

# Rekayasa Sistem Termal dan Energi

**Rahadian Nopriantoko**



CV Jejak, 2024

# Rekayasa Sistem Termal dan Energi

Copyright © CV Jejak, 2024

**Penulis:**

Rahadian Nopriantoko

**ISBN** 978-623-498-621-1

**ISBN** 978-623-498-622-8 (PDF) ; Edisi Digital, 2024

**Editor:**

Hani Wijayanti

**Desain Sampul:**

Seegna Design Graphic

**Penerbit:**

CV Jejak, anggota IKAPI

**Redaksi:**

Jln. Bojong genteng Nomor 18, Kec. Bojong genteng

Kab. Sukabumi, Jawa Barat 43353

Web : [www.jejakpublisher.com](http://www.jejakpublisher.com)

E-mail : [publisherjejak@gmail.com](mailto:publisherjejak@gmail.com)

Facebook : Jejak Publisher

Instagram : @publisherjejak

Twitter : @JejakPublisher

WhatsApp : +6281774845134

Cetakan Pertama, Februari 2024

1135 halaman; 15,5 x 23 cm

Hak cipta dilindungi undang-undang  
Dilarang memperbanyak maupun mengedarkan buku dalam bentuk dan  
dengan cara apapun tanpa izin tertulis dari penerbit

*Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu Yang Menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Pemurah, yang mengajar (manusia) dengan perantaraan qalam. Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya.*

### **Al-Alaq: 1-5**

*Barangsiapa yang hendak menginginkan dunia, maka hendaklah ia menguasai ilmu. Barangsiapa menginginkan akhirat hendaklah ia menguasai ilmu, dan barangsiapa yang menginginkan keduanya (dunia dan akhirat) hendaklah ia menguasai ilmu.*

**Muhammad SAW**

---

# PRAKATA

---

*Bismillahirrahmanirrahim*, buku referensi ilmiah berjudul “**REKAYASA SISTEM TERMAL DAN ENERGI**” ini telah diupayakan oleh penulis untuk disusun secara sistematis dan padat melalui penjelasan ilmiah yang logis dan relatif mudah dipahami. Sehingga dengan demikian besar harapan penulis, semoga kehadiran buku ini dapat memberikan manfaat yang besar untuk berbagai kalangan baik itu akademisi, peneliti, saintis, insinyur, praktisi, mahasiswa dan masyarakat umum lainnya. Serta dapat menjadi tambahan berharga bagi khasanah ilmu pengetahuan.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung karya ini hingga dapat selesai sebagaimana yang kini ada di hadapan pembaca. Khususnya kepada istri dan anak-anak penulis yang telah ikhlas mensupport dan mendoakan, meskipun aktivitas tersebut telah mengurangi waktu dan perhatian untuk mereka. Oleh karena itu sebagai tanda kecintaan penulis, maka buku ini didedikasikan untuk keluarganya.

Ibarat peribahasa ‘tak ada gading yang tak retak’, maka begitu juga tak ada penulis yang tak memiliki kekurangan dan kesalahan. Menyadari akan hal tersebut, maka dengan penuh hormat dan rasa syukur penulis sangat mengharapakan serta berterima kasih atas saran dan masukan yang membangun dari para pembaca, guna penyempurnaan revisi buku ini untuk terbitan edisi berikutnya. Akhir kalam, insya Allah semoga apa yang telah diupayakan ini semua dapat menjadi amal jariyah ilmu bagi penulis. *Alhamdulillah, shollu ala Muhammad SAW.*

Penulis,

Rahadian Nopriantoko



---

# DAFTAR ISI

---

PRAKATA.....	iv
DAFTAR ISI .....	v
DAFTAR GAMBAR.....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xxi
BAB 1 MENGENAL REKAYASA SISTEM TERMAL DAN ENERGI.....	22
1.1. Pengantar Rekayasa Sistem Termal dan Energi .....	23
1.2. Pentingnya Sistem Termal dan Energi .....	25
1.3. Peranan Sistem Termal dan Energi .....	27
BAB 2 VARIABEL DASAR DAN SIFAT TERMODINAMIKA.....	30
2.1. Suhu .....	30
2.2. Panas .....	33
2.3. Termal.....	34
2.4. Kalor.....	37
2.5. Tekanan .....	41
2.6. Volume .....	42
2.7. Massa Jenis.....	43
2.8. Variabel Spesifik .....	45
2.9. Jumlah Mol .....	46
2.10. Daya Termal .....	48
2.11. Fase Zat .....	49
2.12. Keadaan Fase dan Sifat Termodinamika .....	53
BAB 3 TERMODINAMIKA GAS.....	57
3.1. Hukum Gas dan Gas Ideal .....	59
3.2. Gas Real dan Gas Deuterium.....	62

3.3. Energi, Panas, Kerja dalam Proses Gas .....	66
3.4. Proses Termodinamika Gas Ideal.....	70
3.5. Proses Adiabatik dan Isentropik Gas Ideal .....	75
3.6. Teori Kinetik Gas .....	81
3.7. Gas Monoatomik, Diatomik, Poliatomik.....	86
3.8. Mesin Carnot.....	90
3.9. Mesin Otto .....	95
3.10. Mesin Diesel.....	102
3.11. Siklus Rankine.....	109
3.12. Siklus Brayton.....	117
3.13. Aplikasi dalam Mesin Termal.....	123
<b>BAB 4 KESETIMBANGAN TERMAL.....</b>	<b>125</b>
4.1. <i>Overview</i> Hukum Kesetimbangan Termal .....	126
4.2. Konsep Hukum Kesetimbangan Termal .....	128
4.3. Teori Termal Molekuler .....	131
4.4. Aplikasi dalam Rekayasa Sistem Termal.....	136
4.5. Penerapan dalam Industri dan Teknologi.....	140
<b>BAB 5 KEKEKALAN ENERGI.....</b>	<b>143</b>
5.1. Konsep Dasar Energi.....	144
5.2. Hukum Ke-1 Termodinamika .....	148
5.3. Sistem dan Lingkungan.....	151
5.4. Perubahan Energi dan Sistem .....	155
5.5. Perubahan Energi dalam Siklus Termodinamika.....	158
5.6. Proses Energi dalam Sistem Termal.....	160
5.7. Aplikasi dalam Mesin Termal .....	163
<b>BAB 6 ENTROPI.....</b>	<b>166</b>
6.1. Tentang Entropi .....	167

6.2. Perubahan Entropi .....	173
6.3. Entropi dan Perubahan Fase .....	176
6.4. Entropi dan Kestimbangan Termal .....	180
6.5. Entropi dan Kekekalan Energi.....	183
6.6. Entropi dan Kehidupan.....	186
<b>BAB 7 HUKUM NOL MUTLAK.....</b>	<b>190</b>
7.1. Mengenal Hukum Nol Mutlak .....	187
7.2. Persamaan Nol Mutlak .....	192
7.3. Aplikasi Hukum Nol Mutlak.....	198
7.4. Batasan Termodinamika.....	202
<b>BAB 8 MEKANIKA TERMOFLUIDA.....</b>	<b>207</b>
8.1. Pengenalan Mekanika Termofluida .....	208
8.2. Prinsip Dasar .....	212
8.3. Persamaan Dasar .....	218
8.4. Aliran Fluida dalam Pipa dan Saluran.....	221
8.5. Aliran Fluida pada Permukaan Padat .....	229
8.6. Konveksi Termal.....	240
8.7. Aplikasi Mekanika Termofluida .....	244
8.8. Simulasi dan Pemodelan.....	247
<b>BAB 9 PERPINDAHAN PANAS.....</b>	<b>250</b>
9.1. Pengantar Perpindahan Panas.....	251
9.2. Konduksi Panas.....	253
9.3. Difusi Termal.....	259
9.4. Efusi Termal.....	265
9.5. Konveksi Panas .....	270
9.6. Radiasi Termal .....	281
9.7. Perpindahan Panas dalam Sistem Termal .....	288

9.8. Perpindahan Panas dalam Proses Industri .....	291
9.9. Perpindahan Panas dalam Lingkungan Hidup .....	293
<b>BAB 10 ENTALPI.....</b>	<b>297</b>
10.1. Definisi dan Konsep.....	298
10.2. Entalpi dan Energi Internal.....	302
10.3. Entalpi dan Perubahan Fase .....	306
10.4. Entalpi Pembentukan dan Hukum Hess .....	310
10.5. Perubahan Entalpi Reaksi dan Energi Gibbs.....	318
10.6. Entalpi dan Kekekalan Energi.....	324
10.7. Entalpi dalam Proses Termodinamika.....	326
10.8. Perubahan Entalpi dalam Sistem Terbuka.....	329
10.10. Entalpi Standar dan Aplikasi .....	334
10.11. Aplikasi dalam Rekayasa Sistem Termal .....	336
10.12. Entalpi dan Kestimbangan Reaksi .....	339
10.13. Entalpi dan Energi Alternatif .....	341
10.14. Implikasi dan Studi Kasus .....	344
<b>BAB 11 SISTEM REFRIGERASI.....</b>	<b>347</b>
11.1. Pengenalan Sistem Refrigerasi.....	348
11.2. Prinsip Dasar Sistem Refrigerasi.....	352
11.3. Komponen Sistem Refrigerasi .....	362
11.4. Siklus Refrigerasi Kompresi Uap .....	368
11.5. Jenis Sistem Refrigerasi .....	378
11.6. Efisiensi dan Kinerja Sistem Refrigerasi .....	382
11.7. Psikrometrik .....	386
11.8. Proses Pendinginan .....	393
11.9. Aplikasi Sistem Refrigerasi .....	394
11.10. Tantangan dan Inovasi .....	401

