

## BIODATA PENULIS



**Adriyan Warokka, ST.,M.Eng**, adalah lulusan S1 Teknik Mesin dengan konsentrasi pada Konversi Energi di Universitas Sam Ratulangi dan S2 Teknik Mesin di Universitas Gadjah Mada. Saat ini adalah dosen tetap di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado yang mendalami dan mengajar Termodinamika Teknik dan Mekanika Fluida. Melakukan penelitian dengan konsentrasi pada pemanfaatan sumber energi yang terbarukan dan hampir tidak memiliki nilai ekonomi menjadi energi yang sustain seperti sampah organik perkotaan dan material organik lokal.



**Silvy Dollorossa Boedi**, lahir di Surabaya, Indonesia, pada 2 Februari 1975. Memperoleh gelar Sarjana Teknik Mesin dari Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia pada tahun 1999. Pada tahun 2008 ia menerima tawaran untuk bergabung dengan Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Manado, Manado, sebagai staf pengajar. Memperoleh gelar Magister Teknik tahun 2011 di bidang Teknik Mesin dari Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia. Tahun 2020 berhasil menyelesaikan program S-3 di Universitas Brawijaya Malang, Indonesia dengan memperoleh gelar Doktor. Facebook : Silvy Boedi, IG : silvyboedi\_



PENERBIT : POLIMDO PRESS  
JALAN RAYA POLITEKNIK, KELURAHAN BUHA,  
KECAMATAN MAPANGET MANADO - SULUT.



TERMODINAMIKA TEKNIK

2020



**Adriyan Warokka, ST.,M.Eng**  
**Dr. Silvy Boedi, ST.,MT**

# TERMODINAMIKA TEKNIK

# **TERMODINAMIKA TEKNIK**

**Adriyan Warokka, ST.,M.Eng**  
**Dr. Silvy Boedi, ST.,MT**

**Penerbit POLIMDO PRESS**



# TERMODINAMIKA TEKNIK

Hak Cipta © Adriyan Warokka, ST.,M.Eng

© Dr. Silvy Boedy, ST.,MT

Hak Penerbit Pada POLIMDO PRESS

---

Penerbit POLIMDO PRESS, Politeknik Negeri Manado  
Jl. Raya Politeknik, Kelurahan Buha, Kecamatan Mapanget  
Manado - Sulawesi Utara, PO BOX 1256  
Pusat Pengembangan Pembelajaran dan Penjaminan Mutu  
Basement Kantor Pusat Kampus Politeknik Negeri Manado  
pusatpenjaminanmutu.polimdo@gmail.com  
www.polimdo.ac.id

---

Cetakan Buku Pertama, November 2020

---

ISBN : 978-623-7580-47-8

xii ; 188 hal ; 15,5 x 23 cm

---

Setting & Layout : Joseph N. Tangon  
Cover Design : Joseph N. Tangon

---

Hak cipta dilindungi oleh undang-undang. Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan cara apapun, termasuk fotokopi, tanpa izin tertulis dari penerbit. Pengutipan harap menyebutkan sumber.

Dicetak Oleh POLIMDO PRESS

---

**DAFTAR ISI**

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Tujuan dan manfaat .....	2
1.3. Ruang Lingkup Termodinamika .....	3
1.4. Petunjuk Penggunaan Buku.....	5
BAB II TERMODINAMIKA .....	7
2.1. Bentuk-Bentuk Energi.....	7
2.2. Aplikasi Termodinamika.....	8
2.3. Sistim-sistim satuan.....	11
2.4. Ringkasan .....	11
BAB III. SIFAT TERMODINAMIK, SISTEM, KEADAAN DAN PROSES .....	15
3.1. Sifat Termodinamik, Keadaan dan Proses .....	16
3.2. Sistem Termodinamik .....	22
3.3. Perubahan Fasa.....	25
3.4. Diagram Fasa.....	27
3.5. Tabel Properti .....	31
3.6. Ringkasan .....	34
BAB IV. ENERGI, KALOR DAN KERJA.....	39
4.1. Energi .....	40
4.2. Energi Internal.....	40
4.3. Entalpi .....	44

