagian-bagian dari turbin.

E. Rangkuman

- Uap adalah gas atau bentuk lain dari air, yang diperoleh dari memanaskan air hingga suhu tertentu, hingga air mendidih. Dalam keadaan sesungguhnya, setiap saat, pada temperatur berapa pun, air selalu menguap.

2. Uap jenuh adalah uap yang mempunyai temperatur dan tekanan “seimbang”, atau mempunyai tekanan tertentu pada temperatur tertentu.
3. Uap basah adalah uap yang mengandung butir-butir air, yaitu terjadi selama proses perubahan dari air menjadi uap atau dari uap menjadi air, pada temperatur didih dan seimbang dengan tekanannya.
4. Uap panas lanjut adalah uap jenuh yang jika dipanaskan terus temperaturnya akan naik, yang terjadi baik pada tekanan tetap maupun berubah.
5. Dalam penerapannya konsep uap biasa diaplikasikan pada turbin uap.

F. Soal dan Latihan

1. Jelaskan apa yang dimaksud dengan uap!
2. Jelaskan tiga tahapan pembentukan uap!
3. Jelaskan secara singkat prinsip kerja dari turbin uap!
4. Gambarkan bagian-bagian dari turbin uap!
5. Jelaskan siklus dari turbin uap dan deskripsikan dalam diagram

p – V!

www.larispa.co.id

BAB VI

GAS IDEAL

Setelah selesai pembelajaran pada bab ini taruna/i diharapkan mampu memahami dan menjelaskan konsep gas ideal

A. Sifat Gas Ideal

Gas yang ideal adalah salah satu zat yang paling sederhana untuk dipelajari, karena memiliki hubungan properti sederhana. Gas ideal digunakan dalam banyak aplikasi teknik. Boleh dibilang, gas ideal paling penting adalah udara, yang merupakan zat yang bekerja di sejumlah besar sistem, termasuk mesin pembakaran internal.

1. Tidak ada interaksi antar molekul-molekul gas

Antar molekul gas tidak ada gaya tarik-menarik atau tolak-menolak meskipun jarak antar molekul sangat dekat. Interaksi yang terjadi antar molekul gas hanyalah tumbukan antar molekul yang sifatnya elastik sempurna. Setelah tumbukan tidak terjadi perubahan energi kinetik total molekul. Sebaliknya pada gas nyata ada tarikan antar molekul-molekulnya jika jarak antar molekul sangat dekat. Gaya tarik menarik inilah yang menyebabkan gas dapat mencair. Sedangkan gas ideal tidak dapat mencair.

Gas nyata mendekati sifat gas ideal jika jarak rata-rata antar molekul sangat jauh sehingga gaya tarik antar molekul dapat dianggap nol. Jarak antar molekul yang besar dapat dicapai dengan

memperkecil tekanan gas dan memperbesar suhunya (jauh di atas titik didih).

2. Molekul-molekul gas dapat dipandang sebagai partikel-partikel yang ukurannya dapat diabaikan (dapat dianggap nol).

Dengan anggapan ini ruang yang ditempati gas ideal dapat dianggap semuanya ruang kosong karena volume total semua partikel gas dapat dianggap nol. Kondisi ini juga dapat didekati oleh gas nyata pada tekanan rendah dan suhu tinggi di mana jarak rata-rata antar molekul jauh lebih besar daripada diameter molekul gas.

3. Dalam satu wadah partikel gas bergerak secara acak ke segala arah. Tumbukan antar molekul gas maupun tumbukan antar molekul gas dengan dinding wadah bersifat elastik sempurna sehingga energi kinetik total molekul-molekul gas selalu tetap.

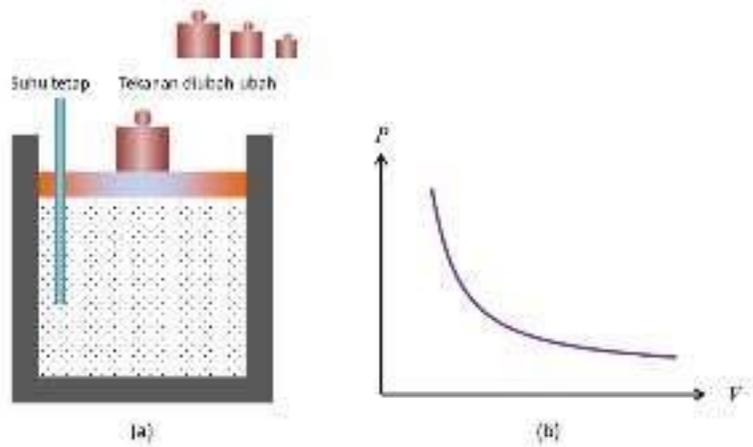
B. Hukum-hukum Gas

Setelah mendefinisikan sifat-sifat yang dimiliki gas ideal, mari kita membahas sifat-sifat makroskopik gas tersebut. Sifat makroskopik gas ideal diawali dengan kajian eksperimen dari beberapa ilmuwan.

1. Hukum Boyle

Robert Boyle mengukur sifat-sifat gas dalam keadaan yang mendekati keadaan gas ideal. Boyle mencapai kesimpulan bahwa:

“Pada suhu tetap maka volume gas berbanding terbalik dengan tekanannya”



Gambar 6.1 (a) Skema percobaan Boyle. (b) Hubungan antara volum dan tekanan gas pada suhu konstan.

Tekanan gas berbanding terbalik dengan volume

Pernyataan di atas dapat ditulis $V \propto 1/P$, dengan V volume dan P tekanan.

Hubungan ini dapat ditulis sebagai:

$$PV = C_1 \dots\dots\dots (6.1)$$

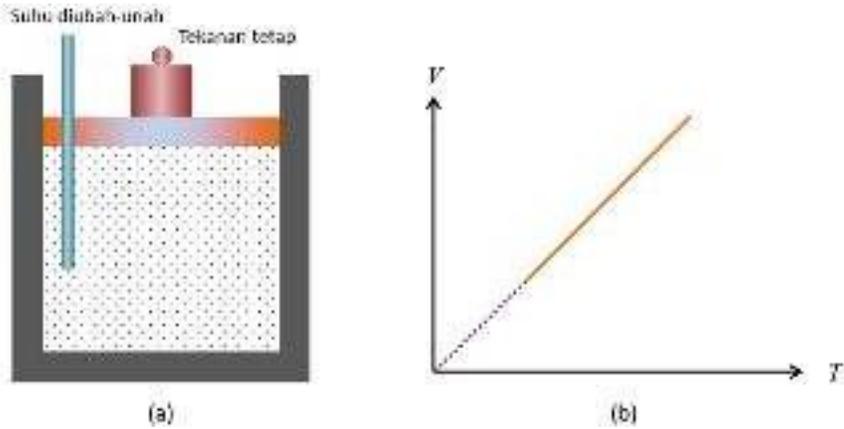
Dengan C_1 adalah konstanta

2. Hukum Charles

Charles mengamati sifat gas yang mendekati sifat gas ideal pada tekanan tetap. Ia mengamati perubahan volume gas pada berbagai suhu.

Charles sampai pada kesimpulan bahwa:

“Jika tekanan gas dipertahankan konstan maka volum gas berbanding terbalik dengan suhunya”



Gambar 6.2 (a) Skema percobaan Charles. (b) Hubungan antara suhu dan volum gas pada tekanan konstan.

Volum berbanding lurus dengan suhu sebagaimana diungkapkan oleh hukum Charles

Pernyataan di atas dapat ditulis $V \propto T$, dengan V volume dan T suhu.

Hubungan ini dapat ditulis sebagai:

$$V = CT \text{ atau } \frac{V}{T} = C \dots\dots\dots (6.2)$$

3. Hukum Gas Ideal www.larispa.co.id

Persamaan (6.1) sampai (6.2) merupakan hasil pengamatan pada gas yang mendekati sifat gas ideal. Tiap persamaan menghubungkan dua besaran gas, yaitu P dan V , P dan T , dan V dan T . Adakah suatu persamaan yang menghubungkan ke tiga besaran tersebut sekaligus? Jawabannya ada. Ternyata, tiga buah hukum gas yang tertera pada persamaan di atas dapat dilebur menjadi satu persamaan:

$$\frac{pV}{T} = C \dots\dots\dots (6.3)$$

C yang nilainya tetap untuk gas-gas yang menjadi bahan pembahasan dalam termodinamika selanjutnya disebut sebagai konstanta gas (R).

Dengan demikian persamaan (6.3) menjadi:

$$\frac{pV}{T} = R \text{ atau } PV = RT \dots\dots\dots (6.4)$$

Untuk persamaan gas umum secara matematis dapat ditulis:

$$PV = nRT \dots\dots\dots (6.5)$$

Di mana: p = tekanan mutlak dalam bar, atau N/m²

V = volume dalam m³

n = Jumlah mol gas (mol)

R = ketetapan gas (boleh tanpa satuan atau Nm/kg. °K)

T = temperatur mutlak, dalam °K(kelvin) atau + 273

C. Persamaan Gas Ideal

Dalam termodinamika, gas yang dipergunakan sebagai benda kerja (*working substance*) umumnya semuanya dianggap bersifat sebagai gas ideal. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat dari gas ideal hanya berbeda sedikit dari sifat-sifat gas yang sesungguhnya.