BAB 12 SISTEM POMPA PANAS .....	406
12.1. Pengenalan Sistem Pompa Panas .....	407
12.2. Prinsip Dasar Sistem Pompa Panas .....	411
12.3. Komponen Utama Sistem Pompa Panas .....	417
12.4. Proses Termodinamika Pompa Panas .....	423
12.5. Efisiensi dan Kinerja Sistem Pompa Panas .....	428
12.6. Jenis Pompa Panas dan Aplikasinya .....	433
12.7. Tantangan dan Inovasi .....	440
12.8. Perbandingan dengan Sistem Lain .....	445
BAB 13 SISTEM PEMANAS UDARA.....	407
13.1. Pengenalan Sistem Pemanas Udara.....	450
13.2. Prinsip Dasar Sistem Pemanasan Udara .....	454
13.3. Komponen Utama Sistem Pemanas Udara .....	459
13.4. Jenis Sistem Pemanas Udara.....	464
13.5. Perancangan Sistem Pemanas Udara.....	471
13.6. Analisis Efisiensi dan Performa .....	474
13.7. Penerapan Sistem Pemanas Udara dalam Industri .....	477
13.8. Pemeliharaan dan Perawatan.....	479
13.9. Tantangan dan Inovasi .....	482
BAB 14 SISTEM PEMANAS AIR .....	486
14.1. Pengenalan Sistem Pemanas Air.....	487
14.2. Prinsip Dasar Sistem Pemanasan Air.....	490
14.3. Komponen Utama Sistem Pemanas Air.....	496
14.4. Perancangan Sistem Pemanas Air.....	503
14.5. Analisis Efisiensi dan Performa .....	505
14.6. Penerapan Sistem Pemanas Air Berbagai Aplikasi.....	512
14.7. Pemeliharaan dan Perawatan .....	515

14.8. Tantangan dan Inovasi Terbaru .....	518
<b>BAB 15 SISTEM TENAGA UAP .....</b>	<b>522</b>
15.1. Pengenalan Sistem Tenaga Uap .....	523
15.2. Prinsip Kerja Sistem Tenaga Uap .....	527
15.3. Jenis Boiler dan Bahan Bakar .....	535
15.4. Efisiensi dan Kinerja Sistem.....	537
15.5. Analisis OFWH dan CFWH .....	542
15.6. Kelebihan dan Kekurangan Sistem Tenaga Uap.....	549
15.7. Aplikasi Sistem Tenaga Uap .....	552
15.8. Tantangan dan Inovasi .....	555
15.9. Dampak Lingkungan dan Solusi Berkelanjutan.....	558
15.10. Masa Depan Sistem Tenaga Uap.....	561
<b>BAB 16 SISTEM TENAGA GAS.....</b>	<b>565</b>
16.1. Pengenalan Sistem Tenaga Gas.....	565
16.2. Jenis Bahan Bakar Gas .....	570
16.3. Prinsip Kerja Sistem Tenaga Gas.....	571
16.4. Siklus Brayton dan Proses Termodinamika .....	580
16.5. Efisiensi dan Kinerja Sistem.....	582
16.6. Kelebihan dan Kekurangan Sistem Tenaga Gas .....	585
16.7. Aplikasi Sistem Tenaga Gas.....	588
16.8. Tantangan dan Inovasi .....	594
16.9. Dampak Lingkungan dan Solusi Berkelanjutan.....	597
16.10. Masa Depan Sistem Tenaga Gas .....	601
<b>BAB 17 DASAR KONVERSI ENERGI .....</b>	<b>605</b>
17.1. Pengantar Konversi Energi .....	602
17.2. Bentuk dan Sumber Energi .....	610
17.3. Konsep Konversi Energi.....	622

17.4. Efisiensi Konversi Energi.....	625
17.5. Perangkat dan Mesin Konversi Energi.....	630
17.6. Aplikasi Konversi Energi .....	633
17.7. Konversi Energi terhadap Penghematan Energi.....	639
17.8. Tantangan dan Inovasi .....	642
<b>BAB 18 PROSES PERANCANGAN SISTEM TERMAL DAN ENERGI</b>	<b>648</b>
18.1. Pendahuluan Proses Perancangan.....	649
18.2. Analisis Kebutuhan .....	655
18.3. Pemilihan Sistem Konversi .....	660
18.4. Pemilihan Bahan dan Komponen.....	687
18.5. Desain Sistem dan Integrasi.....	691
18.6. Analisis Kinerja Sistem Termal dan Energi .....	696
18.7. Simulasi dan Pemodelan .....	703
18.8. Perawatan dan Pengoperasian .....	708
18.9. Pertimbangan Etik Lingkungan .....	714
18.10. Studi Kasus.....	719
<b>BAB 19 KOMPONEN UTAMA SISTEM TERMAL DAN ENERGI.....</b>	<b>723</b>
19.1. Turbin .....	724
19.2. Kompresor .....	731
19.3. Pompa Umpan.....	736
19.4. Boiler .....	740
19.5. Penukar Kalor .....	744
19.6. Katup Ekspansi.....	749
19.7. Evaporator .....	754
19.8. Kondensor.....	759
19.9. Integrasi Komponen .....	764
19.10. Studi Kasus dan Aplikasi Nyata .....	767

BAB 20 EFISIENSI DAN PERFORMA SISTEM TERMAL DAN ENERGI.....	771
20.1. Pengantar Efisiensi and Performa.....	772
20.3. Efisiensi dan Performa dalam Siklus Termal .....	779
20.4. Evaluasi Efisiensi dan Performa .....	782
20.5. Pengaruh Variabel Proses .....	785
20.6. Metode Peningkatan Efisiensi dan Performa.....	788
20.7. Pengukuran dan Monitoring .....	794
20.8. Faktor Penurunan Efisiensi dan Performa .....	797
20.9. Studi Kasus Efisiensi dan Performa.....	800
20.10. Kaitan dengan Keberlanjutan dan Lingkungan.....	802
20.11. Pengembangan Teknologi dan Inovasi .....	805
BAB 21 KENDALI DAN OTOMASI SISTEM TERMAL DAN ENERGI	809
21.1. Mengenal Kendali dan Otomasi Sistem.....	810
21.2. Jenis Kendali dalam Sistem Termal dan Energi.....	814
21.3. Komponen Sistem Kendali .....	819
21.4. Otomasi dalam Sistem Termal .....	826
21.5. Pengaturan dan Tuning Kendali .....	829
21.6. Kendali Prediktif dan Teknologi Terkini.....	832
21.7. Keamanan dan Keandalan Kendali.....	835
21.8. Integrasi Sistem Kendali.....	838
21.9. Studi Kasus Kendali dan Otomasi .....	842
21.10. Tantangan dan Peluang .....	846
21.11. Kontribusi Keberlanjutan dan Energi Bersih .....	850
BAB 22 TEKNIK DAN STRATEGI OPTIMALISASI SISTEM TERMAL DAN ENERGI.....	852
22.1. Pentingnya Optimalisasi.....	853



22.2. Analisis Kinerja Awal.....	856
22.3. Identifikasi Potensi Optimalisasi.....	860
22.4. Teknik Peningkatan Efisiensi.....	863
22.5. Strategi Pengoptimalan Operasional.....	866
22.6. Simulasi dan Model Matematika.....	870
22.7. Analisis Sensitivitas.....	876
22.8. Integrasi EBT dan Teknologi Bersih.....	879
22.9. Pengukuran Hasil dan Evaluasi.....	882
22.10. Tantangan dan Studi Kasus.....	885
<b>BAB 23 PERAWATAN DAN PEMELIHARAAN SISTEM TERMAL DAN ENERGI.....</b>	<b>889</b>
23.1. Urgensi Perawatan dan Pemeliharaan.....	890
23.2. Perawatan Preventif dan Prediktif.....	900
23.3. Perawatan Berkala dan Korektif.....	907
23.4. Perawatan <i>Breakdown</i> dan <i>Design-Out</i> .....	912
23.5. Deteksi Dini Gangguan.....	918
23.6. Manajemen Material.....	922
23.7. Perbaikan dan Restorasi.....	926
23.8. Keamanan dan Keselamatan.....	929
23.9. Pemantauan Kondisi.....	933
23.10. Pelatihan dan Keterampilan.....	936
23.11. Pengoptimalan Jangka Panjang.....	939
23.12. Tantangan dan Studi Kasus.....	943
<b>BAB 24 K3LH PADA SISTEM TERMAL DAN ENERGI.....</b>	<b>948</b>
24.1. Pengantar K3LH.....	949
24.2. Identifikasi Risiko dan Dampak K3LH.....	954
24.3. Manajemen Risiko dan Dampak K3LH.....	963

24.4. Pengelolaan Limbah dan Bahan Berbahaya .....	967
24.5. Aspek Perhitungan Dasar dalam Kontrol K <sub>3</sub> .....	974
24.6. Aspek Perhitungan Dasar pada Lingkungan Hidup.....	978
24.7. Relevansi dan Implementasi ISO 45001 .....	981
24.8. Relevansi dan Implementasi ISO 14001 .....	986
24.9. Evakuasi dan Penyelamatan Darurat .....	993
24.10. Kebijakan dan Regulasi Lingkungan.....	1001
<b>BAB 25 PENDAYAGUNAAN EBT DALAM SISTEM TERMAL</b>	
<b>DAN ENERGI.....</b>	<b>1008</b>
25.1. Tentang Energi Baru Terbarukan (EBT) .....	1009
25.2. Keunggulan dan Potensi EBT .....	1014
25.3. Integrasi EBT dalam Sistem Termal dan Energi .....	1019
25.4. Teknologi Koversi EBT .....	1027
25.5. Manajemen dan Pengendalian Sistem EBT.....	1036
25.6. Analisis Ekonomi dan Keberlanjutan.....	1041
25.7. Studi Kasus dan Tantangan Kendala .....	1048
25.8. Inovasi dan Riset Masa Depan.....	1056
<b>BAB 26 INOVASI TERKINI DALAM TEKNOLOGI SISTEM TERMAL</b>	
<b>DAN ENERGI.....</b>	<b>1061</b>
26.1. Selayang Pandang Inovasi Teknologi.....	1062
26.2. Material Inovatif.....	1067
26.3. Teknologi Pemanfaatan Panas Buangan .....	1071
26.4. Penggunaan Teknologi EBT .....	1075
26.5. Pemantauan dan Kendali Otomatis .....	1078
26.6. Nanoteknologi dalam Sistem Termal dan Energi .....	1082
26.7. Integrasi <i>Smart Grid</i> dan Manajemen Energi .....	1086
26.8. Sistem Termal Berkelanjutan.....	1094