4.4.	Kalor ( <i>Heat</i> ) .....	45
4.5.	Kerja ( <i>Work</i> ).....	48
4.6.	Hukum Pertama Termodinamika .....	53
4.7.	Analisa Energi Sistem Tertutup .....	55
4.8.	Ringkasan .....	59
BAB V. HUKUM KEDUA TERMODINAMIKA.....		63
5.1.	Entropi.....	65
5.2.	Eksergi ( <i>exergy</i> ) : ukuran Kerja Potensial.....	66
5.3.	Siklus Carnot .....	68
5.4.	Ringkasan .....	73
BAB VI. GAS IDEAL.....		77
6.1.	Hukum dan Sifat-sifat Gas Ideal .....	78
6.2.	$C_p$ dan $C_v$ dari gas ideal.....	83
6.3.	Ringkasan .....	85
BAB VII. SIKLUS PROSES TERMODINAMIKA.....		87
7.1.	Siklus Daya Gas .....	90
7.1.1.	Siklus Otto .....	90
7.1.2.	Siklus Diesel .....	93
7.1.3.	Siklus Stirling dan Ericcson.....	94
7.1.4.	Siklus Brayton .....	97
7.2.	Siklus Daya Uap.....	101
7.2.1.	Siklus Rankine .....	102
7.2.2.	Siklus <i>Reheat</i> (Pemanasan Ulang) <i>dan Superheat</i> (Superkritikal) .....	107
7.3.	Siklus Refrigerasi dan Pompa Kalor .....	110
7.4.	Ringkasan .....	114
BAB VIII. PERPINDAHAN KALOR .....		119
8.1.	Mekanisme perpindahan kalor Konduksi.....	120
8.2.	Mekanisme perpindahan kalor Konveksi.....	123

8.3. Mekanisme perpindahan kalor Radiasi .....	126
8.4. Ringkasan .....	128
LAMPIRAN-LAMPIRAN.....	131
DAFTAR PUSTAKA .....	171
GLOSARIUM.....	173
DAFTAR INDEKS .....	185



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Beberapa Area aplikasi Termodinamika. [1] .....	10
Gambar 2. Besaran Pokok dalam SI. ....	11
Gambar 3. Tekanan Absolut, Tekanan Gage dan Vakum. [1] .....	18
Gambar 4. Sebuah sistem dengan dua keadaan. [1],.....	21
Gambar 5. Sebuah proses antara keadaan 1 dan 2 serta jalur prosesnya .....	22
Gambar 6. Sistem, batas dan lingkungan.....	23
Gambar 7. Sistem Termodinamika. [3].....	24
Gambar 8. Fasa padat (a), fasa cair (b), fasa gas (c). [1] .....	25
Gambar 9. Proses perubahan fasa dari air. [4] .....	26
Gambar 10. Diagram fasa (T-v) proses pemanasan air pada tekanan tetap 1 atm. [1] .....	28
Gambar 11. Diagram fasa (T-v) tekanan bervariasi (nilai numerik dari air). [1].....	29
Gambar 12. Diagram fasa (P-v) dari zat murni. [1].....	30
Gambar 13. Diagram fasa (P-T) dari zat murni. [1].....	30
Gambar 14. Nilai $v$ campuran. [1].....	33
Gambar 15. Tabel Properti <i>Saturated Water</i> (temperatur). [1].....	33
Gambar 16. Tabel Properti <i>Saturated Water</i> (tekanan). [1].....	34
Gambar 17 Perpindahan energi internal sebuah sistem tertutup.....	41
Gambar 18. Skema kerja aliran. [1] .....	44
Gambar 19. Perbedaan temperatur yang menggerakkan transfer kalor. .....	47
Gambar 20. Sistem adiabatik.....	48
Gambar 21. Nilai kerja/work dan kalor/heat antara sistem dan lingkungan.....	50
Gambar 22. Transmisi energi melalui poros yang berputar. [1] .....	51
Gambar 23. Kerja poros adalah proporsional pada torsi yang diterapkan dan nilai revolusi dari poros. [1] .....	52
Gambar 24. Pemanjangan pegas karena gaya (a) dan grafik hubungan gaya $F$ dan $\Delta x$ (b) .....	53
Gambar 25. Gas dalam perangkat piston-silinder. [1] .....	56
Gambar 26. Aliran <i>steady</i> sesuai prinsip konservasi massa. [1].....	58
Gambar 27. Contoh mesin panas yang beroperasi pada siklus Carnot. [5] .....	69
Gambar 28. Siklus Carnot. [6] .....	70