Gas ideal (gas sempurna) adalah gas di mana tenaga ikat molekul-molekulnya dapat diabaikan. Jadi setiap gas yang tenaga ikat molekul-molekulnya dapat diabaikan tergolong dalam gas ideal. Bila tenaga ikat molekul-molekulnya dapat diabaikan begitu saja maka bersifat gas riil.

Hubungan variabel keadaan p, V , dan T dari suatu zat dipengaruhi oleh sifat zat itu sendiri. Variabel keadaan p, V , dan T ini biasa disebut variabel keadaan sederhana, karena dapat diukur secara langsung. Hubungan variabel keadaan p, V , dan T dengan massa m disebut persamaan keadaan suatu zat. Persamaan ini secara matematika ditulis:

$$F(p, V, T, m) = 0$$

Bila pada persamaan di atas volume V diganti dengan volume jenis v , di mana $v = V/m$ maka persamaan keadaan zat hanya tergantung pada sifat zat itu sendiri. Bentuk persamaan keadaan menjadi:

$$F(p, v, T) = 0$$

Untuk dasar teori kinetik molekuler, persamaan keadaan gas ideal untuk satuan massa adalah sebagai berikut:

$$p \cdot v = R \cdot T$$

$$v = V/m, \text{ sehingga}$$

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

di mana: p = tekanan absolut

$$[N \cdot m/m^2]$$

v = volume jenis gas

$$[m^3/kg \cdot m]$$

V = volume gas sebenarnya

$$[m^3]$$

m = massa gas

$$[kg]$$

R = konstanta gas

$$[N \cdot m/kg \cdot ^\circ K], [kg \cdot m/kg \cdot ^\circ K]$$

T = suhu absolut gas

$$[^\circ K, ^\circ R]$$

Hubungan konstanta gas dengan konstanta gas universal:

$$R = R_0/M$$

di mana: R_0 = konstanta gas universal
 = 8314,9 [N.m/kg-mole.⁰K]
 = 848 [kg.m/kg-mole.⁰K]

M = berat molekul gas [kg/kg-mole]

Tabel Berat molekul dan konstanta gas ideal

G a s	Berat Molekul, M	konstanta gas R
	[kg/kg-mole]	[kg.m/kg. ⁰ K]
Udara (tanpa CO ₂)	28,964	29,77
Dioksid arang (CO ₂)	44,011	19,25
Zat air (H ₂)	2,016	420,7
Zat lemas (N ₂)	28,016	30,26
Zat asam (O ₂)	32,000	26,50
Helium (He)	4,002	212,0
Amoniak (NH ₃)	17,031	49,76
Metana (CH ₄)	16,043	52,89
Athylene (C ₂ H ₄)	28,054	30,25
Argon (A)	29,944	21,23

Contoh soal

Diketahui suatu gas ideal yang terdapat pada suatu sistem piston dan silinder dengan jumlah mol adalah 4 mol, tekanan 120 kPa, dan suhu 360 K, serta konstanta gas universal adalah 8,314 J/mol K.

Ditanya: Berapa volume gas tersebut.

Penyelesaian:

$$p = 120 \text{ kPa} = 120.000 \text{ Pa}$$

$$n = 4 \text{ mol T} = 360 \text{ K}$$

$$R_o = 8,314 \text{ J/mol K.}$$

Maka:

$$V = \frac{nR_oT}{p}$$
$$= \frac{4(8,314)(361)}{120.000} = 0,1 \text{ m}^3$$

D. Rangkuman

1. Gas yang ideal adalah salah satu zat yang paling sederhana untuk dipelajari, karena memiliki hubungan properti sederhana.
2. Tidak ada interaksi antar molekul-molekul gas.
3. Molekul-molekul gas dapat dipandang sebagai partikel-partikel yang ukurannya dapat diabaikan (dapat dianggap nol).
4. Dalam satu wadah partikel gas bergerak secara acak ke segala arah.
5. Hukum Boyle “Pada suhu tetap maka volume gas berbanding terbalik dengan tekanannya”.
6. Hukum Carles “Jika tekanan gas dipertahankan konstan maka volum gas berbanding terbalik dengan suhunya”.
7. Persamaan gas ideal $PV = nRT$.

E. Soal dan Latihan

1. Diketahui suatu udara (gas ideal) yang terdapat pada suatu sistem dalam piston dan silinder dengan volume $0,3 \text{ m}^3$, massa $0,5 \text{ kg}$, dan suhu 27 K , serta konstanta gas $29,77 \text{ [kg.m/kg.K]}$
Ditanya tekanan gas tersebut [kPa]?

2. Diketahui suatu gas ideal yang terdapat pada suatu sistem piston dan silinder dengan jumlah mol adalah 8 mol, tekanan 150 kPa, dan suhu 320 K, serta konstanta gas universal adalah 8,314 J/mol K
3. Jelaskan apa yang dimaksud dengan gas ideal!
4. Jelaskan perbedaan gas ideal dengan gas real!
5. Sebutkan dan jelaskan beberapa eksperimen yang dilakukan para ilmuwan mengenai gas ideal!



www.larispa.co.id

BAB VII

PROSES TERMODINAMIKA DAN KERJA

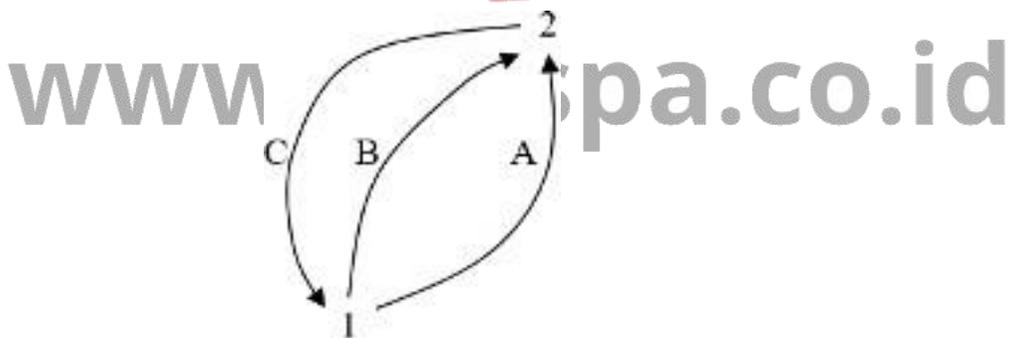
Setelah selesai pembelajaran pada bab ini taruna/i diharapkan:

- Mampu memahami dan menjelaskan proses termodinamika.
- Mampu mendeskripsikan dan menjelaskan aplikasi proses termodinamika terhadap suatu objek.

A. Proses Standar

Dalam Bab 7 kita akan mempelajari siklus termodinamika dalam sistem tertutup yang memodelkan mesin termal, termasuk mesin pembakaran internal. Fokusnya akan terletak pada pemahaman prinsip kerja siklus, dan pada parameter utama yang menentukan efisiensi mereka.

Ada dua macam proses yang dikenal pada termodinamika, yaitu: proses *reversible*, dan proses *irreversible*.



Gambar 7.1 Proses irreversible dan proses reversible

Untuk memperoleh semua itu kita perlu melakukan analisis pada proses yang dapat dibalik, yang memungkinkan analisis penuh. Ada sejumlah proses yang sering direalisasikan dalam sistem termodinamika: proses pada volume konstan, tekanan konstan, suhu konstan, atau proses adiabatik.

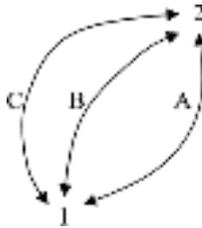
Proses termodinamika dapat berupa pemuaian (*ekspansi*), pemampatan (*kompresi*), pemanasan, ataupun pendinginan. Proses termodinamika dapat berlangsung secara *isobarik*, *isokorik*, dan *adiabatic*.

B. Proses Irreversible

Suatu siklus yang dikatakan *irreversible* bila sistem dan lingkungan tidak dapat dikembalikan ke keadaan awalnya, setelah proses berlangsung hampir seluruh proses adalah *irreversible*. Pada *irreversible*, proses yang berlangsung dari keadaan 1 ke 2 melalui lintasan A atau B, kemudian proses kembali dari keadaan 2 ke 1 melalui lintasan C. Proses dapat dilihat pada gambar 3.1.

C. Proses Reversible

Suatu proses yang dikatakan *reversible* bila sistem dan lingkungan dapat dikembalikan ke keadaan awalnya, setelah proses berlangsung. Proses *reversible* merupakan salah satu proses yang dapat berlangsung secara sempurna atau proses ini sangat sulit terjadi. Pada *reversible*, proses yang berlangsung dari keadaan 1 ke 2 melalui lintasan A, kemudian proses kembali dari keadaan 2 ke 1 melalui lintasan A lagi. Untuk kondisi yang ideal, maka banyak proses termodinamika menggunakan proses *reversible*.



