

 Innosain

Termodinamika

EDISI 2



AGUS HARYANTO

Termodinamika

EDISI 2

Termodinamika

EDISI 2

AGUS HARYANTO

 **Innosain**

TERMODINAMIKA Edisi 2

oleh Agus Haryanto

Hak Cipta © 2016 pada penulis

 Innosain

Ruko Jambusari 7A Yogyakarta 55283

Telp: 0274-889398; 882262 Fax: 0274-889057; E-mail: info@innosain.com

Hak Cipta dilindungi undang-undang. Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, secara elektronik maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam, atau dengan teknik perekaman lainnya, tanpa izin tertulis dari penerbit.

Tajuk Entri Utama: Haryanto, Agus

TERMODINAMIKA Edisi 2/Agus haryanto

- Edisi Kedua. Cet. Ke-1. - Yogyakarta: Innosain, 2016
xviii + 474 hlm.; 25 cm

Bibliografi.: 412 - 413

ISBN : 978-602-6542-10-6

E-ISBN : 978-602-6542-11-3

1. Termodinamika

I. Judul

536.7

Semua informasi tentang buku ini, silahkan scan QR Code di cover belakang buku ini

TIGA KUNCI SUKSES:

Kerja keras, kerjasama, ikhlas

TANTANGAN:

Buku yang tebal selalu dimulai dari huruf pertama di halaman pertama.
Perjalanan seribu mil harus dimulai dari langkah pertama. Sekarang!

MOTTO:

Bacalah dengan menyebut nama Tuhanmu
Allah akan meninggikan orang yang berilmu beberapa derajat
Sesungguhnya, setelah kesusahan ada kemudahan

MANTRA:

MANTRA 1: Man jada wa jada (Barang siapa bersungguh-sungguh akan sukses)

MANTRA 2: Berlelah-lelahlah dalam usaha. Nikmatnya akan dirasakan kemudian

MANTRA 3: Barang siapa menghendaki kemuliaan, akan bekerja sampai jauh malam

DOA:

Robbi zidni ilman warzuqni fahman

NASEHAT:

Ilmu itu bagaikan nur, cahaya. Dan cahaya tidak bisa datang dan ada di tempat yang gelap. Karena itu bersihkan hati dan kepalamu, supaya cahaya itu bisa datang, menyentuh dan menerangi kalbu.

PERSEMBAHAN

Untuk yang tercinta isteri:
Yuliati
dan anak-anakku tersayang:
Muhammad Reza Fachrezy
Pratiwi Rahma Dea Valentina
Laily Farahdina Putri



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur dipanjatkan ke hadirat Tuhan yang Maha Kuasa, yang telah melimpahkan berkat, rahmat, dan karunia berupa ilmu dan kesehatan sehingga penulis dapat menyelesaikan dan menghadirkan karya ini ke hadapan para pembaca.

Termodinamika merupakan ilmu dasar yang sangat penting bagi para sarjana teknik pada umumnya, termasuk bidang ilmu keteknikan pertanian (*agricultural engineering*). Oleh karena itu, Termodinamika merupakan salah satu mata kuliah wajib bagi mahasiswa program Sarjana (S1) di program-program studi keteknikan, seperti teknik mesin, teknik kimia, teknik sipil, teknik listrik, teknik pertanian dan sebagainya. Beberapa aspek atau praktek yang memerlukan pengetahuan dasar Termodinamika di antaranya adalah kinerja motor bakar (baik motor bakar-dalam maupun motor listrik), pengerasan perkakas, penanganan hasil pertanian seperti pengeringan, pendinginan, pembekuan, penyimpanan, penukar panas, penyegaran udara, dan lain-lain. Ilmu ini juga penting untuk memahami kinerja perangkat elektronika dan pembangkitan listrik.

Buku ini ditulis dengan tujuan untuk memudahkan proses pembelajaran mata kuliah Termodinamika. Pengalaman mengajar mata kuliah ini lebih dari 10 tahun menunjukkan bahwa para mahasiswa mengalami kesulitan untuk menggunakan buku pegangan berbahasa Inggris. Selain jumlahnya yang tidak memadai di perpustakaan, tingkat penguasaan bahasa Inggris mahasiswa juga menjadi masalah.

Sebelumnya, saya telah membuat buku untuk Mata Kuliah Transfer Panas. Buku itu ternyata sangat membantu dalam proses pembelajaran. Belajar dari pengalaman itu, maka buku ini dipersiapkan dengan tujuan yang sama.