Gambar 29. Siklus Carnot terbalik/Siklus Refrigerasi Carnot. [6] .....	71
Gambar 30. Hubungan volume dan tekanan gas pada suhu konstan (Isotermal). [7] .....	80
Gambar 31. Hubungan volume dan suhu gas pada tekanan konstan (Isobarik). [7] .....	81
Gambar 32. Sketsa dari $PvT$ terhadap $P$ untuk suatu gas pada beberapa nilai dari temperatur. ( $v$ adalah volume per mol) [8] .....	82
Gambar 33. Diagram skematik dari dua jenis utama (a) Siklus daya. (b) Siklus pendinginan dan pompa kalor. [8] .....	89
Gambar 34. Siklus Otto udara standar [5] .....	91
Gambar 35. Siklus aktual dan ideal dalam mesin percikan api/ <i>spark-ignition</i> dan masing-masing diagram $P-v$ . [1] .....	92
Gambar 36. Siklus Diesel udara-standar. [5] .....	93
Gambar 37. Regenerator adalah alat yang meminjam energi dari fluida kerja selama satu bagian siklus dan mengembalikannya kembali di bagian lain. ....	96
Gambar 38. Diagram T-S dan P-v dari siklus Carnot (a), Siklus Stirling (b) dan Siklus Ericsson (c) [1] .....	97
Gambar 39. Mesin Turbin Gas Sederhana, Sistem Terbuka (a) dan Sistem Tertutup (b) .....	99
Gambar 40. Diagram $P-v$ dan $T-s$ dari siklus Brayton udara-standar [8] .....	100
Gambar 41. Siklus Rankine ideal sederhana .....	102
Gambar 42. Diagram $T-s$ Siklus Rankine ideal sederhana. [1] .....	103
Gambar 43. Pengaruh tekanan dan suhu pada kerja siklus Rankine [5] .....	108
Gambar 44. Pengaruh tekanan dan suhu pada efisiensi siklus Rankine [5] .....	108
Gambar 45. Siklus Pemanasan Ulang Ideal. [8] .....	110
Gambar 46. Tujuan pendingin adalah untuk menghilangkan panas (QL) dari media dingin; tujuan dari pompa kalor adalah untuk memasok panas (QH) ke media hangat .....	111
Gambar 47. Skema pendingin Carnot dan diagram $T-s$ dari siklus Carnot terbalik. [1] .....	113
Gambar 48. Siklus Pembangkit Listrik Tenaga Uap .....	116
Gambar 49. Konduktivitas kalor melalui tembok dengan ketebalan $\Delta x$ dan area A. ....	122

Gambar 50. Perpindahan panas dari permukaan panas ke udara melalui konveksi. [9].....	124
Gambar 51. Grafik Diagram $T-s$ untuk air. [1] .....	146
Gambar 52. Grafik Diagram Mollier untuk air. [1] .....	147
Gambar 53. Diagram $P-h$ untuk Refrigeran-134. [1].....	153



