



PENERBIT ANDI®

- Reversibilitas Termodinamika dan Efisiensi Termal
- Pembangkit Tenaga Uap Air
- Nozel dan Propulsi Jet
- Turbin dan Kompresor Aksial
- Management Energi

TERMODINAMIKA TEKNIK

Teori dan Soal Jawab

Syukri Himran



TERMODINAMIKA TEKNIK

Teori dan Soal Jawab

S. Termodinamika; zat; makro; mikro

Syukri Himran

Tgl. Terima : 14-12-2022

No. Induk : 2996. Monograf. PEP1-12-22

Asa. Bahan Pustaka : (Beli/Tukar/Hadiah)

Dari : Pengadaan TA 2022

MILIK / KOLEKSI

**POLITEKNIK ENJINIRING PERTANIAN INDONESIA
(PEPI)**

Penerbit Andi

TERMODINAMIKA TEKNIK TEORI DAN SOAL JAWAB

Oleh: Syukri Himran

Hak Cipta ©2018 pada Penulis.

Editor : Putri Christian
Setting : Yulius Basuki
Desain Cover : Dany Nofiyanto
Korektor : Nikolas Damar

Hak Cipta dilindungi undang-undang.

Dilarang memperbanyak atau memindahkan sebagian atau seluruh isi buku ini dalam bentuk apa pun, baik secara elektronis maupun mekanis, termasuk memfotokopi, merekam atau dengan sistem penyimpanan lainnya, tanpa izin tertulis dari penulis.

Diterbitkan oleh Penerbit ANDI OFFSET (Anggota IKAPI)

Jl. Beo 38-40, telp (0274) 561881, Fax (0274) 588282 Yogyakarta 55281

Percetakan: CV. ANDI OFFSET

Jl. Beo 38-40, telp (0274) 561881, Fax (0274) 588282 Yogyakarta 55281

Himran, Syukri

**TERMODINAMIKA TEKNIK: Teori dan Soal Jawab/
Syukri Himran**

- Ed. I. - Yogyakarta: ANDI;

27 - 26 - 25 - 24 - 23 - 22 - 21 - 20 - 19 - 18

x + 494 hlm; 20x28 Cm.

10 9 8 7 6 5 4 3 2 1

ISBN: 978 - 979 - 29 - 6596 - 4

I. Judul

1. Thermodynamics

DDC'23 : 621.312.43

KATA PENGANTAR

Buku ini bertujuan memberi pengetahuan tentang termodinamika teknik kepada para mahasiswa S1 dalam bidang teknik mesin, teknik kimia, teknik penerbangan, teknik lingkungan, dan kombinasi bidang keteknikan yang mempelajari termodinamika.

Isi buku ini dibuat dalam bentuk teori dan penyelesaian soal-soal. Pada setiap awal bab, diberikan sekilas penjelasan tentang isi dan rumus-rumus yang perlu diketahui dalam penyelesaian soal-soal tersebut. Soal-soal yang diselesaikan diambil dari dua buah buku utama, yakni *Basic Engineering Thermodynamics in SI Units* oleh Rayner Joel dan *Applied Thermodynamics for Engineering Technologist* oleh T.D. Eastop dan A. McConkey. Materi termodinamika yang ditampilkan sangat menarik karena menjelaskan masalah-masalah praktis yang banyak dijumpai dalam proses-proses dan pembangkit tenaga.

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada staf Penerbit Andi untuk kerja samanya yang sangat baik sekali dalam penerbitan buku ini.

Makassar, Februari 2016

Syukri Himran

Handwritten notes and diagrams on the left page of the notebook:

- A diagram of a rectangular prism with a dashed line representing a diagonal or internal path, labeled with "582" and "P".
- Equation: $\sum_{i=1}^n \frac{D_i}{m \cdot g} \cdot S_i + C_i \cdot D_i + \dots$
- Equation: $\frac{d\Delta p (s\phi)}{d\phi} = \dots$
- Equation: $\frac{d\Delta M (s\phi)}{d\phi} = \dots$
- Other scribbles and symbols including "0.14 - 30" and "1000".