Gambar 7.2 proses reversible dan irreversible

Macam-macam proses reversible, yaitu:

- proses reversible pada volume konstan (*isovolumetric/ isokorik*),
- proses reversible pada tekanan konstan (*isobarik*),
- proses reversible pada suhu konstan (*isotermik*),
- proses reversible politropis, dan
- proses reversible adiabatik

1. Proses Isokorik

Isokorik atau *isovolumetric* adalah proses perubahan gas pada volume tetap (V tetap). Persamaannya adalah:

$$\frac{P}{T} = f \quad \text{atau} \quad \frac{P_2}{T_2} = \frac{P_1}{T_1}$$

www.larispa.co.id



Gambar 7.3 Diagram proses isokorik

- Diagram proses *isokorik*. Grafiknya berupa garis lurus vertikal karena volumenya tidak berubah.
- Luas di bawah grafik adalah nol, menunjukkan bahwa tidak ada usaha yang dilakukan gas.

$$W_{12} = \int_1^2 PdV$$

$$V_1 = V_2 \text{ (} V \text{ konstan)}$$

Didapat:

$$W_{12} = pV \Big|_1^2$$

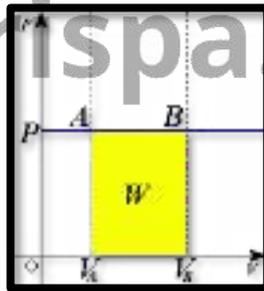
$$W_{12} = p(V_2 - V_1)$$

$$W_{12} = 0$$

2. Proses Isobarik

Adalah proses di mana perubahan keadaan gas pada tekanan tetap (*p konstan*). Persamaan keadaannya adalah:

$$\frac{V}{T} = C \text{ atau } \frac{V_2}{T_2} = \frac{V_1}{T_1}$$



7.4 Diagram proses isobarik

- Diagram proses isobarik. Daerah berwarna kuning sama dengan usaha yang dilakukan.
- Dalam persamaan tersebut, usaha akan bertanda positif jika sistem melakukan usaha pada lingkungan ($V_2 > V_1$). Dan sebaliknya, usaha akan bertanda negatif jika lingkungan melakukan usaha pada sistem ($V_2 < V_1$).

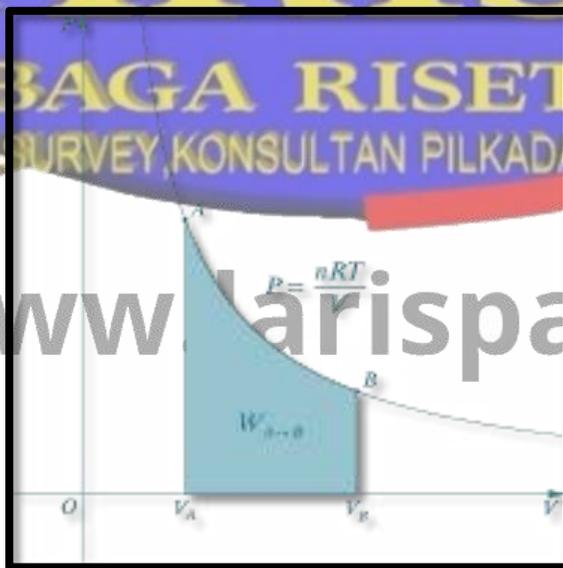
$$W = P\Delta T$$

3. Isotermal

Adalah proses perubahan keadaan gas pada suhu tetap (T konstan).

Persamaannya adalah:

$$PV = C \text{ atau } P_1V_1 = P_2V_2$$



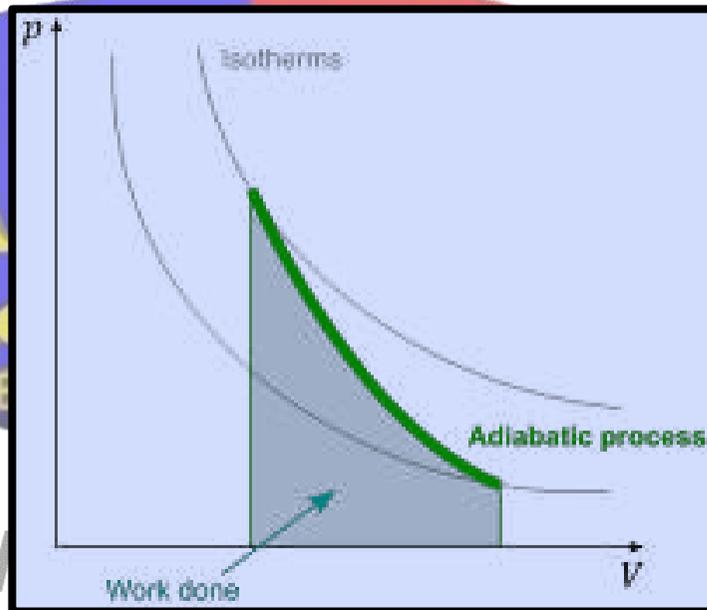
Gambar 7.5 Diagram proses isotermik

- Proses isotermik. Daerah berwarna biru menunjukkan besarnya usaha yang dilakukan gas.

$$W = nRT \ln \left(\frac{V_2}{V_1} \right)$$

4. Proses Adiabatik

Proses adiabatik adalah proses perubahan keadaan gas yang berlangsung tanpa ada kalor yang masuk ataupun keluar dari sistem ($Q=0$).



Gambar 7.6 Diagram proses adiabatik

Warna biru muda menunjukkan besarnya usaha yang dilakukan.

$$W = \frac{1}{\gamma - 1} (P_1V_1 - P_2V_2)$$

Contoh soal

Suatu mesin kalor sumber panas (*source*) 1200 K pada aliran energi panas 500kJ/s, panas yang terbuang 300 K (panas sekeliling 300 K), tenaga yang dihasilkan mesin kalor 180 kW. Hitunglah besar tenaga *reversible* dan *irreversible* dari aliran proses tersebut.

Penyelesaian:

$$\begin{aligned}W_{rev} &= \eta_{rev} \cdot Q_{in} = \left(1 - \frac{T_{out}}{T_{input}}\right) \cdot Q_{in} \\ &= \left(1 - \frac{300K}{1200K}\right) \cdot 500 \text{ kW} = 375 \text{ kW}.\end{aligned}$$

Energi yang hilang adalah $= W_{rev} - W_{out\text{-shaft}} = 375 - 180 = 195 \text{ kW}$.

Energi yang tidak dapat dimanfaatkan, $W_{mak} = W_{in} - W_{output}$

$$W_{mak} = 500 - 375 = 125 \text{ kW}.$$

$$\eta_c = 1 - \frac{T_k}{T_T} = \left(1 - \frac{300K}{1200K}\right) = 0,75 = 75 \%$$

$$\eta = \frac{W_{out\text{-shaft}}}{W_{in}} \times 100\% = \frac{180}{500} \times 100\% = 36 \%$$

$$\eta_E = \frac{W_{ab}}{W_{mak}} \times 100\% = \frac{180}{375} \times 100\% = 48 \%$$

D. Kerja

1. Definisi Kerja

Suatu sistem bersama dengan lingkungannya membentuk suatu sistem yang diisolasi, jadi, apabila terdapat penambahan energi terhadap sistem tersebut, maka haruslah ada penurunan energi dari lingkungan, yang sama besarnya (dengan penambahan energi tersebut) agar kekekalan/kelestarian energi tetap dipertahankan. Jadi, interaksi dapat

dipandang sebagai proses perpindahan energi, sedangkan kerja merupakan salah satu dari berbagai mekanisme bagi perpindahan energi tersebut. Pada termodinamika, kerja selalu merepresentasikan sebagai pertukaran energi antara sistem dan lingkungan.

Kerja (*work*) seperti halnya panas adalah suatu bentuk interaksi antara sistem dan lingkungan. Seperti pada penjelasan sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa jika suatu energi dapat melintasi batas sistem adalah bukan panas dapat dipastikan bahwa bentuk energi tersebut adalah kerja. Lebih spesifik kerja dapat diartikan sebagai transfer energi yang berhubungan dengan gaya yang menempuh sebuah jarak. Seperti halnya panas, kerja juga mempunyai tanda konvensi. Kerja yang dilakukan sistem adalah positif (+) dan jika sistem dikenai kerja maka kerja bertanda negatif (-)

2. Perpindahan energi sebagai kerja

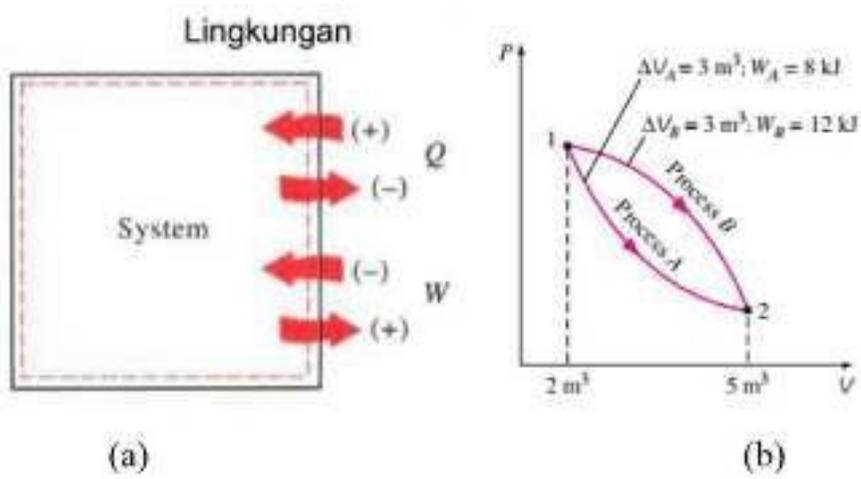
Kerja W yang dikenakan terhadap sistem, atau dihasilkan sistem merupakan hasil kali dari gaya F dengan perubahan jarak dx . Dan dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut:

$$W = \int F dx$$

Heat transfer dan kerja adalah interaksi antara sistem dengan lingkungan dan terdapat beberapa kesamaan antara keduanya:

- Keduanya merupakan fenomena batas sistem; hanya dikenali ketika melintasi batas sistem.
- Keduanya merupakan fenomena *transient* artinya sebuah sistem tidak bisa memiliki panas atau kalor.
- Keduanya selalu terkait dengan proses, bukan *state*.

d. Keduanya merupakan “*path function*”, diferensialnya disebut diferensial tidak eksak, δQ dan δW . berbeda dengan properti yang merupakan *point function*, diferensialnya disebut diferensial eksak, misalnya du , dh , dT , dP dan lain -lain.