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Istilah-istilah yang digunakan pada neraca energi .....	34
Tabel 2. Konduktivitas termal beberapa material pada suhu ruangan. .....	123
Tabel 3. Nilai koefisien perpindahan panas konveksi.....	126
Tabel 4. Emisivitas beberapa material pada 300 K.....	128
Tabel 5. Panas Spesifik Gas Ideal. [1] .....	132
Tabel 6. Panas Spesifik Gas Ideal. [1] .....	133
Tabel 7. Properti beberapa cairan, padatan dan makanan. [1] .....	134
Tabel 8. Properti beberapa cairan, padatan dan makanan. [1] .....	135
Tabel 9. Tabel Temperatur- <i>saturated water</i> . [1].....	136
Tabel 7. Tabel Temperatur- <i>saturated water</i> . [1].....	137
Tabel 8. Tabel Tekanan- <i>saturated water</i> . [1] .....	138
Tabel 9. Tabel Tekanan- <i>saturated water</i> . [1] .....	139
Tabel 10. Tabel <i>superheated water</i> . [1] .....	140
Tabel 11. Tabel <i>superheated water</i> . [1] .....	141
Tabel 12. Tabel <i>superheated water</i> . [1].....	142
Tabel 13. Tabel <i>superheated water</i> . [1] .....	143
Tabel 14. Tabel <i>Compressed liquid water</i> . [1].....	144
Tabel 15. Tabel Saturated ice-water vapor. [1].....	145
Tabel 16. Tabel <i>Saturated refrigerant-134a</i> —Tabel Temperatur. [1] .....	148
Tabel 17. Tabel <i>Saturated refrigerant-134a</i> —Tabel Temperatur. [1] .....	149
Tabel 18. Tabel <i>Saturated refrigerant-134a</i> —Tabel Tekanan. [1] ...	150
Tabel 19. Tabel <i>Superheated refrigerant-134a</i> . [1].....	151
Tabel 20. Tabel <i>Superheated refrigerant-134a</i> . [1].....	152
Tabel 21. Properti dari Atmosfer di ketinggian. [1].....	154
Tabel 22. Properti Gas Ideal dari udara. [1].....	155
Tabel 23. Properti Gas Ideal dari udara. [1].....	156
Tabel 24. Properti Gas Ideal dari Nitrogen, N <sub>2</sub> . [1] .....	157
Tabel 25. Properti Gas Ideal dari Nitrogen, N <sub>2</sub> . [1] .....	158
Tabel 26. Properti Gas Ideal dari Oksigen, O <sub>2</sub> . [1].....	159
Tabel 27. Properti Gas Ideal dari Oksigen, O <sub>2</sub> . [1].....	160
Tabel 28. Properti Gas Ideal dari Karbondioksida, CO <sub>2</sub> . [1] .....	161
Tabel 29. Properti Gas Ideal dari Karbondioksida, CO <sub>2</sub> . [1] .....	162
Tabel 30. Properti Gas Ideal dari Karbonmonooksida, CO. [1] .....	163

Tabel 31. Properti Gas Ideal dari Karbonmonooksida, CO. [1] .....	164
Tabel 32. Properti Gas Ideal dari Hidrogen, H <sub>2</sub> . [1] .....	165
Tabel 33. Properti Gas Ideal dari uap air, H <sub>2</sub> O. [1] .....	166
Tabel 34. Properti Gas Ideal dari uap air, H <sub>2</sub> O. [1] .....	167
Tabel 35. Properti Gas Ideal dari Monoatomic Oksigen, O dan Hidroksil, OH. [1] .....	168
Tabel 36. Properti Gas Ideal dari beberapa bahan bakar dan hidrokarbon. [1] .....	169

## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Kita banyak bersentuhan dalam kehidupan sehari-hari dengan energi. Energi dari makanan yang kita makan menjadi sumber energi untuk kita gunakan dalam kerja atau melakukan aktivitas. Di rumah, kantor dan lingkungan kita, kita juga selalu bersentuhan dengan penggunaan energi, contoh energi listrik untuk kebutuhan pencahayaan dan atau penggunaan alat-alat listrik. Ilmu Termodinamika adalah ilmu tentang energi, sehingga kita dapat mengetahui prinsip-prinsip penting untuk bagaimana energi itu dibangkitkan dan bagaimana menjaga atau meningkatkan efisiensi dari sistem.