26.9. Penelitian dan Eksperimen Terbaru.....	1097
26.10. Tantangan dan Peluang .....	1100
<b>BAB 27 MASA DEPAN REKAYASA SISTEM TERMAL DAN ENERGI .....</b>	<b>1105</b>
27.1. Arah Pengembangan Sistem Termal dan Energi.....	1106
27.2. Konsep EBT dalam Sistem Termal dan Energi .....	1109
27.3. Evolusi Jaringan Energi Pintar .....	1112
27.4. Pengembangan Pemanfaatan Panas Buangan .....	1116
27.6. Sistem Kendali Otomatis yang Lebih Canggih .....	1123
27.7. Sistem Termal Berkelanjutan Ramah Lingkungan .....	1127
27.8. Penelitian Eksperimen dan Simulasi .....	1130
27.9. Inovasi dalam Penyimpanan Energi .....	1134
27.10. Keamanan dan Keandalan Sistem Termal .....	1138
27.11. Dampak dan Peluang bagi Masyarakat .....	1142
27.12. Proyeksi Masa Depan Rekayasa Sistem Termal.....	1146
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>1150</b>
<b>APENDIKS .....</b>	<b>1152</b>
<b>TENTANG PENULIS .....</b>	<b>1154</b>

---

# DAFTAR GAMBAR

---

Gambar 1. 1 Ilustrasi Bab 1.....	23
Gambar 2. 1 Ilustrasi Bab 2 .....	30
Gambar 2. 2 Diagram T-h dari Senyawa Air.....	52
Gambar 3. 1 Ilustrasi Bab 3 .....	59
Gambar 3. 2 Diagram Proses Isobarik .....	71
Gambar 3. 3 Diagram Proses Isokhorik.....	72
Gambar 3. 4 Diagram Proses Isotermik.....	74
Gambar 3. 5 Diagram Proses Adiabatik .....	76
Gambar 3. 6 Diagram Proses Isentropik.....	79
Gambar 3. 7 Diagram Proses Polytropik.....	81
Gambar 3. 8 Tiga Derajat Kebebasan.....	86
Gambar 3. 9 Lima Derajat Kebebasan.....	87
Gambar 3. 10 Tujuh Derajat Kebebasan .....	90
Gambar 3. 11 Tahapan Kerja Mesin Carnot.....	91
Gambar 3. 12 Tahapan Kerja Mesin Otto.....	96
Gambar 3. 13 Tahapan Kerja Mesin Diesel .....	103
Gambar 3. 14 Tahapan Kerja Mesin Siklus Rankine.....	112
Gambar 3. 15 Tahapan Kerja Mesin Siklus Brayton .....	119
Gambar 4. 1 Ilustrasi Bab 4 .....	126
Gambar 4. 2 Keseimbangan Termal .....	127
Gambar 5. 1 Ilustrasi Bab 5.....	144
Gambar 5. 2 Sistem Perubahan Energi Dalam.....	149
Gambar 5. 3 Sistem dan Lingkungan.....	152
Gambar 5. 4 Sistem Termodinamika .....	153
Gambar 6. 1 Ilustrasi Bab 6 .....	167
Gambar 6. 2 Proses Entropi .....	169
Gambar 7. 1 Ilustrasi Bab 7.....	190
Gambar 7. 2 Diagram Hukum Nol Mutlak .....	199

Gambar 7. 3 Sifat Molekul Air pada Berbagai Suhu .....	206
Gambar 8. 1 Ilustrasi Bab 8 .....	208
Gambar 8. 2 Asas Persamaan Bernoulli .....	214
Gambar 8. 3 Persamaan Kontinuitas .....	216
Gambar 8. 4 Aliran Udara dan Gaya Angkat pada Sayap Pesawat...230	
Gambar 8. 5 Efek Coanda pada Benda Lengkung .....	231
Gambar 8. 6 Diagram Moody .....	237
Gambar 9. 1 Ilustrasi Bab 9 .....	251
Gambar 9. 2 Proses Konduksi.....	253
Gambar 9. 3 Proses Difusi .....	260
Gambar 9. 4 Proses Efusi .....	265
Gambar 9. 5 Proses Konveksi .....	271
Gambar 9. 6 Proses Radiasi.....	281
Gambar 10. 1 Ilustrasi Bab 10 .....	298
Gambar 10. 2 Perubahan Entalpi dalam Suatu Reaksi.....	313
Gambar 11. 1 Ilustrasi Bab 11 .....	348
Gambar 11. 2 Ragam Jenis Refrigeran.....	356
Gambar 11. 3 Skema Air Conditioning .....	370
Gambar 11. 4 Skema Refrigerasi .....	371
Gambar 11. 5 Diagram Siklus Refrigerasi .....	374
Gambar 11. 6 Diagram Psikrometrik.....	388
Gambar 12. 1 Ilustrasi Bab 12 .....	407
Gambar 12. 2 Proses Perpindahan Panas pada Pompa Panas.....	413
Gambar 12. 3 Skema Proses Pompa Panas.....	414
Gambar 12. 4 Proses Isentropik pada Pompa Panas .....	428
Gambar 12. 5 Aplikasi Pompa Panas .....	435
Gambar 13. 1 Ilustrasi Bab 13 .....	450
Gambar 13. 2 Skema Sistem Kontrol Pemanas Udara .....	462
Gambar 13. 3 Bagian-Bagian HVAC .....	466
Gambar 13. 4 Diagram HVAC .....	468
Gambar 13. 5 Ragam Pemanas Udara Lokal .....	470

Gambar 14. 1 Ilustrasi Bab 14 .....	487
Gambar 14. 2 Diagram Kerja Pemanas Air .....	495
Gambar 14. 3 Diagram Kerja Dispenser Air .....	496
Gambar 14. 4 Skema Pemanas Air Tenaga Listrik.....	497
Gambar 14. 5 Skema Pemanas Air Tenaga Gas .....	499
Gambar 14. 6 Skema Pemanas Air Tenaga Surya.....	500
Gambar 15. 1 Ilustrasi Bab 15 .....	523
Gambar 15. 2 Siklus Rankine dalam Sistem Tenaga Uap .....	529
Gambar 15. 3 Skema Kerja OFWH.....	543
Gambar 15. 4 Diagram T-s Analisis OFWH .....	544
Gambar 15. 5 Skema Kerja CFWH.....	546
Gambar 15. 6 Diagram T-s Analisis CFWH.....	547
Gambar 16. 1 Ilustrasi Bab 16 .....	565
Gambar 16. 2 Siklus Sistem Tenaga Gas.....	576
Gambar 16. 3 Aplikasi Sistem Tenaga Gas pada Mesin Jet .....	590
Gambar 16. 4 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Uap dan Gas.....	593
Gambar 17. 1 Ilustrasi Bab 17.....	606
Gambar 17. 2 Diagram Konversi Energi .....	608
Gambar 17. 3 Skema Umum Konversi Energi.....	609
Gambar 17. 4 Proses Konversi Energi pada PLTU .....	625
Gambar 17. 5 Nilai Efisiensi Konversi Energi.....	627
Gambar 18. 1 Ilustrasi Bab 18.....	649
Gambar 18. 2 Diagram Siklus Kalina .....	663
Gambar 18. 3 Diagram Siklus Organik Rankine .....	667
Gambar 18. 4 Diagram Mesin Stirling.....	670
Gambar 18. 5 Diagram Mesin Ericsson.....	675
Gambar 18. 6 Diagram Mesin Termal Elektrokimia.....	678
Gambar 18. 7 Siklus Atkinson dan Miller .....	682
Gambar 18. 8 Diagram Sistem Termal Energi Surya.....	691
Gambar 19. 1 Ilustrasi Bab 19 .....	724
Gambar 19. 2 Contoh Berbagai Macam Turbin .....	725

Gambar 19. 3 Contoh Berbagai Macam Kompresor .....	732
Gambar 19. 4 Contoh Berbagai Macam Pompa Umpan .....	737
Gambar 19. 5 Contoh Berbagai Macam Boiler .....	741
Gambar 19. 6 Contoh Berbagai Macam Penukar Kalor .....	745
Gambar 19. 7 Contoh Berbagai Macam Katup Ekspansi.....	750
Gambar 19. 8 Contoh Berbagai Macam Evaporator.....	755
Gambar 19. 9 Contoh Berbagai Macam Kondensor .....	760
Gambar 20. 1 Ilustrasi Bab 20.....	772
Gambar 20. 2 Infografik Efisiensi Energi Motor Bakar .....	792
Gambar 21. 1 Ilustrasi Bab 21 .....	810
Gambar 21. 2 Diagram Dasar Proses Sistem Kendali dan Otomasi...	811
Gambar 21. 3 Diagram Kontrol PID .....	816
Gambar 21. 4 Diagram Transfer Function .....	817
Gambar 21. 5 Diagram Kendali On-off.....	818
Gambar 21. 6 Diagram SCADA .....	819
Gambar 21. 7 Contoh Berbagai Macam Sensor.....	820
Gambar 21. 8 Contoh Berbagai Macam Aktuator .....	821
Gambar 21. 9 Contoh Kontroler .....	822
Gambar 21. 10 Diagram Sistem Pemantauan.....	823
Gambar 21. 11 Diagram Sistem Pengaturan dan Otomasi .....	823
Gambar 21. 12 Diagram Konsep Smart grid dan Smart Control .....	841
Gambar 22. 1 Ilustrasi Bab 22.....	853
Gambar 22. 2 Grafik Metode Newton Rhapson.....	875
Gambar 23. 1 Ilustrasi Bab 23.....	890
Gambar 23. 2 Klasifikasi Jenis Perawatan .....	894
Gambar 23. 3 Diagram Proses Kerja Perawatan Preventif.....	901
Gambar 23. 4 Diagram Proses Kerja Perawatan Prediktif .....	904
Gambar 23. 5 Diagram Proses Kerja Perawatan Berkala .....	908
Gambar 23. 6 Diagram Proses Kerja Perawatan Korektif .....	910
Gambar 23. 7 Diagram Proses Kerja Perawatan Breakdown.....	914
Gambar 23. 8 Relasi Kerja Perawatan Design-Out.....	917