Gambar 7.7 (a) sistem tertutup; (b) kerja dan panas sebagai fungsi lintasan

Pada termodinamika teknik seringkali tanda sangat berpengaruh pada peralatan/mesin, seperti pada motor bakar dan turbin yang menghasilkan kerja. Tanpa konvensional yang akan digunakan di sini adalah sebagai berikut:

$W > 0$; menunjukkan kerja yang dihasilkan sistem

$W < 0$; menunjukkan kerja yang dikenakan kepada sistem

3. Kerja Ekspansi

Bila suatu kerja yang dihasilkan dari suatu sistem yang tertutup yang terdiri dari piston dan silinder (lihat Gambar 7.8) yang berisi gas (atau likuida) di mana gas bisa berekspansi. Selama proses, maka tekanan gas akan mendesak piston. Bila p adalah tekanan yang terjadi pada permukaan antara gas dan piston. A adalah luas penampang piston, dan dx adalah perubahan jarak, maka kerja yang dihasilkan oleh sistem tersebut adalah:

$$dW = pA dx$$

Bila,

$$pA = F$$

Dan

$$A dx = dV$$

Maka

$$dW = pA dx$$



www.larispa.co.id

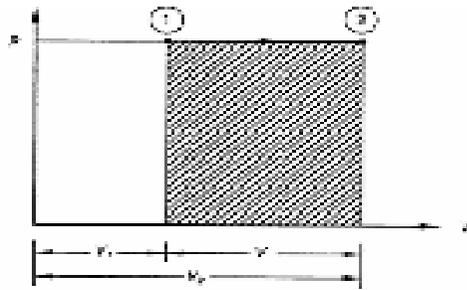
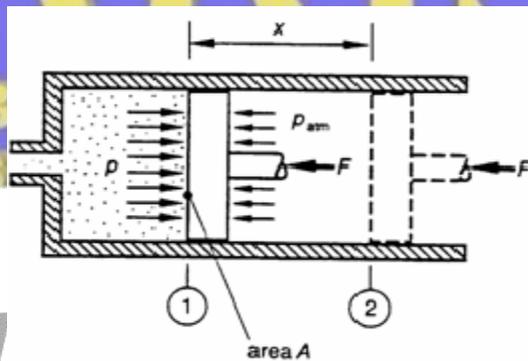
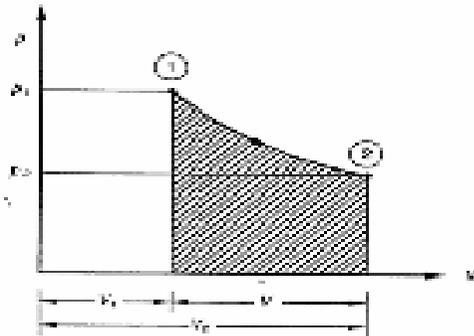


Diagram for constant pressure expansion:



www.termodinamika.co.id

Gambar 7.9 Proses diagam p - V tekanan konstan dan pada umumnya

Ekspansi terjadi ketika volume zat bertambah ($V_2 > V_1$)

Kompresi terjadi ketika volume zat berkurang ($V_2 < V_1$)

Contoh soal

Diketahui suatu motor bakar torak, dengan data sebagai berikut:

- fluida kerja adalah gas ideal
- tekanan awal ekspansi adalah 50 bar
- temperatur awal ekspansi adalah 1323°C
- volume awal ekspansi adalah 50.000 mm³
- gas berekspansi dengan perbandingan volume sebesar 14
- proses adiabatik isentropik
- perbandingan panas spesifik adalah 1,25
- konstanta gas universal sebesar 300 J/kgK

Ditanya:

- a) Kerja total dan kerja spesifik
- b) Panas total dan panas spesifik

Penyelesaian:

- a) Kerja total dan kerja spesifik

Volume akhir ekspansi

$$\begin{aligned}V_2 &= r_v V_1 \\ &= (14)(50.000) \\ &= 700.000 \text{ mm}^3\end{aligned}$$

www.larisp.co.id

Konstanta panas pada volume konstan (C_v)

$$\begin{aligned}C_v &= \frac{R}{(k-1)} \\ &= \frac{300}{1,25 - 1} \\ &= 1200 \text{ J/kgK}\end{aligned}$$

Tekanan akhir ekspansi (p_2)

$$\begin{aligned} p_2 &= \left(\frac{1}{r_v}\right) p_1 \\ &= \left(\frac{1}{141,25}\right) 50 \\ &= 1,84633 \text{ Bar} \end{aligned}$$

Massa fluida kerja (m)

$$\begin{aligned} m &= \frac{p_1 V_1}{RT_1} \\ &= 5,208333 \times 10^{-4} \text{ kg} \end{aligned}$$

Suhu akhir ekspansi (T_2)

$$\begin{aligned} T_2 &= \left(\frac{1}{r_v}\right) T_1 \\ &= \left(\frac{1}{141,25-1}\right) 1.600 \\ &= 827,1571 \text{ K} \end{aligned}$$

Kerja total dan kerja spesifik:

$$w_{12} = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{k-1} = 483,0268 \text{ J/kg}$$

www.larispaco.id

Kerja total,

$$W_{12} = m w_{12} = 0,2515764 \text{ J}$$

b) Panas total dan panas spesifik

Karena prosesnya adalah adiabatik, maka panas total (Q_{12} dan

panas spesifik q_{12} sama dengan nol.



www.larispaco.id

E. Rangkuman

1. Ada dua macam proses yang dikenal pada termodinamika, yaitu: proses *reversible*, dan proses *irreversible*.
2. Suatu siklus yang dikatakan *irreversible* bila sistem dan lingkungan tidak dapat dikembalikan ke keadaan awalnya.
3. Suatu proses yang dikatakan *reversible* bila sistem dan lingkungan dapat dikembalikan ke keadaan awalnya, setelah proses berlangsung.
4. Proses termodinamika dapat berupa pemuaian (*ekspansi*), pemampatan (*kompresi*), pemanasan, ataupun pendinginan. Proses termodinamika dapat berlangsung secara *isobarik*, *isokorik*, dan *adiabatic*.
5. Macam proses *reversible*, yaitu: proses *reversible* pada volume konstan (*isovolumetric/ isokorik*), proses *reversible* pada tekanan konstan (*isobarik*), proses *reversible* pada suhu konstan (*isotermik*), proses *reversible politropis*, dan proses *reversible adiabatis*.
6. Kerja (*work*) seperti halnya panas adalah suatu bentuk interaksi antara sistem dan lingkungan.
7. Kerja dapat diartikan sebagai transfer energi yang berhubungan dengan gaya yang menempuh sebuah jarak. Seperti halnya panas, kerja juga mempunyai tanda konvensi. Kerja yang dilakukan sistem adalah positif (+) dan jika sistem dikenai kerja maka kerja bertanda negatif (-).

F. Soal dan Latihan

1. Apa pengertian dari proses termodinamika?
2. Sebutkan dan jelaskan macam-macam proses termodinamika!

3. Diketahui uap air yang berada di dalam suatu sistem piston dan silinder dengan massa sebesar 5 kg. Uap tersebut berekspansi dari keadaan 1, dengan energi dalam spesifik (per satuan massa) sebesar $u_1 = 2709,9 \text{ kJ/kg}$, ke keadaan 2 dengan energi dalam spesifik sebesar $u_2 = 2659,6 \text{ kJ/kg}$. Selama proses ekspansi berlangsung, ada perpindahan energi yang dimasukkan ke dalam sistem sebesar 80 kJ. Dan kerja yang dihasilkan dari baling-baling sebesar 18,5 kJ. Diketahui pula bahwa tidak ada perubahan energi kinetik dan potensial dari sistem. Berapakah besar perubahan energi sebagai kerja pada piston, selama proses ekspansi?
4. Jelaskan definisi kerja berdasarkan sudut pandang termodinamika!
5. Jelaskan perbedaan antara proses *reversible* dengan proses *irreversibel*!



www.larispa.co.id

BAB VIII

HUKUM II TERMODINAMIKA DAN SIKLUS DAYA IDEAL

Setelah selesai pembelajaran pada bab ini taruna/i diharapkan:

- Mampu memahami dan menjelaskan hukum II termodinamika.
- Mampu mendeskripsikan dan menjelaskan aplikasi Hukum II termodinamika serta penerapannya pada siklus-siklus dalam mesin-mesin kerja.