DAFTAR ISI

| | |
|--|----------|
| KATA PENGANTAR..... | III |
| DAFTAR ISI | V |
| BAB 1 INTRODUKSI DAN HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA..... | 1 |
| 1.1 Zat Kerja | 1 |
| 1.2 Zat Murni | 1 |
| 1.3 Analisis Makroskopik dan Mikroskopik | 1 |
| 1.4 Sifat-Sifat dan Tingkat Keadaan | 2 |
| 1.5 Fase | 2 |
| 1.6 Aturan Dua Sifat | 2 |
| 1.7 Proses..... | 2 |
| 1.8 Sistem..... | 2 |
| 1.9 Volume Kontrol | 3 |
| 1.10 Energi..... | 4 |
| 1.11 Besaran Spesifik | 5 |
| 1.12 Temperatur | 5 |
| 1.13 Tekanan | 6 |
| 1.14 Volume | 7 |
| 1.15 Energi Dalam | 8 |
| 1.16 Entalpi..... | 8 |
| 1.17 Kerja | 8 |
| 1.18 Panas | 8 |
| 1.19 Hubungan Antara Panas dan Kerja | 9 |

| | |
|---|------------|
| 9.3 Usaha Pengembangan Turbin Gas..... | 260 |
| 9.3.1 Peningkatan Temperatur Seksi Masuk Turbin..... | 260 |
| 9.3.2 Peningkatan Efisiensi Komponen-Komponen Turbin dan Kompresor..... | 261 |
| 9.3.3 Modifikasi pada Siklus Dasar..... | 261 |
| 9.3.4 Enjin Pesawat Terbang..... | 264 |
| 9.3.5. Unit Aliran Paralel..... | 265 |
| 9.4 Soal-Jawab..... | 266 |
| BAB 10 NOZEL DAN PROPULSI JET..... | 287 |
| 10.1 Introduksi..... | 287 |
| 10.2 Bentuk Nozel..... | 287 |
| 10.3 Analisis Aliran..... | 288 |
| 10.4 Rasio Tekanan Kritis..... | 289 |
| 10.5 Aliran Massa Maksimum..... | 289 |
| 10.6 Nozel di Luar Perencanaan Rasio Tekanan..... | 290 |
| 10.6.1 Nozel Konvergen..... | 290 |
| 10.6.2 Nozel Konvergen-Divergen..... | 291 |
| 10.7 Efisiensi Nozel..... | 292 |
| 10.8 Ekspansi Uap Air di Dalam Nozel..... | 293 |
| 10.9 Kondisi Stagnasi..... | 294 |
| 10.10 Propulsi Jet..... | 295 |
| 10.11 Turbojet..... | 296 |
| 10.12 Turboprop..... | 297 |
| 10.13 Soal-Jawab..... | 298 |
| BAB 11 TURBIN DAN KOMPRESOR AKSIAL..... | 317 |
| 11.1 Diagram Kecepatan pada Sudu Turbin Impuls..... | 317 |
| 11.2 Kerja Dilakukan pada Sudu..... | 318 |
| 11.3 Diagram Kecepatan untuk Dua Baris Sudu..... | 319 |
| 11.4 Tinggi Sudu..... | 320 |
| 11.5 Turbin Reaksi Aliran Aksial..... | 320 |
| 11.6 Kompresor Aliran Aksial..... | 322 |
| 11.7 Soal-Jawab..... | 323 |

| | |
|--|------------|
| BAB 12 MOTOR BAKAR TORAK..... | 363 |
| 12.1 Introduksi..... | 363 |
| 12.2 Kriteria Kinerja..... | 364 |
| 12.2.1 Daya Indikasi (ip)..... | 364 |
| 12.2.2 Daya Poros (bp)..... | 365 |
| 12.2.3 Daya Gesek (f_g) dan Efisiensi Mekanikal (η_m)..... | 365 |
| 12.2.4 Tes Morse..... | 365 |
| 12.2.5 Tekanan Efektif Rata-Rata Daya Poros, Efisiensi Termal, Pemakaian Bahan Bakar Spesifik..... | 366 |
| 12.2.6 Efisiensi Volumetrik (η_v)..... | 366 |
| 12.3 Kesetimbangan Energi..... | 367 |
| 12.4 Supercharging..... | 367 |
| 12.5 Soal-Jawab..... | 369 |
| BAB 13 REFRIGERASI DAN POMPA KALOR..... | 385 |
| 13.1 Introduksi..... | 385 |
| 13.2 Soal-Jawab..... | 387 |
| BAB 14 PENGONDISIAN UDARA..... | 413 |
| 14.1 Introduksi..... | 413 |
| 14.2 Kelembapan Spesifik, Kelembapan Relatif, dan Persentase Saturasi..... | 414 |
| 14.3 Entalpi Spesifik, Kapasitas Panas Spesifik, dan Volume Spesifik Udara Basah..... | 415 |
| 14.4 Soal-Jawab..... | 416 |
| BAB 15 MANAJEMEN ENERGI..... | 441 |
| 15.1 Sumber-Sumber, Pemanfaatan, dan Manajemen Energi..... | 441 |
| 15.2 Peningkatan Efisiensi Pembangkit..... | 442 |
| 15.2.1 Pembangkit Daya Kombinasi..... | 442 |
| 15.2.2 Pembangkit Kombinasi Panas dan Daya (Kogenerasi)..... | 442 |
| 15.3 Teknologi Penghematan Energi..... | 443 |
| 15.3.1 Teknologi Titik Jepit (<i>Pinch Point</i>)..... | 443 |
| 15.4 Soal-Jawab..... | 444 |