Gambar 23. 9 Diagram Alir Kerja Sistem Manajemen Material.....	923
Gambar 23. 10 Diagram Alir Perbaikan dan Restorasi Sistem Termal.....	927
Gambar 24. 1 Ilustrasi Bab 24 .....	949
Gambar 24. 2 Skema Penerapan Sistem K <sub>3</sub> LH.....	951
Gambar 25. 1 Ilustrasi Bab 25 .....	1009
Gambar 25. 2 Aneka Macam Sumber Daya EBT.....	1011
Gambar 25. 3 Kebijakan Transisi EBT .....	1025
Gambar 25. 4 Faktor Penggerak Pengembangan EBT .....	1030
Gambar 26. 1 Ilustrasi Bab 26 .....	1062
Gambar 26. 2 Siklus Pengembangan Inovasi.....	1064
Gambar 26. 3 Diagram Proses Pemanfaatan Panas Buangan .....	1073
Gambar 26. 4 Diagram Proses Kendali Otomasi .....	1080
Gambar 26. 5 Diagram Integrasi Smart grid.....	1087
Gambar 26. 6 Diagram Sistem Manajemen Energi.....	1093
Gambar 27. 1 Ilustrasi Bab 27 .....	1106
Gambar 27. 2 Diagram Inovasi Sistem Penyimpanan Energi .....	1135



---

# DAFTAR TABEL

---

Tabel 2. 1 Nilai Kalor Jenis.....	38
Tabel 2. 2 Nilai Massa Jenis.....	44
Tabel 6. 1 Nilai Molar Entropi.....	180
Tabel 8. 1 Nilai Kekasaran Permukaan Pipa.....	238
Tabel 9. 1 Nilai Koefisien Konduktivitas.....	256
Tabel 9. 2 Nilai Koefisien Difusivitas.....	262
Tabel 9. 3 Nilai Koefisien Konveksitivitas.....	273
Tabel 9. 4 Nilai Koefisien Emisivitas.....	286
Tabel 10. 1 Nilai Perubahan Entalpi Pembentukan.....	314
Tabel 10. 2 Nilai Perubahan Entalpi Pembakaran.....	315
Tabel 10. 3 Nilai Perubahan Entalpi Penguraian.....	315
Tabel 11. 1 Nilai Zat Refrigeran.....	359
Tabel 14. 1 Komparasi Pemanas Air Skala Rumah Tangga.....	513
Tabel 17. 1 Berbagai Macam Satuan Energi.....	607
Tabel 24. 1 Matriks Identifikasi Risiko.....	961
Tabel 24. 2 Diagram Kerangka Kerja Implementasi ISO 45001.....	983
Tabel 24. 3 Diagram Kerangka Kerja Implementasi ISO 14001.....	988
Tabel 24. 4 Contoh Peralatan Penyelamatan.....	998
Tabel 24. 5 Konsep Budaya Kerja 5R.....	1000
Tabel 24. 6 Diagram Kebijakan dan Regulasi Lingkungan Hidup.....	1003

# BAB

# 01

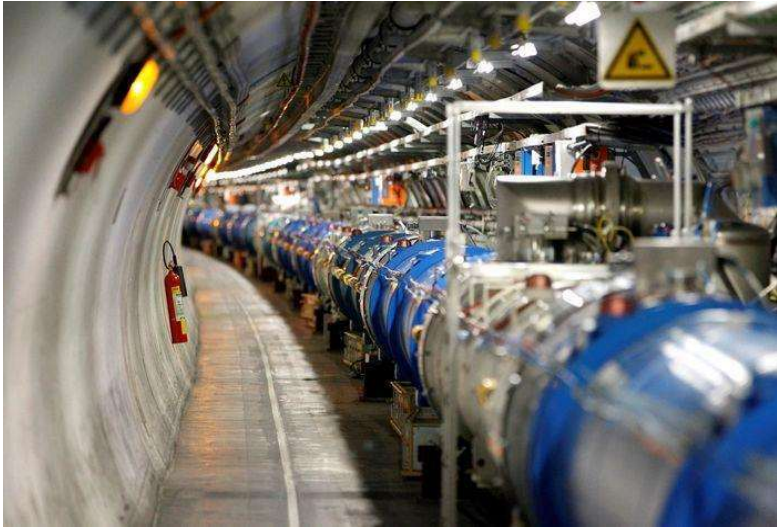
**Mengenal Rekayasa Sistem  
Termal dan Eergi**

---

# BAB 1

## MENGENAL REKAYASA SISTEM TERMAL DAN ENERGI

---



Gambar 1. 1 Ilustrasi Bab 1 ([google.com/imghp](https://www.google.com/imghp))

### 1.1. Pengantar Rekayasa Sistem Termal dan Energi

Rekayasa sistem termal merupakan bidang ilmu sains dan teknik yang sangat penting dalam dunia modern yang menghadapi tantangan energi dan lingkungan yang semakin kompleks. Bidang ini mencakup studi dan aplikasi yang berhubungan dengan perpindahan panas, distribusi energi termal, dan pengatur suhu dalam berbagai sistem fisik. Dalam konteks ini, “rekayasa” mengacu pada proses perancangan, analisis, dan pengembangan sistem yang efisien dan optimal, sementara “sistem termal” mencakup berbagai elemen yang terlibat dalam proses perubahan suhu dan perpindahan panas.

Rekayasa sistem termal dan energi adalah disiplin ilmu yang berfokus pada perancangan, analisis, dan optimalisasi sistem yang

terlibat dalam transfer panas, energi, dan massa. Rekayasa ini memadukan prinsip-prinsip keilmuan dari termodinamika, mekanika fluida, transfer masa dan panas, rancangan teknik, ilmu dan teknik material, fisika, matematika, kimia, konversi energi, sistem tenaga, manajemen, kontruksi sipil, teknik industri, instrumentasi, kelistrikan, elektronika, kontrol dan otomasi, energi baru terbarukan, K3LH, ekonomi teknik, serta teknologi energi untuk mengembangkan solusi inovatif dalam berbagai bidang kehidupan dan industri.

Pentingnya memahami berbagai prinsip tersebut dan kombinasi antar semua ilmu tersebut memungkinkan para insinyur untuk merancang dan mengoptimalkan sistem termal yang efisien, andal, dan berkelanjutan. Serta memahaminya akan dapat menjadi landasan penting dalam rekayasa sistem termal, yang mana dengan pemahaman itu memungkinkan saintis dan insinyur untuk melakukan analisis yang tepat dalam merancang dan mengoptimalkan sistem termal. Selain itu peranannya yang krusial dalam menjaga efisiensi, keberlanjutan, juga kenyamanan dalam berbagai proses dan aplikasi menjadikannya elemen penting dalam berbagai industri.

Rekayasa sistem termal memiliki peran yang sangat krusial dalam industri dan masyarakat modern. Sistem termal dapat ditemukan dalam berbagai aplikasi, termasuk pembangkit listrik, kendaraan bertenaga, sistem pemanas dan pendingin, alat-alat rumah tangga, pabrik dan proses industri, serta berbagai sistem pendingin dan pemanas yang menyelimuti lingkungan manusia. Melalui rekayasa sistem termal, berbagai inovasi teknologi telah diciptakan untuk meningkatkan efisiensi energi, mengurangi emisi gas rumah kaca, dan mendukung berbagai sektor ekonomi.

Rekayasa sistem termal mencakup berbagai topik penting, seperti perpindahan panas, pengaturan suhu, analisis energi, dan desain komponen termal, dsb. Perpindahan panas terjadi melalui konduksi, konveksi, dan radiasi, dan memahami mekanisme ini penting dalam merancang penukar panas dan sistem pendingin. Pengaturan suhu menjadi krusial dalam menjaga kinerja dan efisiensi sistem termal, sehingga diperlukan sistem kontrol dan pengendalian

yang tepat. Dalam konteks industri, rekayasa sistem termal terlibat dalam perancangan pembangkit listrik tenaga uap dan gas, kendaraan bertenaga, sistem pendingin dan pemanas dalam pabrik, serta sistem pemanas dan pendingin di berbagai bangunan. Efisiensi dan performa sistem termal menjadi faktor utama dalam menentukan keberhasilan dan keberlanjutan berbagai aplikasi ini.

Rekayasa sistem termal juga berperan penting dalam pemanfaatan energi terbarukan, seperti tenaga surya, tenaga angin, biomassa, dan energi geotermal. Penggunaan energi terbarukan memerlukan pendekatan teknis yang tepat agar dapat diintegrasikan dengan sistem energi konvensional dan mencapai tujuan berkelanjutan dalam penggunaan sumber daya. Dalam konteks masa depan, rekayasa sistem termal akan terus berkembang untuk menghadapi tantangan dalam memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat, mengurangi dampak lingkungan, dan memanfaatkan teknologi yang inovatif dan ramah lingkungan. Peran inovasi teknologi dan pendekatan sistemik akan semakin relevan dalam memastikan keberlanjutan dan efisiensi sistem termal.