A. Hukum II Termodinamika

Pada bab-bab sebelumnya telah dibahas mengenai Hukum termodinamika I yang menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan dan dimusnahkan tetapi hanya dapat diubah dari satu bentuk ke bentuk yang lain.

Prinsip tersebut juga di kenal dengan istilah *konservasi energi*, yang berlaku untuk sistem tertutup dan terbuka.

Coba perhatikan secangkir kopi panas ditaruh dalam suatu ruangan, maka akan dengan sendirinya kopi tersebut akan menjadi dingin. Dalam kasus tersebut, hukum termodinamika pertama telah terpenuhi karena energi yang dilepaskan kopi sebanding dengan energi yang diterima oleh lingkungan, tetapi jika dibalik secangkir kopi tidak menjadi panas dalam sebuah ruangan yang dingin.

Dari contoh di atas jelas bahwa proses berjalan dalam suatu arah tertentu tidak sebaliknya. Suatu proses yang telah memenuhi hukum

termodinamika I, belum tentu dapat berlangsung. Diperlukan suatu prinsip selain hukum termodinamika I untuk menyatakan bahwa suatu proses dapat berlangsung, yang dikenal dengan hukum termodinamika II. Atau dengan kata lain suatu proses dapat berlangsung jika memenuhi hukum termodinamika I dan termodinamika II.

Kegunaan hukum termodinamika II tidak terbatas hanya pada mengidentifikasi arah dari suatu proses, tetapi juga bisa untuk mengetahui kualitas energi (hukum I berhubungan dengan kuantitas energi dan perubahan bentuk energi tanpa memandang kualitas energi); menentukan batas teoretis unjuk kerja suatu sistem.

Sebelum membahas mengenai hukum termodinamika II, perlu diketahui istilah *reservoir* energi panas (*thermal energy reservoir*) atau lebih umum disebut dengan *reservoir*. *Reservoir* mempunyai pengertian adalah suatu benda/zat yang mempunyai kapasitas energi panas (massa x panas jenis) yang besar. Artinya reservoir dapat menyerap/ menyuplai sejumlah panas yang tidak terbatas tanpa mengalami perubahan temperatur. Reservoir yang menyuplai energi disebut dengan *source* dan reservoir yang menyerap energi disebut dengan *sink*.

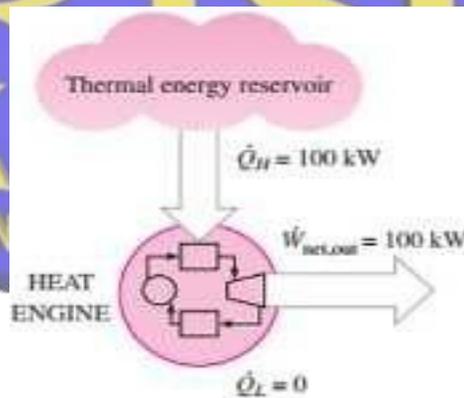
Hukum kedua termodinamika terkait dengan entropi. Hukum ini menyatakan bahwa total entropi dari suatu sistem termodinamika terisolasi cenderung untuk meningkat seiring dengan meningkatnya waktu, mendekati nilai maksimumnya. Hukum keseimbangan/kenaikan entropi: Panas tidak bisa mengalir dari material yang dingin ke yang lebih panas secara spontan.

Melihat karakteristik dari sebuah mesin kalor, maka tidak ada sebuah mesin kalor yang dapat mengubah semua panas yang diterima dan kemudian mengubahnya semua menjadi kerja.

Terdapat dua pernyataan dari hukum termodinamika kedua, yaitu pernyataan Kelvin-Planck, yang diperuntukkan untuk mesin kalor, dan pernyataan Clausius, yang diperuntukkan untuk mesin pendingin/pompa kalor. Pernyataan oleh Kelvin-Planck yang berbunyi:

“Adalah tidak mungkin untuk sebuah alat/mesin yang beroperasi dalam sebuah siklus yang menerima panas dari sebuah reservoir tunggal dan memproduksi sejumlah kerja bersih”.

Pernyataan Kelvin-Planck (hanya diperuntukkan untuk mesin kalor) di atas dapat juga diartikan sebagai tidak ada sebuah mesin/alat yang bekerja dalam sebuah siklus menerima panas dari reservoir bertemperatur tinggi dan mengubah panas tersebut seluruh menjadi kerja bersih. Atau dengan kata lain tidak ada sebuah mesin kalor yang mempunyai efisiensi 100%.



Gambar 8.1 Hukum II Termodinamika menurut Kelvin-Planck

Pernyataan Clausius berbunyi: “Adalah tidak mungkin membuat sebuah alat yang beroperasi dalam sebuah siklus tanpa adanya efek dari luar untuk mentransfer panas dari media bertemperatur rendah ke media

bertemperatur tinggi”. Telah diketahui bahwa panas akan berpindah dari media bertemperatur tinggi ke media bertemperatur rendah. Pernyataan Clausius tidak mengimplikasikan bahwa membuat sebuah alat siklus yang dapat memindahkan panas dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur tinggi adalah tidak mungkin dibuat. Hal tersebut mungkin terjadi asalkan ada efek luar yang dalam kasus tersebut dilakukan/diwakili oleh kompresor yang mendapat energi dari energi listrik misalnya.

B. Mesin Kalor

Seperti kita ketahui kerja dapat dikonversi langsung menjadi panas. Seperti misalnya pengaduk air. Kerja dapat kita berikan pada poros pengaduk sehingga temperatur naik. Tetapi sebaliknya, jika kita memberikan panas pada air, maka poros tidak akan berputar. Atau dengan kata lain, jika memberikan panas pada air, maka tidak akan tercipta kerja (poros). Dari pengamatan di atas, konversi panas menjadi kerja bisa dilakukan tetapi diperlukan sebuah alat bantu yang dinamakan dengan mesin kalor (*heat engines*).

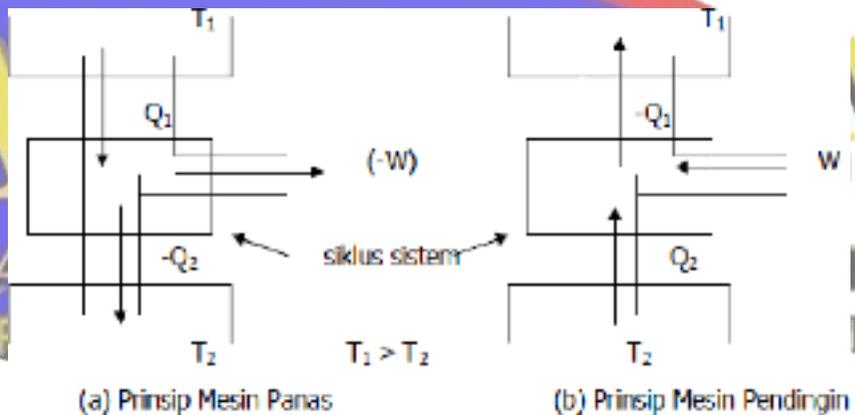
Sebuah mesin kalor dapat dikarakteristikan sebagai berikut:

1. Mesin kalor menerima panas dari *source* bertemperatur tinggi (energi matahari, *furnace* bahan bakar, reaktor nuklir, dll.).
2. Mesin kalor mengonversi sebagian panas menjadi kerja (umumnya dalam bentuk poros yang berputar).
3. Mesin kalor membuang sisa panas ke *sink* bertemperatur rendah.
4. Mesin kalor beroperasi dalam sebuah siklus.

Ciri utama mesin kalor atau mesin panas adalah sebagai berikut:

1. Berlangsung secara berulang (siklus).
2. Hasil yang diharapkan dari siklus mesin ini adalah usaha mekanik.
3. Usaha ini merupakan hasil konversi dari kalor yang diserap dari reservoir panas.
4. Tidak semua kalor yang keluar dan diambil dari reservoir panas dapat dikonversikan menjadi usaha mekanik, ada yang dibuang ke reservoir dingin dalam bentuk kalor pada suhu rendah.

Sifat-sifat tadi secara skematik dikemukakan dalam diagram gambar:



Gambar 8.2 (a) prinsip kerja mesin panas; (b) prinsip kerja mesin pendingin

Perhatikan pada gambar (a), Q_1 adalah total kalor yang diambil dari reservoir panas selama satu siklus, bertanda positif karena kalor masuk ke dalam sistem (siklus). Sedangkan W adalah usaha yang dilakukan oleh

sistem selama satu siklus, bertanda negatif karena sistem melakukan usaha terhadap lingkungan. Selanjutnya kalor Q_2 adalah kalor yang mengalir dari sistem ke reservoir dingin. Untuk mesin pendingin, prinsip kerjanya adalah merupakan kebalikan dari mesin pemanas, seperti ditunjukkan pada gambar (b) Tanda Q_1, Q_2 dan W pada gambar ini adalah kebalikan dari gambar (a). Pada mesin pendingin hasil yang diharapkan adalah pengambilan pada suhu rendah (yaitu dari benda-benda yang didinginkan). Perlu diperhatikan, bahwa untuk memindahkan kalor sebesar Q_2 dari reservoir dingin ke reservoir panas dalam satu siklus diperlukan adanya usaha dari luar sebesar $+W$ (tanda positif karena usaha dilakukan terhadap sistem). Usaha sebesar W ini pada akhirnya akan masuk bersama-sama dengan kalor Q_2 ke reservoir panas sebagai kalor dengan jumlah total Q_1 . Parameter penting pada kedua macam alat ini adalah *efisiensi* (η) bagi mesin panas dan koefisien daya guna (k) bagi mesin pendingin.