Termodinamika adalah satu cabang dari fisika dinamika, yang mempelajari tentang perilaku gerakan energi dan materi, termasuk panas atau kalor (*heat, therm*) sebagai tenaga atau energi, dan juga mencakup dinamika fluida (*fluid dynamics*) yang mempelajari tentang aliran fluida (*fluid flow*), seperti gas, udara, air, dan benda bergerak di dalamnya, materi atau pun energi.

Dinamika fluida mencakup aerodinamika dan hidrodinamika. Ada perbedaan mendasar antara termodinamika dengan aerodinamika dan hidrodinamika. Termodinamika hanya berurusan dengan perilaku panas sebagai tenaga, perubahan kuantitas, perpindahan, aliran, perubahan status, dan efek terjadi karena perubahan, tapi tidak dengan mekanisme bagaimana perubahan tersebut terjadi. Sedangkan aerodinamika dan hidrodinamika berurusan dengan mekanisme

pergerakan dalam aliran. Sehingga dalam kategori, termodinamika dibahas tersendiri sebagai cabang khusus fisika tentang panas, sementara mekanisme aerodinamika dan hidrodinamika dibahas dalam dinamika mekanika. Meski demikian, ada hubungan dan keterkaitan antara tiga cabang fisika ini dalam konteks dinamika. Pembahasan termodinamika dilakukan dalam sistem makro yang mengandung sangat banyak partikel, sehingga variabel atau ubahan termodinamik adalah kuantitas statistik, seperti kompresi atau desakan atau *pressure* [ $P$ ] atau tekanan, temperatur [ $T$ ] atau suhu, dan volume [ $V$ ] ruang lingkup suatu sistem terisolasi, dimana dalam hal ini termodinamika berhubungan dengan dinamika fluida gas, udara, dan air. Meski demikian, dalam konteks tertentu, konsep termodinamika bisa diberlakukan untuk sistem mikro. Termodinamika dan pembahasan termodinamik berlandaskan pada tiga hukum dasar dinamika panas, yang dinamakan sebagai hukum-hukum termodinamik (*laws of thermodynamics*).

## 1.2. Tujuan dan manfaat

Tujuan mempelajari ilmu termodinamika yaitu untuk dapat memahami bentuk-bentuk energi termodinamika dan mengenal hukum-hukum dari Termodinamika.

Adapun beberapa contoh manfaat dengan mempelajari Ilmu Termodinamika yang berhubungan dengan Teknik Mesin adalah salah satunya yaitu mengetahui bagaimana proses pemuaihan gas panas dalam suatu mesin diesel, pemuaihan gas cair dalam sistem pendinginan dan langkah kompresi dalam mesin diesel yang menggunakan proses

adiabatik, bagaimana melakukan analisa tentang pembangkitan listrik dari pelbagai sumber energi, dsb.

### 1.3. Ruang Lingkup Termodinamika

Termodinamika berasal dari bahasa Yunani *thermos* yang artinya kalor/panas dan *dynamic* yang artinya perubahan. Termodinamika adalah ilmu yang berurusan dengan panas dan kerja dan sifat-sifat zat yang berhubungan dengan panas dan kerja. Seperti semua sains, dasar termodinamika adalah observasi eksperimental. Dalam termodinamika, penemuan ini telah diformalkan menjadi hukum dasar tertentu, yang dikenal sebagai hukum termodinamika pertama, kedua, dan ketiga. Selain hukum-hukum ini, hukum nol termodinamika, yang dalam pengembangan logis dari termodinamika mendahului hukum pertama, telah ditetapkan. Termodinamika adalah suatu ilmu yang menggambarkan usaha untuk mengubah kalor (perpindahan energi yang disebabkan perbedaan temperatur) menjadi energi serta sifat-sifat pendukungnya. Termodinamika berhubungan erat dengan fisika energi, panas, kerja, entropi dan kespontanan proses. Termodinamika juga berhubungan dengan mekanika statik, suatu cabang ilmu fisika yang mempelajari pertukaran energi internal bentuk kalor dan kerja, sistem pembatas dan lingkungan.