Buku referensi ini membahas berbagai topik penting dalam rekayasa sistem termal secara komprehensif, termasuk prinsip dasar termodinamika dan mekanika fluida, perpindahan panas, analisis energi, sistem kontrol, pemanfaatan energi terbarukan, inovasi terkini dalam teknologi sistem termal, dll. Penulis berharap buku ini dapat memberikan pemahaman yang komprehensif dan aplikatif tentang rekayasa sistem termal, serta menjadi sumber pengetahuan yang bermanfaat bagi pembaca yang tertarik dalam bidang ini. Semoga karya tulis ilmiah ini dapat memberikan kontribusi positif dalam pengembangan ilmu dan teknologi rekayasa sistem termal yang lebih maju dan berkelanjutan.

## **1.2. Pentingnya Sistem Termal dan Energi**

Sistem termal dan energi adalah elemen mendasar yang membentuk dasar keberlangsungan kehidupan manusia dan kemajuan masyarakat modern. Seiring dengan perkembangan teknologi dan pertumbuhan populasi, permintaan akan energi terus

meningkat, menjadikannya faktor krusial yang memengaruhi hampir semua aspek kehidupan manusia. Dalam bab ini, akan dibahas mengapa pemahaman tentang energi dan sistem termal menjadi sangat penting dalam konteks kehidupan sehari-hari.

Sistem termal, yang mencakup transfer panas dan energi, berperan penting dalam menjaga kenyamanan dan efisiensi dalam berbagai lingkungan. Dalam dunia yang semakin terhubung, aplikasi sistem termal dapat ditemukan dalam berbagai skenario, seperti pemanasan dan pendinginan gedung, mesin industri, alat-alat elektronik, dan kendaraan. Pemahaman tentang bagaimana panas dan energi bergerak melalui sistem menjadi kunci dalam merancang solusi yang mengoptimalkan kinerja dan mengurangi pemborosan.

Energi merupakan sumber daya vital yang mendorong berbagai aktivitas manusia. Mulai dari pemanasan dan pendinginan rumah, transportasi, hingga menghidupkan peralatan elektronik, semuanya bergantung pada pasokan energi yang memadai. Meskipun ada berbagai jenis energi yang tersedia, seperti energi fosil, nuklir, dan terbarukan, keberlanjutan dan efisiensi penggunaannya tetap menjadi tantangan besar. Dalam konteks ini, pemahaman mengenai sistem termal, yang berhubungan dengan transfer panas dan energi, menjadi kunci untuk mengoptimalkan penggunaan energi secara efisien.

Industri energi, yang bertanggung jawab atas pembangkitan dan distribusi energi ke berbagai sektor, juga sangat tergantung pada prinsip-prinsip sistem termal. Pembangkit listrik, baik konvensional maupun terbarukan, mengandalkan transfer panas untuk menghasilkan energi yang diperlukan untuk mendukung aktivitas sehari-hari manusia. Bahkan dalam pembangkitan energi terbarukan seperti tenaga surya dan angin, konsep-konsep sistem termal tetap berperan penting dalam merancang peralatan yang efisien.

Pentingnya energi dan sistem termal juga terkait erat dengan isu keberlanjutan dan perlindungan lingkungan. Penggunaan energi fosil yang berlebihan telah menyebabkan emisi gas rumah kaca yang berkontribusi pada perubahan iklim global. Dalam hal ini, penerapan

DUMMY

DUMMY



DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY



DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

**BAB**

**02**

**Variabel Dasar Dan Sifat  
Termodinamika**

---

# BAB 2

## VARIABEL DASAR DAN SIFAT TERMODINAMIKA

---



Gambar 2. 1 Ilustrasi Bab 2 (google.com/imghp)

### 2.1. Suhu

Suhu, kalor, panas, dan termal adalah konsep dasar yang sangat penting dalam memahami perubahan energi dan perpindahan panas dalam sistem fisik. Pada dasarnya, besaran-besaran tersebut berkaitan erat dan saling memengaruhi. Dalam bab ini, akan dilakukan eksplorasi mendalam tentang setiap konsep ini dan mengungkapkan relasi di antaranya.

Suhu merupakan salah satu konsep paling mendasar dalam termodinamika, yang memainkan peran krusial dalam memahami perilaku dan sifat materi di alam semesta. Istilah “suhu” sering kali digunakan dalam percakapan sehari-hari, tetapi dalam konteks ilmiah, suhu memiliki makna yang lebih mendalam dan kompleks.



Suhu didefinisikan sebagai ukuran dari intensitas panas atau dingin suatu benda atau sistem. Ini mencerminkan seberapa banyak energi termal yang dimiliki oleh partikel dalam benda tersebut.

Suhu juga adalah parameter termodinamika yang penting karena memengaruhi perilaku materi, khususnya dalam hubungannya dengan perubahan energi. Prinsip dasar termodinamika menyatakan bahwa energi dalam sistem fisik tidak dapat diciptakan atau dihancurkan, tetapi dapat berpindah dari satu bentuk ke bentuk lain. Perubahan energi dalam sistem termal terjadi karena perpindahan panas dan kerja yang dilakukan oleh atau pada sistem. Salah satu konsekuensi penting dari suhu adalah ekspansi termal. Ketika suatu benda dipanaskan, partikel dalam benda menjadi lebih aktif dan bergerak lebih cepat, menyebabkan benda tersebut mengalami ekspansi.

Suhu diukur dalam satuan derajat Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ) atau Kelvin (K), di mana  $0^{\circ}\text{C}$  sama dengan  $273.15\text{ K}$ . Pada skala Kelvin, nol mutlak adalah titik terendah pada skala suhu, yang setara dengan  $0\text{ K}$  atau  $-273.15^{\circ}\text{C}$ , di mana semua gerak termal partikel berhenti. Suhu berbeda dari panas. Suhu adalah ukuran energi termal, sedangkan panas adalah energi termal yang ditransfer dari satu benda ke benda lain karena perbedaan suhu. Ketika partikel dalam benda menerima energi termal, suhu meningkat, dan ketika partikel kehilangan energi termal, suhu menurun.

Ada beberapa skala suhu yang digunakan, termasuk Kelvin, Celsius, dan Fahrenheit. Skala Kelvin adalah skala termodinamika yang digunakan dalam ilmu fisika dan ilmu rekayasa. Skala ini memiliki titik awal pada nol mutlak ( $0\text{ K}$ ), di mana tidak ada gerak termal yang tersisa. Skala Celsius memiliki titik beku air pada  $0^{\circ}\text{C}$  dan titik didih air pada  $100^{\circ}\text{C}$  pada tekanan atmosfer standar. Skala Fahrenheit banyak digunakan di Amerika Serikat dan beberapa negara lainnya, dengan titik beku air pada  $32^{\circ}\text{F}$  dan titik didih air pada  $212^{\circ}\text{F}$  pada tekanan atmosfer standar.

Tidak ada rumus khusus untuk menghitung suhu, karena suhu sendiri adalah ukuran dari intensitas panas atau dingin suatu benda atau sistem, dan diukur menggunakan skala suhu yang telah

ditentukan dan banyak digunakan seperti Kelvin (K), Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Reamur ( $^{\circ}\text{R}$ ) atau Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ). Namun, ada beberapa rumus yang berkaitan dengan perubahan suhu atau mengkonversi suhu dari satu skala ke skala lain. Berikut adalah rangkaian rumus yang relevan terkait konversi antar skala-skala suhu:

$$\text{Kelvin ke Celsius: } ^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273.15$$

$$\text{Kelvin ke Reamur: } ^{\circ}\text{R} = (\text{K} - 273.15) \times 4/5$$

$$\text{Kelvin ke Fahrenheit: } ^{\circ}\text{F} = [(\text{K} - 273.15) \times 9/5] + 32 \quad (2-1)$$

$$\text{Celsius ke Kelvin: } \text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273.15$$

$$\text{Celsius ke Reamur: } ^{\circ}\text{R} = 4/5 \times ^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Celsius ke Fahrenheit: } ^{\circ}\text{F} = (^{\circ}\text{C} \times 9/5) + 32 \quad (2-2)$$

$$\text{Reamur ke Kelvin: } \text{K} = (5/4 \times ^{\circ}\text{R}) + 273.15$$

$$\text{Reamur ke Celsius: } ^{\circ}\text{C} = 5/4 \times ^{\circ}\text{R}$$

$$\text{Reamur ke Fahrenheit: } ^{\circ}\text{F} = (9/4 \times ^{\circ}\text{R}) + 32 \quad (2-3)$$

$$\text{Fahrenheit ke Kelvin: } \text{K} = [ (^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9 ] + 273.15$$

$$\text{Fahrenheit ke Celsius: } ^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 5/9$$

$$\text{Fahrenheit ke Reamur: } ^{\circ}\text{R} = (^{\circ}\text{F} - 32) \times 4/9 \quad (2-4)$$

Selain itu untuk menghitung perubahan suhu  $\Delta T$  dapat digunakan rumus berikut.

$$\Delta T = T_{\text{akhir}} - T_{\text{awal}} \quad (2-5)$$

Dalam sains dan teknik pemahaman tentang suhu memiliki berbagai aplikasi dalam berbagai bidang rekayasa. Dalam teknik mesin, suhu berperan penting dalam perancangan dan analisis mesin dan sistem pendingin. Dalam teknik listrik, suhu digunakan dalam mendesain dan mengoptimalkan komponen elektronik agar dapat berfungsi dengan baik tanpa *overheating*. Selain itu, suhu juga relevan dalam bidang metalurgi, bahan, dan material, di mana sifat material dapat dipengaruhi oleh suhu dan perubahan termal.