Materi yang diberikan dalam buku ini meliputi konsep dasar termodinamika, suhu dan tekanan, substansi murni dan sifat-sifatnya, tabel sifat, persamaan keadaan, panas dan kerja, hukum pertama, hukum kedua, siklus Carnot, entropi dan derivasi persamaan-persamaan termodinamika. Aplikasi secara khusus diberikan dalam buku ini pada psikrometri yang bermanfaat dalam banyak aplikasi yang melibatkan campuran udara-uap air, seperti pengeringan hasil pertanian, penyegaran udara, dan menara pendingin. Analisis termodinamika untuk mesin bakar-dalam merupakan aplikasi lain yang juga dibahas dalam buku ini.

Catatan-catatan kuliah sebenarnya sudah dimulai sejak lama, tetapi penyusunannya menjadi sebuah buku memerlukan kerja keras tersendiri. Meskipun tenaga dan pikiran sudah dicurahkan untuk mempersiapkan buku ini sebaik-baiknya, tetapi kami menyadari masih banyak kekurangannya. Seperti pepatah China kuno yang mengatakan bahwa perjalanan seribu mill harus dimulai dari langkah pertama. Sekarang! Jadi, ini merupakan langkah awal yang akan disusul dengan langkah-langkah berikutnya untuk terus memperbaiki buku ini.

Edisi pertama buku ini diterbitkan oleh Penerbit Universitas Lampung (2011). Pada edisi revisi ini selain dilakukan perbaikan dan penyempurnaan juga ditambahkan dua bab baru mengenai aplikasi termodinamika dalam kehidupan sehari-hari. Pertama adalah Psikrometrik yang diberikan pada Bab 8, dan kedua adalah Analisis Termodinamika Motor Bakar yang diberikan pada Bab 14.

Terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada istri dan anak-anak tercinta: Yuliati Muh. Reza Fachrezi, Pratiwi Rahmadea Valentina, dan Laily Farahdina Putri. Mereka telah meberikan dukungan yang berharga bagi penyelesaian buku ini. Penyusunan draft awal buku ini memperoleh dukungan finansial dari Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada Prof. Dr. Ir. Wan Abbas Zakaria, M.S. dan Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banua, M.S (berturut-turut Dekan Fakultas Pertanian, Universitas Lampung periode 2012-2015 dan 2016-2019). Publikasi buku ini difasilitasi oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM), Universitas Lampung. Kepada Dr. Warsono (Ketua LPPM periode 2016-2019) disampaikan penghargaan dan terima kasih yang tulus. Terima kasih dan penghargaan disampaikan kepada para

mahasiswa saya di Jurusan Teknik Pertanian yang telah memberikan *feedback* luar biasa bagi penyempurnaan buku ini.

Semoga bermanfaat.

BL, IX-MMXVI

AH



DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xiii
BAB 1 KONSEP DASAR TERMODINAMIKA	1
1.1 Termodinamika dan Energi	2
1.2 Dimensi dan Satuan	3
1.3 Sistem dan Lingkungan	6
1.4 Energi Sistem	8
1.5 Keadaan dan Keseimbangan	9
1.6 Sifat-Sifat Sistem	10
1.7 Postulat Keadaan	11
1.8 Proses dan Siklus	12
1.9 Teknik Pemecahan Masalah	13
1.0 Ringkasan	16
Soal-Soal Latihan	17
BAB 2 TEKANANDAN SUHU	21
2.1 Tekanan	21
2.2 Suhu dan Hukum 0 (Nol) Termodinamika	29
2.3 Ringkasan	31
Soal-Soal Latihan	32

BAB 3	PERUBAHAN FASE	37
3.1	Substansi Murni	37
3.2	Fase-Fase Substansi Murni	38
3.3	Perubahan Fase Substansi Murni	40
3.4	Diagram Proses Perubahan Fase	43
3.5	Ringkasan	51
	Soal-Soal Latihan	51
BAB 4	TABEL TERMODINAMIKA	53
4.1	Tabel-Tabel Sifat	53
4.2	Campuran Cair-Uap Jenuh	57
4.3	Tabel Uap Superpanas	61
4.4	Tabel Cair Terkompresi	63
4.5	Ringkasan	65
	Soal-Soal Latihan	65
BAB 5	PERSAMAAN KEADAAN	71
5.1	Persamaan Keadaan Gas-Ideal	72
5.2	Faktor Kompresibilitas	76
5.3	Bentuk Lain Persamaan Keadaan	81
5.4	Ringkasan	86
	Soal-Soal Latihan	88
BAB 6	PANAS DAN KERJA	93
6.1	Kesetaraan Panas dan Kerja	93
6.2	Panas Atau Kalor	95
6.3	Kerja	97
6.4	Bentuk Energi Mekanis	103
6.5	Ringkasan	120
	Soal-Soal Latihan	121