Efisiensi mesin secara umum dapat dinyatakan:

$$Efisiensi = \frac{\text{hasil yang diinginkan}}{\text{yang harus disediakan}}$$

Atau

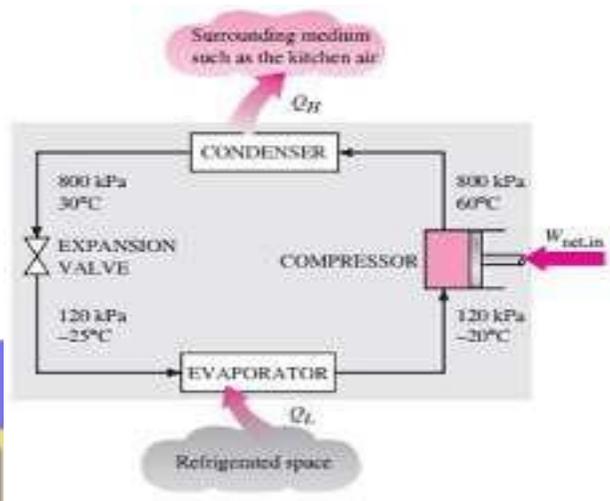
$$\eta = -\frac{W}{Q_1}$$

www.larispacorp.com

C. Mesin Pendingin dan Pompa Kalor (*Refrigerators and Heat Pumps*)

Mesin pendingin, sama seperti mesin kalor, adalah sebuah alat siklus. Fluida kerjanya disebut dengan refrigeran. Siklus refrigerasi yang paling banyak digunakan adalah daur refrigerasi kompresi-uap yang

melibatkan empat komponen: kompresor, kondensor, katup ekspansi dan evaporator.



Gambar 8.3 komponen-komponen mesin pendingin

Refrigeran memasuki kompresor sebagai sebuah uap dan dikompres ke tekanan kondensor. Refrigeran meninggalkan kompresor pada temperatur yang relatif tinggi dan kemudian didinginkan dan mengalami kondensasi dikondensor yang membuang panasnya lingkungan. Refrigeran kemudian memasuki tabung kapiler di mana tekanan refrigeran turun drastis karena efek *throttling*. Refrigeran bertemperatur rendah kemudian memasuki evaporator, di mana di sini refrigeran menyerap panas dari ruang refrigerasi dan kemudian refrigeran kembali memasuki kompresor.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa parameter untuk mesin pendingin adalah koefisien daya guna (k), secara matematis dirumuskan:

$$k = \frac{Q_2}{W}$$

Besarnya koefisien ini bergantung pada keadaan detail dan masing-masing proses yang membentuk siklus atau daur. Dengan mengingat proses yang dijalani sistem adalah proses lingkaran, sehingga dapat dinyatakan $\Delta U = 0$, sebab itu $W = -Q = -(Q_1 - Q_2)$. Sehingga diperoleh:

Efisiensi untuk mesin panas:

$$\eta = -\frac{W}{Q_1}$$

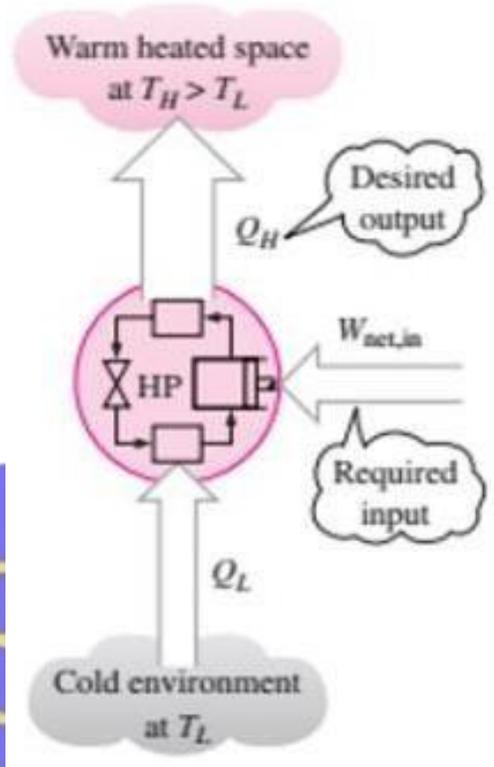
atau

$$\eta = -\left(\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1}\right) \text{ sehingga } \eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$$

Koefisien daya guna mesin pendingin adalah:

$$k = \frac{Q_2}{W} \text{ Sehingga } k = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2}$$

Pompa kalor adalah suatu alat yang mentransfer panas dari media bertemperatur rendah ke media bertemperatur tinggi. Tujuan dari mesin pendingin adalah untuk menjaga ruang refrigerasi tetap dingin dengan menyerap panas dari ruang tersebut. Tujuan pompa kalor adalah menjaga ruangan tetap bertemperatur tinggi. Proses pemberian panas ruangan tersebut disertai dengan menyerap panas dari sumber bertemperatur rendah.

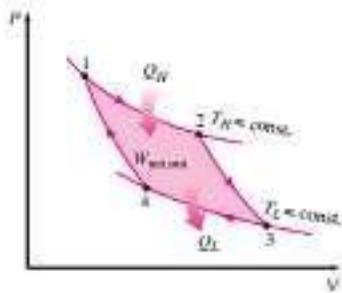


Gambar 8.4 Bagan kerja pompa kalor

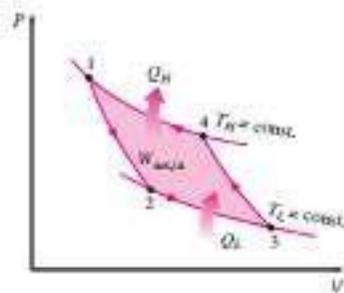
D. Siklus Carnot

1. Siklus Carnot

Siklus Carnot adalah sebuah siklus *reversible*, yang pertama kali dikemukakan oleh Sadi Carnot pada tahun 1824, seorang insinyur Perancis. Mesin teoretis yang menggunakan siklus Carnot disebut dengan Mesin Kalor Carnot. Siklus Carnot yang dibalik dinamakan dengan siklus Carnot terbalik dan mesin yang menggunakan siklus Carnot terbalik disebut dengan Mesin refrigerasi Carnot.



a) Digram P-v siklus carnot



b) Digram P-v siklus carnot terbalik

Gambar 8.5 Siklus Carnot

Urutan proses pada siklus Carnot adalah sebagai berikut:

- Ekspansi *isothermal reversible* (proses 1-2, $T_H = \text{konstan}$)
- Ekspansi *adiabatik reversible* (proses 2-3, T_H ke T_L)
- Kompresi *isothermal reversible* (proses 3-4, $T_L = \text{konstan}$)
- Kompresi *adiabatik reversible* (proses 4-1, T_L ke T_H)

2. Prinsip Carnot

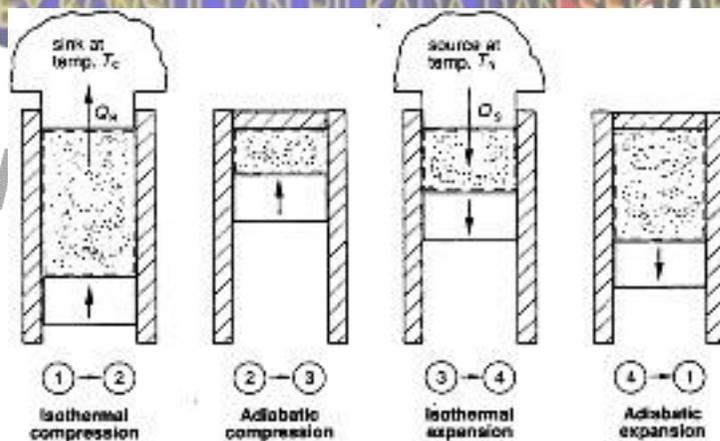
Hukum termodinamika kedua meletakkan pembatasan pada operasi peralatan siklus seperti yang diekspresikan oleh Kelvin-Planck dan Clausius. Sebuah mesin kalor tidak dapat beroperasi dengan menukarkan panas hanya dengan reservoir tunggal, dan refrigerator tidak dapat beroperasi tanpa adanya input kerja dari sebuah sumber luar.

3. Mesin Kalor Carnot

Ada beberapa proses yang berlangsung pada siklus Carnot ini, yaitu:

- Proses 1–2: yaitu proses kompresi yang berlangsung secara isothermal (suhu konstan). Pada proses ini terjadi pembuangan gas hasil pembakaran pada suhu konstan.
- Proses 2–3: proses kompresi yang berlangsung secara adiabatik (tidak ada panas yang dipindahkan ke dalam sistem maupun yang dikeluarkan dari sistem) dan udara serta bahan bakar dimanfaatkan secara adiabatik.
- Proses 3–4: proses ekspansi yang berlangsung secara isothermal (pada suhu konstan). Pada proses ini terjadi pemasukan panas pada suhu konstan.
- Proses 4–1: proses ekspansi yang berlangsung secara isentropik. Gas hasil pembakaran berekspansi secara isentropik dan pada proses ini terjadi langkah kerja.