## 2.2. Panas

Istilah “panas” (*heat*) sering digunakan untuk merujuk pada bentuk energi yang dipindahkan karena perbedaan suhu, seperti kalor. Namun, dalam konteks ilmiah, panas mengacu pada perpindahan energi termal antara benda yang memiliki suhu berbeda, dan kalor adalah jumlah energi yang dipindahkan dalam proses tersebut. Panas merupakan salah satu bentuk energi yang paling penting dan umum dalam alam semesta. Konsep panas sangat luas dan berperan sentral dalam ilmu fisika, termodinamika, dan berbagai bidang rekayasa.

Panas adalah bentuk energi yang terkait dengan gerakan acak partikel-partikel dalam suatu sistem. Partikel-partikel tersebut, yang bisa berupa atom atau molekul, bergerak secara acak dengan kecepatan yang berbeda-beda tergantung pada suhu sistem. Semakin tinggi suhu suatu benda, semakin cepat gerakan partikel-partikelnya dan semakin besar energi termal yang dimilikinya.

Istilah “kalor” yang nanti akan dibahas berikutnya sering kali digunakan secara bergantian dengan “panas,” tetapi dalam konteks ilmiah, ada perbedaan penting antara keduanya. Kalor merujuk pada energi termal yang ditransfer dari satu benda ke benda lain karena perbedaan suhu, sedangkan panas mengacu pada energi termal yang dimiliki oleh suatu sistem. Jadi, panas adalah energi termal yang ada dalam suatu sistem, sementara kalor adalah energi termal yang dipindahkan antara sistem-sistem tersebut. Dan adapun perpindahan kalor dapat terjadi melalui konduksi, konveksi, dan radiasi yang nantinya akan dibahas lebih lanjut dalam bab lain.

Panas memainkan peran penting dalam kehidupan sehari-hari dan berbagai aplikasi teknologi. Dalam rumah tangga, panas digunakan untuk memasak makanan, menghangatkan ruangan, dan memanaskan air. Di industri, panas digunakan dalam berbagai proses manufaktur dan produksi, seperti dalam industri pangan, farmasi, dan kimia. Dalam bidang energi, panas digunakan dalam pembangkit listrik untuk menggerakkan turbin uap dan menghasilkan tenaga listrik.

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY



DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY



DUMMY

DUMMY

DUMMY

**BAB**

**03**

**Termodinamika Gas**

---

# BAB 3

## TERMODINAMIKA GAS

---



Gambar 3. 1 Ilustrasi Bab 3 (google.com/imghp)

### 3.1. Hukum Gas dan Gas Ideal

Hukum gas merupakan seperangkat hukum dan konsep yang digunakan untuk memahami dan menganalisis perilaku gas, terutama dalam konteks termodinamika dan rekayasa sistem termal. Terdapat tiga hukum utama yang dikenal sebagai hukum-hukum gas, yaitu Hukum Boyle, Hukum Charles, dan Hukum Gay-Lussac.

- a) Hukum Boyle: Hukum Boyle menyatakan bahwa pada suhu tetap, tekanan gas berbanding terbalik dengan volumenya. Artinya, jika tekanan gas meningkat, volumenya akan berkurang, dan sebaliknya, jika tekanan gas berkurang, volumenya akan meningkat. Hukum Boyle dinyatakan dalam rumus:

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad (3-1)$$

dengan  $P_1$  dan  $V_1$  adalah tekanan dan volume awal gas,  $P_2$  dan  $V_2$  adalah tekanan dan volume akhir gas.

- b) Hukum Charles: Hukum Charles menyatakan bahwa pada tekanan tetap, volume gas berbanding lurus dengan suhunya. Artinya, jika suhu gas meningkat, volumenya juga akan meningkat, dan sebaliknya, jika suhu gas turun, volumenya akan berkurang. Hukum Charles dinyatakan dalam rumus:

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2 \quad (3-2)$$

Dengan  $V_1$  dan  $T_1$  adalah volume dan suhu awal gas  $V_2$  dan  $T_2$  adalah volume dan suhu akhir gas.

- c) Hukum Gay-Lussac: Hukum Gay-Lussac (atau juga dikenal sebagai Hukum Amontons) menyatakan bahwa pada volume tetap, tekanan gas berbanding lurus dengan suhunya. Artinya, jika suhu gas meningkat, tekanannya juga akan meningkat, dan sebaliknya, jika suhu gas turun, tekanannya akan berkurang. Hukum Gay-Lussac dinyatakan dalam rumus:

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2 \quad (3-3)$$

Dengan  $P_1$  dan  $T_1$  adalah tekanan dan suhu awal gas,  $P_2$  dan  $T_2$  adalah tekanan dan suhu akhir gas.

Penerapan hukum-hukum gas sangat penting dalam rekayasa sistem termal, terutama dalam analisis dan perancangan sistem yang melibatkan gas. Misalnya, dalam sistem pemanas dan pendingin, hukum-hukum gas digunakan untuk memahami perilaku gas dalam proses pemanasan, pendinginan, atau perpindahan panas. Pemahaman tentang hukum-hukum gas memungkinkan para insinyur untuk mengoptimalkan sistem termal, mencapai efisiensi yang lebih tinggi, dan meningkatkan performa sistem secara keseluruhan.

## Gas Ideal

Gas ideal atau hukum gas ideal merupakan salah satu konsep penting dalam termodinamika dan rekayasa sistem termal. Gas ideal adalah model gas yang memiliki sifat-sifat khusus yang memudahkan dalam perhitungan dan analisis termodinamika. Definisi gas ideal adalah gas yang dianggap memiliki karakteristik tertentu yang ideal, yaitu tidak memiliki volume partikel (volume titik) dan tidak saling berinteraksi (tidak ada gaya tarik-menarik antara partikel). Dalam kondisi tertentu, gas nyata dapat berperilaku mendekati gas ideal jika tekanan rendah dan suhu tinggi.

Model gas ideal sering digunakan sebagai simplifikasi dalam analisis proses termodinamika pada suatu gas. Dalam model ini, gas ideal dianggap terdiri dari partikel-partikel kecil yang bergerak secara acak. Terdapat beberapa asumsi kunci yang perlu dipenuhi untuk menjadikan suatu gas sebagai gas ideal:

- a) Partikel Gas: Gas dianggap terdiri dari partikel yang sangat kecil dan memiliki massa yang hampir nol.
- b) Banyaknya Molekul: Jumlah molekul gas sangat besar.
- c) Pergerakan Konstan: Molekul gas bergerak secara konstan dan acak.
- d) Tumbukan Lenting Sempurna: Tumbukan antara partikel dan dinding wadah bersifat elastis.
- e) Volume Partikel Dibandingkan dengan Wadah: Volume partikel diabaikan jika dibandingkan dengan volume wadah.
- f) Bentuk Partikel: Molekul gas dianggap memiliki bentuk bola sempurna.
- g) Efek Kuantum dan Relativistik Diabaikan: Efek kuantum dan relativistik dianggap tidak signifikan.
- h) Energi Kinetik Bergantung pada Temperatur: Energi kinetik rata-rata molekul gas hanya tergantung pada suhu sistem.

Dalam analisis termodinamika dan perhitungan teknis, konsep gas ideal dan persamaan gas ideal sangatlah berharga. Meskipun gas nyata mungkin tidak sepenuhnya mematuhi semua asumsi ini, model gas ideal tetap menjadi alat penting dalam memahami perilaku gas dalam berbagai situasi dan proses. Gas ideal

mengikuti persamaan gas ideal yang menghubungkan tekanan, volume, jumlah mol, dan konstanta gas R. Konsep gas ideal didefinisikan dengan hukum gas ideal, yaitu:

$$PV = nRT \quad (3-4)$$

dengan P dan V adalah tekanan gas (Pa) dan volume gas ( $m^3$ ), n dan T masing-masing adalah dan jumlah mol gas dan suhu gas (K). Sedangkan nilai R bisa berbeda-beda tergantung dari jenis gas yang digunakan dan satuan apa yang dipakai pada nilai konstanta tersebut, namun yang umum rata-rata digunakan adalah konstanta gas ideal dengan nilai 8,314 J/mol·K atau 0,082 L atm/mol.K. Rumus ini menggambarkan hubungan antara tekanan, volume, jumlah mol, dan suhu gas ideal. Persamaan ini dapat digunakan untuk menghitung berbagai parameter gas, seperti tekanan, volume, jumlah mol, atau suhu, jika beberapa parameter lainnya diketahui.

Penerapan gas ideal sangat luas dalam rekayasa sistem termal, khususnya dalam analisis dan perancangan sistem yang melibatkan gas. Misalnya, dalam sistem pemanas dan pendingin, gas ideal digunakan untuk memprediksi perilaku gas yang terlibat dalam proses pemanasan, pendinginan, atau perpindahan panas. Dalam konteks rekayasa sistem termal, pemahaman tentang gas ideal akan membantu pengguna untuk memahami prinsip dasar gas ideal dan bagaimana menerapkannya dalam analisis dan perancangan sistem termal. Dengan pemahaman tentang gas ideal, pembaca dapat melakukan perhitungan dan analisis lebih lanjut terhadap berbagai sistem termal yang melibatkan gas, untuk mencapai efisiensi dan performa yang optimal.