| | |
|--|------------|
| 1.20 Kapasitas Panas Spesifik | 9 |
| 1.21 Kerja dan Diagram Tekanan – Volume | 9 |
| 1.22 Konservasi Energi | 11 |
| 1.23 Persamaan Energi Aliran Ajek (<i>Steady Flow</i>) | 11 |
| 1.24 Persamaan Energi Nonaliran | 13 |
| 1.25 Hukum ke-0 | 14 |
| 1.26 Hukum Pertama Termodinamika | 15 |
| 1.27 Hukum Kedua Termodinamika | 15 |
| 1.28 Proses Adiabatik | 16 |
| 1.29 Proses Politropik $pV^n = C$ | 16 |
| 1.30 Daya Mekanis | 17 |
| 1.31 Daya Elektrikal | 17 |
| 1.32 Prinsip Enjin Panas (<i>Heat Engine</i>) | 18 |
| 1.33 Soal-Jawab | 19 |
| BAB 2 UAP AIR DAN SISTEM-SISTEM DUA FASE | 33 |
| 2.1 Introduksi | 33 |
| 2.2 Cair, Uap, dan Gas | 33 |
| 2.3 Tabel Uap | 35 |
| 2.4 Kalorimeter Separasi dan Troteling | 36 |
| 2.5 Soal-Jawab | 37 |
| BAB 3 GAS DAN SISTEM-SISTEM SATU FASE | 55 |
| 3.1 Hukum Boyle (1627–1691) | 55 |
| 3.2 Hukum Charles (1746–1823) dan Temperatur Mutlak | 55 |
| 3.3 Persamaan Karakteristik Gas Sempurna | 55 |
| 3.4 Kapasitas Panas Spesifik | 57 |
| 3.5 Energi Dalam Gas dan Hukum Joule | 57 |
| 3.6 Pemanasan pada Volume dan pada Tekanan Tetap Gas | 58 |
| 3.7 Hubungan antara Kapasitas Panas Spesifik | 58 |
| 3.8 Hubungan antara Kerja dan Panas, Nonaliran pada Proses Reversibel-Politropik ($pV^n = C$), dan Proses Reversibel-Adiabatik .. | 59 |
| 3.9 Proses Reversibel Adiabatik Proses Aliran | 60 |
| 3.10 Proses Tidak Reversibel | 61 |
| 3.11 Soal-Jawab | 64 |
| BAB 4 REVERSIBILITAS TERMODINAMIKA DAN EFISIENSI TERMAL | 101 |
| 4.1 Introduksi | 101 |
| 4.2 Soal-Jawab | 101 |
| BAB 5 ENTROPI | 113 |
| 5.1 Introduksi | 113 |
| 5.2 Entropi Sistem Dua-Fase | 114 |
| 5.3 Entropi Sistem Satu-Fase | 115 |
| 5.4 Soal-Jawab | 117 |
| BAB 6 CAMPURAN | 145 |
| 6.1 Introduksi | 145 |
| 6.2 Hukum Dalton dan Gibbs-Dalton | 145 |
| 6.3 Analisis Volumetrik Campuran Gas-Gas | 146 |
| 6.4 Soal-Jawab | 148 |
| BAB 7 PEMBAKARAN | 165 |
| 7.1 Introduksi | 165 |
| 7.2 Eksotermik dan Endotermik | 165 |
| 7.3 Elemen, Senyawa, dan Campuran | 165 |
| 7.4 Atom dan Berat Atom | 166 |
| 7.5 Massa Molekul | 166 |
| 7.6 Simbol Kimia | 166 |
| 7.7 Komposisi Udara | 166 |
| 7.8 Persamaan Pembakaran | 167 |
| 7.9 Soal-Jawab | 169 |
| BAB 8 PEMBANGKIT TENAGA UAP AIR | 215 |
| 8.1 Introduksi | 215 |
| 8.2 Siklus Rankine dengan Pemanasan Lanjut | 217 |
| 8.3 Siklus Rankine dengan Pemanasan Ulang | 217 |
| 8.4 Siklus Regeneratif | 218 |
| 8.5 Soal-Jawab | 220 |
| BAB 9 SIKLUS TURBIN GAS | 259 |
| 9.1 Introduksi | 259 |
| 9.2 Siklus Turbin Gas Praktis | 259 |

| | |
|---|-----|
| DAFTAR PUSTAKA | 479 |
| NOMENKLATUR, SUBSKRIP, DAN HURUF YUNANI | 481 |
| FAKTOR-FAKTOR KONVERSI | 485 |
| TENTANG PENULIS..... | 489 |
| INDEKS | 491 |