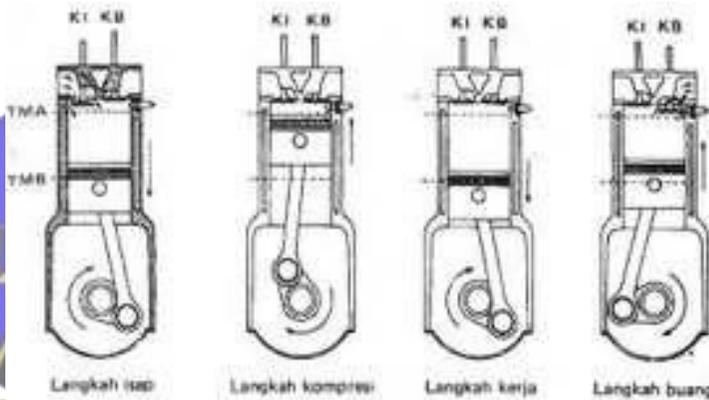
Keempat proses tersebut dapat diperlihatkan pada Gambar:



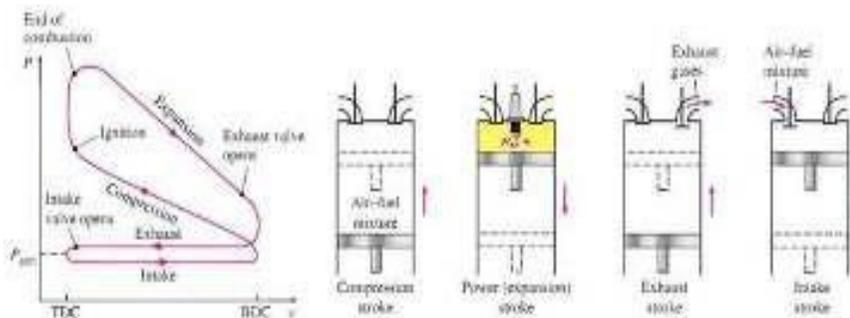
Gambar 8.6 sistem kerja mesin kalor pada siklus Carnot

E. Siklus Otto

Siklus Otto adalah siklus ideal untuk mesin torak dengan pengapian-nyala bunga api pada mesin pembakaran dengan sistem pengapian-nyala ini, campuran bahan bakar dan udara dibakar dengan menggunakan percikan bunga api dari busi. Piston bergerak dalam empat langkah (disebut juga mesin dua siklus) dalam silinder, sedangkan poros engkol berputar dua kali untuk setiap siklus termodinamika. Mesin seperti ini disebut mesin pembakaran internal empat langkah.



Gambar 8.7 Motor bensin 4 langkah

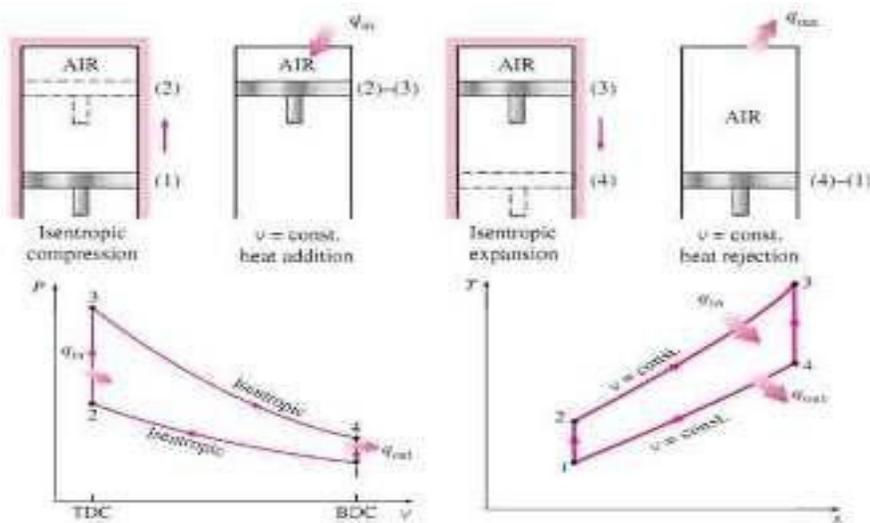


Gambar 8.8 Sistem kerja mesin bensin (otto)

Skema berikut memperlihatkan setiap langkah piston dan pernyataan prosesnya pada diagram P-v untuk kondisi aktual mesin pengapian-nyala empat langkah. Dari skema di atas tersebut, kondisi awal kedua katup isap dan buang dalam keadaan tertutup sedangkan piston pada posisi terendahnya yaitu pada titik mati bawah (*Bottom Dead Center/BDC*). Selama langkah kompresi, piston bergerak ke atas di mana campuran udara-bahan bakar dikompresi. Sesaat sebelum piston mencapai posisi tertingginya yaitu titik mati atas (*Top Dead Center/TDC*) percikan bunga api ditimbulkan oleh busi sehingga membakar campuran yang kemudian menaikkan tekanan dan temperatur sistem.

Tekanan gas yang tinggi tersebut mendorong piston ke bawah sehingga menyebabkan poros engkol berputar, selama langkah usaha (langkah ekspansi) ini dihasilkan kerja keluaran yang bermanfaat. Pada ujung langkah ini, piston pada posisi terendahnya untuk menyelesaikan siklus yang pertama (mesin satu siklus), sehingga isi silindernya berupa sisa pembakaran. Piston bergerak kembali ke atas membersihkan gas buang melalui katup buang (langkah pembuangan), kemudian piston turun kembali ke bawah mengambil campuran udara-bahan bakar yang baru melalui katup isap (langkah isap). Sebagai catatan bahwa tekanan dalam silinder di atas tekanan lingkungan saat langkah buang dan berada di bawah tekanan lingkungan saat langkah isap.

Analisis termodinamika untuk kondisi aktual tersebut dapat disederhanakan bila digunakan asumsi udara-standar yang berlaku sebagai gas-ideal. Karena itu, siklus untuk kondisi aktual dimodifikasi menjadi sistem tertutup yang disebut sebagai siklus Otto ideal. Skema dan pernyataan prosesnya pada diagram $P - v$ dan $T - s$ seperti terlihat pada gambar berikut:



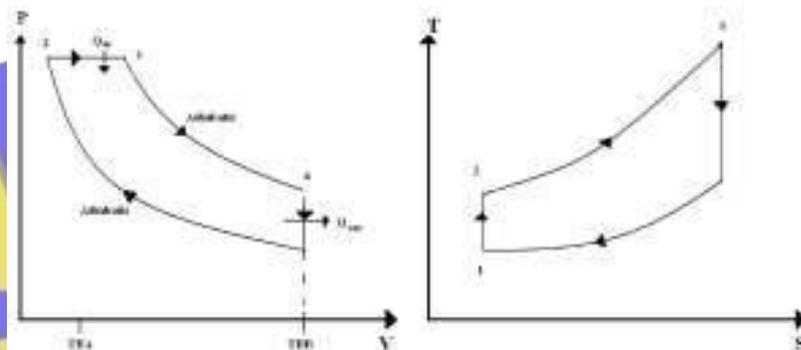
Gambar 8.9 Skema dan proses pada diagram P - v dan T - s untuk siklus otto

F. Siklus Diesel

Siklus diesel yang merupakan siklus dari mesin penyalan kompresi (*compression-ignition*) ditemukan oleh Rudolph Diesel pada tahun 1890. Perbedaan mesin diesel dengan mesin Otto terletak pada permulaan pembakarannya. Pada motor bensin, campuran udara-bensin dikompresi di bawah temperatur pembakaran bahan bakar dan proses pembakarannya dimulai dari percikan bunga api pada busi. Sedangkan pada mesin diesel, udara murni diisap dan dikompresi di atas temperatur pembakaran bahan bakar. Jadi, pada mesin diesel tidak terdapat karburator dan busi tetapi diganti oleh injektor bahan bakar.

Pada mesin bensin, yang dikompresi adalah campuran udara-bensin dan besarnya perbandingan kompresi dibatasi oleh temperatur terbakarnya bensin. Pada mesin diesel, yang dikompresi adalah udaranya saja sehingga mesin diesel dapat didesain pada perbandingan kompresi yang tinggi,

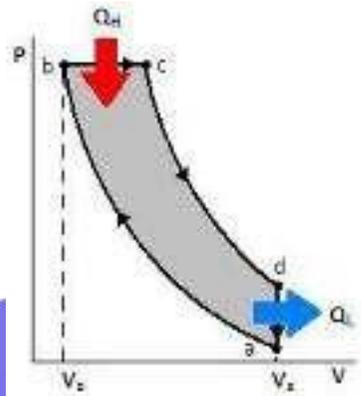
antara 12 sampai 24. Proses injeksi bahan bakar dimulai pada saat piston hampir mencapai titik mati atas dan masih berlangsung beberapa saat setelah piston mencapai TMA. Oleh karena itu, proses pembakaran pada mesin diesel terjadi pada interval waktu yang relatif panjang dibanding dengan mesin bensin. Dengan interval waktu pembakaran yang relatif panjang tersebut, maka proses pemasukan panas didekati (*approximated*) sebagai proses tekanan konstan, sedangkan tiga proses lainnya sama dengan mesin bensin.