### **3.2. Gas Real dan Gas Deuterium**

Gas nyata, juga dikenal sebagai gas real, adalah gas yang memiliki perilaku nyata yang berbeda dengan gas ideal. Gas ideal merupakan model sederhana yang mengasumsikan bahwa gas terdiri dari partikel-partikel tanpa volume dan gaya tarik-menarik antarpartikelnya diabaikan. Namun, pada kenyataannya, gas nyata



DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY



DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY



**BAB**

**04**

**Keseimbangan Termal**

---

# BAB 4

## KESETIMBANGAN TERMAL

---

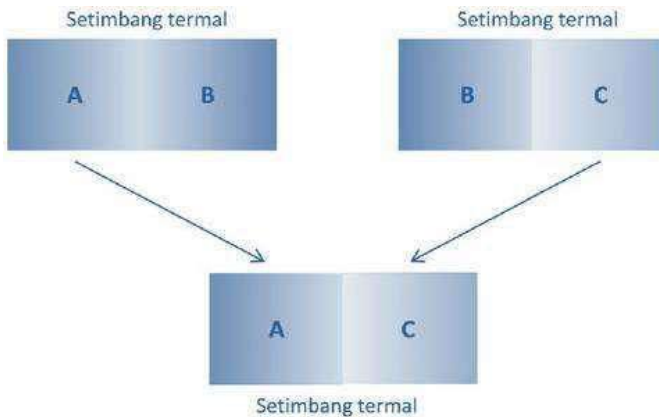


Gambar 4. 1 Ilustrasi Bab 4 ([google.com/imghp](https://www.google.com/imghp))

### 4.1. Overview Hukum Kesetimbangan Termal

Hukum kesetimbangan termal, yang juga dikenal sebagai hukum ke-0 termodinamika, merupakan salah satu dasar utama dalam ilmu termodinamika. Konsep ini memegang peranan penting dalam memahami perpindahan panas, suhu, dan keseimbangan termal dalam berbagai sistem fisika dan rekayasa termal. Dalam tulisan ini akan dijelaskan tentang hukum kesetimbangan termal dan relevansinya dalam konteks fisika dan rekayasa sistem termal. Hukum kesetimbangan termal menyatakan bahwa apabila dua objek berada dalam kontak termal, maka masing-masing akan mencapai kesetimbangan termal, yaitu kondisi di mana tidak ada aliran panas netto antara keduanya. Dengan kata lain, suhu kedua objek akan menjadi sama atau setimbang seperti yang diilustrasikan oleh gambar 4.2. Konsep ini menjadi dasar bagi pengukuran dan pemahaman

suhu, yang merupakan besaran termal paling mendasar dalam termodinamika.



Gambar 4. 2 Kesetimbangan Termal

Relevansi hukum kesetimbangan termal sangat besar dalam rekayasa sistem termal. Dalam perancangan dan analisis sistem pemanas, pendingin, dan penukar panas, pemahaman tentang kesetimbangan termal memainkan peran krusial. Misalnya, dalam pemanasan rumah atau gedung, sistem pemanas harus dirancang sedemikian rupa agar suhu di seluruh ruangan dapat mencapai kesetimbangan termal dan menciptakan kondisi kenyamanan bagi penghuninya. Selain itu, hukum kesetimbangan termal juga relevan dalam bidang produksi dan manufaktur. Dalam industri makanan, pemahaman tentang kesetimbangan termal diperlukan untuk mengendalikan suhu dalam proses pembuatan makanan. Begitu pula dalam pengolahan minyak, gas, dan bahan bakar, pemahaman tentang perpindahan panas dan kesetimbangan termal sangat penting untuk efisiensi dan keamanan operasi.

Hukum kesetimbangan termal menjadi dasar bagi pengukuran suhu dan skala suhu Kelvin. Pengukuran suhu yang akurat sangat krusial dalam penelitian fisika dan rekayasa, karena suhu merupakan parameter yang memengaruhi banyak sifat dan perilaku materi. Dengan demikian, pemahaman tentang hukum kesetimbangan termal menjadi landasan penting dalam fisika dan

rekayasa sistem termal. Dengan memahami prinsip kesetimbangan termal, para ilmuwan dan insinyur dapat merancang sistem yang efisien, aman, dan sesuai dengan kebutuhan. Selain itu, hukum kesetimbangan termal juga memiliki dampak penting dalam kehidupan sehari-hari dan membantu manusia memanfaatkan sumber daya panas dengan bijaksana dalam berbagai aplikasi teknologi dan industri.

#### **4.2. Konsep Hukum Kesetimbangan Termal**

Hukum ke-0 termodinamika, juga dikenal sebagai hukum kesetimbangan termal, merupakan salah satu hukum dasar dalam ilmu termodinamika yang fundamental. Prinsip-prinsip dasar dari hukum ke-0 ini berkaitan erat dengan konsep kesetimbangan suhu dalam suatu sistem fisika. Definisi hukum ke-0 termodinamika menyatakan bahwa jika dua sistem terpisah berada dalam kesetimbangan termal dengan sistem ketiga, maka keduanya juga berada dalam kesetimbangan termal satu sama lain. Dengan kata lain, jika dua sistem memiliki suhu yang sama dengan sistem ketiga, maka suhu keduanya juga akan sama. Prinsip dasar ini menggarisbawahi pentingnya kesetimbangan suhu sebagai ukuran kesetimbangan termal dalam sistem fisika. Ketika dua objek atau sistem memiliki suhu yang sama, tidak ada aliran netto dari panas antara keduanya, dan keduanya akan mencapai kesetimbangan termal.

Rumus-rumus yang terkait dengan hukum ke-0 termodinamika secara umum tidak dinyatakan dalam bentuk matematis tertentu. Hukum ke-0 ini lebih berfungsi sebagai dasar pemahaman tentang kesetimbangan termal dan tidak melibatkan perhitungan kuantitatif yang khas dalam rumus-rumus. Namun, perlu ditekankan bahwa hukum ke-0 termodinamika menjadi landasan bagi pengembangan skala suhu termal, di mana titik referensi untuk nol absolut adalah suhu di mana benda tidak memiliki energi panas sama sekali. Skala suhu ini dikenal sebagai skala suhu Kelvin, yang merupakan skala suhu absolut dalam ilmu termodinamika.

Dalam praktiknya, hukum ke-0 termodinamika digunakan sebagai panduan untuk memastikan bahwa sistem fisika berada dalam kesetimbangan suhu sebelum melakukan perpindahan panas atau memulai proses termal lainnya. Hal ini penting untuk menjaga konsistensi dan akurasi dalam analisis dan perhitungan sistem termal. Dengan pemahaman tentang hukum ke-0 termodinamika dan prinsip-prinsip dasarnya, para ilmuwan dan insinyur dapat mengelola perpindahan panas dan energi dalam berbagai sistem fisika, termasuk aplikasi dalam teknologi, industri, dan berbagai bidang ilmu pengetahuan.

Kesetimbangan termal adalah kondisi di mana dua atau lebih benda atau sistem fisik memiliki suhu yang sama, sehingga tidak ada aliran panas netto antara keduanya. Ini berarti bahwa perubahan energi panas antara benda-benda atau sistem-sistem tersebut seimbang, dan tidak ada perubahan suhu yang terjadi pada setiap benda secara keseluruhan. Kesetimbangan termal merupakan prinsip yang sangat penting dalam ilmu termodinamika dan menjadi dasar dari hukum ke-0 termodinamika.

Suhu adalah ukuran dari tingkat energi kinetik molekul-molekul atau partikel-partikel zat dalam suatu benda atau sistem. Ketika dua benda atau sistem berada dalam kesetimbangan termal, berarti bahwa partikel-partikel dalam kedua benda bergerak dengan tingkat energi kinetik yang sama. Dengan kata lain, partikel-partikel dalam kedua benda memiliki distribusi energi kinetik yang serupa, sehingga tidak ada aliran panas netto antara keduanya.

Suhu mencerminkan kesetimbangan dalam sistem termal karena perubahan energi panas antara dua benda atau sistem terjadi hingga suhu keduanya menjadi sama. Ketika dua benda dengan suhu yang berbeda saling bersentuhan atau bertukar panas, partikel-partikel dalam benda dengan suhu lebih tinggi akan mentransfer energi kinetiknya ke partikel-partikel dalam benda dengan suhu lebih rendah. Proses ini terjadi hingga tercapai kesetimbangan termal, di mana energi kinetik partikel-partikel dalam kedua benda menjadi seimbang, dan suhu keduanya sama. Contoh sederhana dari kesetimbangan termal adalah ketika mencampurkan air panas dan air

DUMMY

DUMMY

DUMMY



DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY



DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

**BAB**

**05**

**Kekekalan Energi**

---

# BAB 5

## KEKEKALAN ENERGI

---



Gambar 5. 1 Ilustrasi Bab 5 ([google.com/imghp](https://www.google.com/imghp))

### 5.1. Konsep Dasar Energi

Energi merupakan inti dari segala aktivitas di alam semesta ini. Dalam konteks rekayasa sistem termal, energi menjadi fondasi yang tak tergantikan dalam menjalankan berbagai proses perpindahan panas, perubahan suhu, dan transformasi fase dalam sistem. Energi adalah sifat abstrak yang merepresentasikan kemampuan suatu sistem untuk melakukan kerja atau menyebabkan perubahan. Konsep ini mendasari termodinamika dan rekayasa sistem termal. Ia dapat berubah bentuk dari satu bentuk ke bentuk lainnya, namun jumlah totalnya tetap konstan, sesuai dengan Hukum Kekekalan Energi.

Dalam sistem termal, energi memiliki beberapa bentuk yang krusial untuk pemahaman dan analisis. Pertama, energi kinetik adalah bentuk energi yang terkait dengan gerakan partikel dalam sistem. Ketika partikel bergerak, maka akan memiliki energi kinetik.

Selanjutnya, energi potensial merupakan bentuk energi yang berkaitan dengan posisi partikel dalam sistem. Contoh energi potensial adalah energi gravitasi dan energi pegas. Kemudian energi internal adalah jumlah total energi kinetik dan potensial dari partikel-partikel dalam sistem. Energi ini memengaruhi suhu dan entalpi sistem termal. Dalam sistem termal yang mengalami perubahan suhu, energi internal juga berubah.