BAB 7 HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA	127
7.1 Hukum I Termodinamika	128
7.2 Ringkasan	142
Soal-soal Latihan	143
BAB 8 PSIKROMETRIK (APLIKASI 1)	151
8.1 Campuran Udara-Uap Air	151
8.2 Suhu Jenuh Adiabatik dan Suhu Bola Basah	157
8.3 Chart Psikrometrik	161
8.4 Proses Penyegaran Udara (<i>Air-Conditioning</i>)	180
8.5 Ringkasan	188
Soal-soal Latihan	189
BAB 9 PANAS JENIS	195
9.1 Kapasitaspanas dan Panas Jenis	195
9.2 Energi Dakhil, Enthalpi, dan Panas Jenis Gas Ideal	200
9.3 Panas Spesifik Gas Ideal	204
9.4 Energi Internal, Enthalpi, dan Panas Spesifik Benda Padat dan Cair	209
9.5 Ringkasan	212
Soal-soal Latihan	213
BAB 10 HUKUM KEDUA TERMODINAMIKA	215
10.1 Pendahuluan	215
10.2 Reservoir Energi Termal	217
10.3 Mesin Kalor	219
10.4 Hukum II: Pernyataan Kelvin-Plank	225
10-5 Refrigerator	226
10.6 Pompa Kalor	230
10.7 Hukum II: Pernyataan Clausius	230
10.8 Ringkasan	232
Soal-Soal Latihan	233
BAB 11 SIKLUS CARNOT	239
11.1 Proses Reversibel dan Ireversibel	240
11.2 Siklus Carnot	246

11.3	Kaedah Carnot	250
11.4	Mesin Kalor Carnot	252
11.5	Refrigerator dan Pompa Kalor Carnot	256
11.6	Ringkasan	260
	Soal-Soal Latihan	261
BAB 12	ENTROPI	273
12.1	Pertidaksamaan Clausius	274
12.2	Entropi	276
12.3	Prinsip Kenaikan-Entropi	279
12.4	Perubahan Entropi Substansi Murni	284
12.5	Proses Isentropik	288
12.6	Diagram Sifat yang Meliputi Entropi	290
12.7	Rumus $T Ds$	295
12.8	Perubahan Entropi Benda Padat dan Cair	297
12.9	Perubahan Entropi Gas Ideal	299
12.10	Proses Isentropik Gas Ideal	303
12.11	Ringkasan	308
	Soal-Soal Latihan	311
BAB 13	DERIVASI MATEMATIS SIFAT TERMODINAMIKA	321
13.1	Tinjauan Singkat Derivatif	322
13.2	Persamaan Maxwell	332
13.3	Persamaan Clapeyron	334
13.4	Persamaan Umum untuk Du , H , Ds , C_v , dan C_p	339
13.5	Perubahan Enthalpi (Dh), Energi Dakhil (Du), dan Entropi (Ds) Gas Nyata	348
13.6	Ringkasan	355
	Soal-soal Latihan	358
BAB 14	TERMODINAMIKA MOTOR BAKAR-DALAM (APLIKASI II)	363
14.1	Motor Bakar	364
14.2	Komponen Motor Bakar-Dalam	365
14.3	Siklus Carnot Dalam Rekayasa	367

14.4	Asumsi Standard Udara	370	
14.5	Prinsip Kerja Motor Bakar-Dalam	371	
14.6	Siklus Termodinamika vs. Siklus Mekanis	378	
14.7	Siklus Daya Ideal	378	
14.8	Perubahan Pada Proses Politropik	382	
14.9	Siklus Otto	383	
14.10	Siklus Diesel	392	
14.11	Siklus Dual	400	
14.12	Efisieni Siklus Otto vs. Siklus Diesel	402	
14.13	Ringkasan	402	
	Soal-soal Latihan	404	402
	DAFTAR PUSTAKA	413	
	LAMPIRAN	415	