Gambar 8.10 Diagram P - v dan T - s untuk siklus diesel

Prinsip kerja mesin diesel mirip seperti mesin bensin. Perbedaannya terletak pada langkah awal kompresi atau penekanan adiabatik (penekanan adiabatik = penekanan yang dilakukan dengan sangat cepat sehingga kalor atau panas tidak sempat mengalir menuju atau keluar dari sistem. Sistem untuk kasus ini adalah silinder. Kalau dalam mesin bensin, yang ditekan adalah campuran udara dan uap bensin, maka dalam mesin diesel yang ditekan hanya udara saja. Penekanan secara adiabatik menyebabkan suhu dan tekanan udara meningkat. Selanjutnya injektor atau penyuntik menyemburkan solar. Karena suhu dan tekanan udara sudah sangat tinggi

maka ketika solar disemprotkan ke dalam silinder dan solar langsung terbakar tidak perlu memakai busi lagi. Perhatikan besarnya tekanan yang ditunjukkan pada diagram di bawah.



Gambar 8.11 siklus diesel ideal atau sempurna

Diagram ini menunjukkan siklus diesel ideal atau sempurna. Mula-mula udara ditekan secara adiabatik (a-b), lalu dipanaskan pada tekanan konstan - penyuntik atau injektor menyemprotkan solar dan terjadilah pembakaran (b-c), gas yang terbakar mengalami pemuai adiabatik (c-d), pendinginan pada volume konstan - gas yang terbakar dibuang ke pipa pembuangan dan udara yang baru, masuk ke silinder (d-a).

Motor diesel dikategorikan dalam motor bakar torak dan mesin pembakaran dalam (*internal combustion engine*). Prinsip kerja motor diesel adalah mengubah energi kimia menjadi energi mekanis. Energi kimia di dapatkan melalui proses reaksi kimia (pembakaran) dari bahan bakar (solar) dan oksidiser (udara) di dalam silinder (ruang bakar). Penggunaannya dan dalam satu silinder dapat terdiri dari satu atau dua torak. Pada umumnya dalam satu silinder motor diesel hanya memiliki satu

torak. Tekanan gas hasil pembakaran bahan bakar dan udara akan mendorong torak yang dihubungkan dengan poros engkol menggunakan batang torak, sehingga torak dapat bergerak bolak-balik (*reciprocating*). Gerak bolak-balik torak akan diubah menjadi gerak rotasi oleh poros engkol (*crank shaft*). Dan sebaliknya gerak rotasi poros engkol juga diubah menjadi gerak bolak-balik torak pada langkah kompresi. Karena prinsip penyalaan bahan bakarnya akibat tekanan maka motor diesel juga disebut *compression ignition engine*.

G. Rangkuman

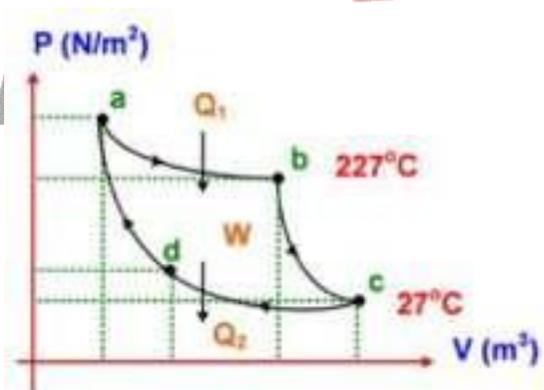
1. Mesin kalor atau mesin pemanas adalah suatu alat atau sistem yang berfungsi untuk mengubah energi kalor atau energi panas menjadi energi usaha atau energi mekanik.
2. Ciri utama mesin kalor atau mesin pemanas adalah sebagai berikut:
 - a. Berlangsung secara berulang (siklus).
 - b. Hasil yang diharapkan dari siklus mesin ini adalah usaha mekanik.
 - c. Usaha ini merupakan hasil konversi kalor yang diserap dari reservoir panas.
 - d. Tidak semua kalor yang keluar dan diambil dari reservoir panas dapat dikonversikan menjadi usaha mekanik.
3. Ada energi yang dibuang ke reservoir dingin dalam bentuk kalor pada suhu rendah.
4. Mesin pendingin adalah suatu alat atau sistem yang berfungsi untuk secara netto memindahkan kalor dari reservoir dingin ke reservoir panas dengan menggunakan usaha luar.
5. Daur atau siklus adalah proses terus-menerus yang merupakan sederetan proses yang terdiri atas beberapa tahapan dari suatu

keadaan setimbang ke keadaan setimbang lain, kemudian kembali lagi ke keadaan setimbang semula yang hasilnya adalah perubahan kalor menjadi kerja atau usaha luar.

6. Beberapa contoh proses bersiklus adalah siklus Carnot, siklus Otto dan siklus Diesel.

H. Soal dan Latihan

1. Sebutkan dua pernyataan tentang hukum II termodinamika!
2. Kenapa diperlukan hukum II termodinamika dalam sebuah siklus termodinamika?
3. Jelaskan sistem kerja mesin panas!
4. Parameter penting apa saja yang diperlukan pada mesin panas dan mesin pendingin!
5. Suatu mesin Carnot bekerja di antara 2 reservoir yang suhunya 700 K dan 900 K. Efisiensi maksimum mesin Carnot adalah Berapa %?
6. Jelaskan perbedaan sistem kerja mesin Carnot, mesin Otto dan mesin Diesel!
7. Perhatikan gambar berikut!



Jika kalor yang diserap reservoir suhu tinggi adalah 1200 joule, tentukan:

- a. Efisiensi mesin Carnot
- b. Usaha mesin Carnot
- c. Perbandingan kalor yang dibuang di suhu rendah dengan usaha yang dilakukan mesin Carnot
- d. Jenis proses ab, bc, cd dan da.



www.larispa.co.id

DAFTAR PUSTAKA

Abdullah, Mikrajuddin. 2016. *Fisika Dasar 1*. Bandung: Institut Teknologi bandung.

<http://staffnew.uny.ac.id/upload/131126240/pendidikan/bab-iii-thermodinamika.pdf>/ Diakses Pada Tanggal 19 Juni 2020.

<https://gurumuda.net/siklus-mesin-carnot.htm> / Diakses Pada Tanggal 19 Juni 2020.

<https://irianpoo.blogspot.com/2013/05/mengenal-turbin-uap.html>/ Diakses pada tanggal 02 Juli 2020.

https://mesin.ulm.ac.id/assets/dist/bahan/Termodinamika_Teknik_I_full.pdf

https://www.academia.edu/31017463/PPT_Siklus_Carnot_Kel_1/Diakses Pada Tanggal 19 Juni 2020.

Levenspiel, Octave. 2014. *Engineering Flow and Heat Exchange Third Edition*. USA: Department of Chemical Engineering Oregon State University.

Merle C. Potter. Ph.D. and Craig W. Somerton. Ph.D. 2008. *Termodinamika Teknik Edisi Kedua*. Jakarta: Erlangga.

Struchtrup, Henning. 2014. *Thermodynamics and Energy Conversion*. Canada: Dept. Mechanical Engineering University of Victoria.

Buku ajar ini menyajikan pembahasan yang komprehensif mengenai termodinamika yang berkaitan dengan permesinan kapal yang merupakan dasar untuk menunjang mata kuliah Keahlian Pelaut. Buku ini juga dapat digunakan sebagai persiapan pada penerapan termodinamika dalam praktik di lapangan, khususnya praktik mengenai permesinan kapal. Fitur-fitur penting buku ini adalah penyampaian yang jelas dan ringkas, pendekatan sistematis dalam penyelesaian soal yang akan mendorong terciptanya pemikiran yang sistematis, pengembangan sistematis mengenai konsep dasar termodinamika sebagai penunjang teknik permesinan kapal, pengembangan sistematis mengenai hukum pertama termodinamika, hukum kedua termodinamika dan aplikasinya dalam permesinan kapal, pembaruan dalam penyampaian analisis energi, termasuk pengenalan mengenai siklus dan proses termodinamika dalam mesin-mesin kerja di atas kapal. Di dalam buku ini juga terdapat penekanan pada aplikasi dengan pengembangan aplikasi termodinamika seperti aplikasi proses, siklus daya, dan pembakaran. Selain hal-hal yang disebutkan di dalam buku ini, juga terdapat soal-soal di akhir bab yang sangat beragam guna melatih kemampuan taruna/i terhadap pelajaran yang telah didapatkan.



Penerbit Larispa Indonesia

Jl. Sei Mencirim, Komp. Lalang Green Land I
Blok C No. 18, Pavageli, Sunggal, Medan 20352
Telp : (061) 800 261 16
Email : Info@larispa.or.id

 WWW.LARISPA.OR.ID  LARISPANDONESIA
 LARISPA INDONESIA  LARISPA

ISBN 978-602-6552-41-9