Prinsip termodinamika terangkum dalam ketiga hukumnya, yaitu:

1. Hukum Termodinamika ke-0: berhubungan dengan kesetimbangan termal atau konsep temperatur.
2. Hukum termodinamika ke-1: Berhubungan dengan konsep *internal energy* dan prinsip kekekalan energi, bahwa energi tidak dapat



diciptakan atau dimusnahkan tapi hanya dapat diubah bentuknya. Di hukum I ini pula ditegaskan tentang perpindahan kalor dan perpindahan kerja dari sebuah sistem.

3. Hukum termodinamika ke-2: memperlihatkan arah perubahan alami distribusi energi dan memperkenalkan prinsip peningkatan entropi. Hukum ke-2 ini menjadi dasar dari analisa rekayasa untuk menentukan jumlah daya guna maksimum yang dapat diperoleh dari sumber energi tertentu.

Secara umum Termodinamika dapat dimanfaatkan untuk:

1. Menjelaskan kerja beberapa sistem termodinamis.
2. Menjelaskan mengapa suatu sistem termodinamis tidak bekerja sesuai dengan yang diharapkan.
3. Menjelaskan mengapa suatu sistem termodinamis sama sekali tidak mungkin dapat bekerja.
4. Landasan teoritis para ahli teknik perencana dalam mendisain suatu sistem termodinamis; misalnya: motor bakar, pompa kalor, motor roket, pusat pembangkit tenaga listrik, turbin gas, mesin pendingin, kabel transmisi superkonduktor, LASER daya tinggi, dan mesin pemanas surya.

**Termodinamika** memusatkan perhatiannya tentang:

1. Ketetapan energi.
2. Ketetapan entropi, dalam arti, proses yang menghasilkan entropi mungkin dapat terjadi, namun proses yang menghapuskan entropi mustahil terjadi.

3. Entropi yang dapat digunakan untuk menentukan jumlah daya berguna maksimum yang dapat diperoleh dari berbagai sumber energi untuk melakukan kerja.

#### 1.4. Petunjuk Penggunaan Buku

Untuk dapat memahami dengan baik dan optimal penggunaan buku ajar ini, maka adalah hal penting untuk membaca petunjuk penggunaan buku ajar ini sebagai berikut:

1. Setiap bab diawali dengan memperkenalkan tujuan pembelajaran dari setiap bab, supaya setiap pembaca dapat memiliki konsep jelas tentang apa yang hendak disampaikan oleh salah satu bab itu.
2. Peta konsep yang disampaikan dalam setiap bab ditunjukkan oleh setiap judul subbab dan memiliki korelasi satu dengan yang lainnya dengan topik utama dari masing-masing bab.
3. Materi berisi penjelasan konsep dan aplikasinya.
4. Contoh soal memiliki tujuan agar setiap konsep yang telah dipaparkan dan dijelaskan dalam materi dapat terhubung secara analisa dengan persoalan yang riil.
5. Latihan soal adalah tantangan untuk merangkul pemahaman tentang konsep menjadi permanen dalam diri sendiri dan siap diaplikasikan secara alami dalam kondisi real yang berbeda-beda.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Cengel and M. Boles, *Thermodynamics An Engineering Approach*, Fifth. McGraw-Hill College, Boston, MA, 2014.
- [2] Y. Cengel and M. Boles, "Thermodynamics an Engineering Approach (Chapter 5)," in *McGraw-Hill College, Boston, MA*, vol. fifth edit, 2014.
- [3] Anonim, "Hukum, Sistem, dan Proses Termodinamika Lengkap,"  
<https://www.utakatikotak.com/kongkow/detail/14034/Hukum-Sistem-dan-Proses-Termodinamika-Lengkap>, 2020.  
[Online]. Available:  
<https://www.utakatikotak.com/kongkow/detail/14034/Hukum-Sistem-dan-Proses-Termodinamika-Lengkap>.
- [4] H. Rustamaji, "Fasa dan Aturan Fasa,"  
<https://herirustamaji.wordpress.com/2012/05/22/fasa-dan-aturan-fasa/>, 2012. .
- [5] C. Borgnakke and R. E. Sonntag, *Fundamentals of Thermodynamics*, Seventh Ed. Jhon Wiley & Sons, Inc., 2009.
- [6] Dendi, "Siklus Carnot,"  
<http://gipeng.blogspot.com/2012/04/siklus-carnot.html>, 2012. .
- [7] Anonim, "Termodinamika (1)-Power Point."
- [8] M. J. Moran and H. N. Shapiro, *Fundamentals of Engineering Thermodynamics*, Fifth Edit. Jhon Wiley & Sons, Inc., 2006.
- [9] Y. A. Cengel, *Heat Transfer: A Practical Approach*, Second Edi. McGraw-Hill, New York, 2002.
- [10] I. Puspasari, "Termodinamika (1)-Power Point."
- [11] M. J. Moran, H. N. Shapiro, B. R. Munson, and D. P. DeWitt, *Introduction to Thermal Systems Engineering: Thermodynamics, Fluid Mechanics, and Heat Transfer*. 2003.
- [12] Djukarna, "Siklus Rankine,"  
<https://djukarna.wordpress.com/termodinamika/siklus-rankine/>, 2015. .

- [13] M. Gaffar, "Petualangan Filosofis Hukum Kedua Termodinamika," <https://medium.com/@m.gaffar/petualangan-filosofis-hukum-kedua-termodinamika-77576a526ad>, 2016. [Online]. Available: <https://medium.com/@m.gaffar/petualangan-filosofis-hukum-kedua-termodinamika-77576a526ad>.
- [14] P. R. Ansyah and M. N. Ramadhan, *BUKU AJAR Termodinamika Teknik I*. 2018. [15] P. Rompas, *Buku Ajar Termodinamika Teknik I*. Universitas Negeri Manado (UNIMA Press), 2015.
- [16] M. Hazwi, Zamanhuri, and T. B. Sitorus, *Buku ajar MK. Termodinamika Teknik i*. UNiversitas Sumatera Utara, 2007.
- [17] T. Dosen, *Buku Ajar Termodinamika Teknik I*. UNiversitas Wijaya Putra Surabaya. [18] A. Daryus, "Diktat Kuliah Termodinamika Teknik I," 2007.
- [19] B. Hasan, *Bahan Ajar Termodinamika*. POLiteknik Negeri Ujung Pandang, 2015. [20] A. Khuriati, "Buku Ajar Termodinamika." Universitas Diponegoro, 2007.
- [21] A. A. Hamid, "Diktat Kuliah Termodinamika," 2007.
- [22] N. Fitasari, M. Oktaviani, N. Asyiqin, and L. Aryanto, "Makalah Sistem Termodinamika," 2017.
- [23] J. O'Connel and J. . Haile, *Thermodynamics Fundamentals for Applications*. 2005.
- [24] E. L. Junior, *Thermodynamics: Processes and Applications*. New York: Marcel Dekker, Inc., 1999.
- [25] U. Departement of Energy, DOE FUNDAMENTALS HANDBOOK THERMODYNAMICS, HEAT TRANSFER, AND FLUID FLOW Volume 1 of 3, vol. 1, no. June. 1992