Beberapa jenis energi yang penting dalam rekayasa sistem termal adalah energi termal dan energi panas. Energi termal adalah bentuk energi yang terkait dengan perpindahan panas dalam sistem. Proses perpindahan panas ini dapat diukur menggunakan rumus energi panas (calorimeter). Energi panas sendiri merupakan salah satu bentuk energi termal yang berfungsi sebagai agen perpindahan panas. Saat energi panas mengalir dari sistem yang lebih panas ke sistem yang lebih dingin, suhu sistem yang menerima panas meningkat, sementara suhu sistem yang melepaskan panas akan menurun.

Energi adalah pilar utama dalam rekayasa sistem termal. Memahami definisi dan konsep energi, serta jenis-jenisnya dalam sistem termal, merupakan langkah penting untuk merancang sistem termal yang efisien, berkelanjutan, dan sesuai dengan kebutuhan teknik dan industri. Dalam upaya mencapai tujuan tersebut, penggunaan rumus dan pemahaman mendalam tentang sifat-sifat energi akan menjadi senjata utama bagi para insinyur dan ahli rekayasa sistem termal.

Energi dapat didefinisikan sebagai kemampuan suatu sistem untuk melakukan kerja atau menyebabkan perubahan. Dalam sistem termal, energi hadir dalam berbagai bentuk yang saling terkait dan dapat berubah bentuk dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Energi memegang peran sentral dalam rekayasa sistem termal. Konsep utama energi dalam sistem termal melibatkan energi internal dan energi termal. Energi internal adalah total energi kinetik dan potensial dari partikel-partikel dalam sistem. Energi internal berhubungan erat dengan suhu sistem, di mana meningkatnya energi internal menyebabkan peningkatan suhu. Sementara itu, energi



termal adalah bentuk energi yang terkait dengan perpindahan panas dalam sistem. Ketika energi termal mengalir dari satu sistem ke sistem lain, perubahan suhu terjadi. Proses perpindahan panas ini dapat diukur menggunakan persamaan kalorimetri.

Dalam sistem termal, energi menjadi landasan bagi segala proses dan perubahan. Ketika suatu sistem menerima atau melepaskan panas, energi termal berperan dalam menentukan perubahan suhu zat. Proses ini sangat penting dalam desain pemanas, pendingin, dan penukar panas. Energi juga berperan dalam melakukan kerja dalam sistem termal. Kerja dilakukan ketika energi diubah menjadi bentuk lain, seperti kerja mekanik atau listrik. Konversi energi ini memainkan peran penting dalam sistem tenaga uap dan gas. Dalam analisis sistem termal, pemahaman tentang konsep energi menjadi kunci untuk merancang sistem yang efisien dan optimal. Penerapan rumus-rumus energi, seperti perhitungan energi termal atau energi kinetik, membantu para insinyur dan ahli rekayasa dalam mengoptimalkan kinerja sistem termal.

Dengan demikian dapat dikatakan bahwa Energi adalah elemen fundamental dalam rekayasa sistem termal. Dengan pemahaman tentang konsep energi, peranannya dalam perpindahan panas, perubahan suhu, dan kerja dalam sistem termal, para profesional rekayasa dapat merancang sistem yang inovatif, efisien, dan berkelanjutan. Konsep energi menjadi landasan yang kokoh dalam menjalankan dan mengembangkan teknologi termal untuk berbagai aplikasi di berbagai industri.

### **Prinsip dan Implikasi dalam Rekayasa Sistem Termal**

Prinsip kekekalan energi adalah salah satu hukum termodinamika yang mendasari banyak aspek dalam rekayasa sistem termal. Prinsip ini menyatakan bahwa energi tidak dapat diciptakan atau dihancurkan; namun, energi dapat berubah bentuk dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Dalam konteks sistem termal, prinsip ini memiliki implikasi penting yang berdampak pada perancangan, analisis, dan kinerja sistem termal.

Prinsip kekekalan energi menyatakan bahwa dalam suatu sistem terisolasi (tidak ada pertukaran energi dengan lingkungannya), jumlah total energi dalam sistem tersebut tetap konstan. Jumlah energi kinetik, potensial, termal, dan lainnya dalam sistem akan tetap sama seiring waktu, meskipun dapat mengalami perubahan bentuk atau distribusi. Dalam sistem termal, prinsip kekekalan energi mengimplikasikan bahwa jumlah total energi dalam sistem (energi internal dan energi termal) akan tetap sama dalam kondisi terisolasi. Ketika ada perubahan energi dalam sistem, seperti perpindahan panas atau kerja yang dilakukan, perubahan tersebut akan tercermin dalam perubahan energi lainnya untuk menjaga keseimbangan energi total.

Prinsip Kekekalan Energi memiliki implikasi penting dalam rekayasa sistem termal, di antaranya yaitu:

- a) Desain Sistem yang Efisien: Dengan memahami prinsip kekekalan energi, para insinyur dapat merancang sistem yang lebih efisien dengan mengoptimalkan penggunaan energi internal dan eksternal.
- b) Analisis Perpindahan Panas dan Kerja: Prinsip ini menjadi dasar dalam menganalisis perpindahan panas dan kerja yang terjadi dalam sistem termal, sehingga dapat dipahami bagaimana energi dipertukarkan dan dimanfaatkan.
- c) Penghematan Energi: Prinsip kekekalan energi menjadi panduan dalam upaya mengurangi konsumsi energi, sehingga dapat membantu mengurangi dampak lingkungan dan biaya operasional.
- d) Keberlanjutan dan Efisiensi: Prinsip ini mendukung pengembangan sistem termal yang berkelanjutan dan efisien, seiring dengan tuntutan meningkatnya efisiensi energi dalam berbagai industri.

Prinsip Kekekalan Energi memiliki peran krusial dalam rekayasa sistem termal. Dengan memahami konsep dan implikasinya, para profesional rekayasa dapat merancang, menganalisis, dan mengoptimalkan sistem termal untuk mencapai efisiensi dan keberlanjutan yang lebih baik. Prinsip ini menjadi pedoman dalam

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY



DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY



DUMMY

DUMMY

**BAB**

**06**

**Entropi**

---

# BAB 6

# ENTROPI

---



Gambar 6. 1 Ilustrasi Bab 6 ([google.com/img/ghp](https://www.google.com/img/ghp))

## 6.1. Tentang Entropi

Entropi merupakan salah satu konsep fundamental dalam termodinamika yang menggambarkan tingkat ketidakteraturan atau kekacauan dalam suatu sistem. Dalam rekayasa sistem termal, pemahaman tentang entropi menjadi krusial karena berkaitan erat dengan perubahan energi dan efisiensi sistem. Berikut ini adalah definisi, konsep, dan beberapa aspek penting terkait entropi. Entropi ( $S$ ) adalah ukuran dari tingkat ketidakteraturan atau kekacauan dalam suatu sistem. Semakin tinggi nilai entropi, semakin besar kekacauan dalam sistem tersebut. Entropi juga dapat diartikan sebagai ukuran seberapa banyak energi dalam sistem yang tidak dapat dikonversi menjadi energi kerja yang berguna. Konsep Entropi sendiri meliputi beberapa hal:

- a) Kenaikan Entropi: Entropi sistem cenderung meningkat seiring berjalannya proses alami. Dalam proses-proses tak terbalik,

entropi sistem akan selalu meningkat atau setidaknya tetap konstan.

- b) Entropi Lingkungan: Selain entropi sistem, entropi juga terkait dengan lingkungan di sekitarnya. Dalam proses-proses alami, entropi total sistem dan lingkungan akan selalu meningkat.
- c) Prinsip Peningkatan Entropi: Prinsip ini menyatakan bahwa sistem alami cenderung menuju keadaan dengan entropi maksimum. Hal ini menggambarkan arah evolusi sistem menuju kekacauan yang lebih besar.

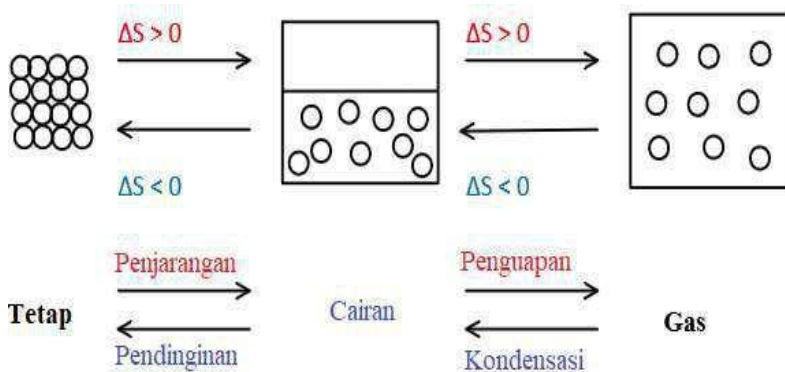
Pemahaman tentang entropi menjadi penting dalam analisis dan perancangan sistem termal. Proses perpindahan panas dan transfer energi dalam sistem termal terkait erat dengan perubahan entropi. Konsep entropi juga menjadi dasar dalam mengukur efisiensi mesin-mesin termal, di mana semakin rendah entropi yang dihasilkan, semakin efisien sistem tersebut. Dalam menghadapi kenyataan bahwa entropi selalu meningkat dalam proses alami, perancangan sistem termal harus mempertimbangkan cara-cara untuk meminimalkan peningkatan entropi yang tidak diinginkan. Ini melibatkan penerapan teknik-teknik seperti isolasi termal, penggunaan bahan dengan konduktivitas termal rendah, dan strategi penggunaan energi yang lebih efisien. Dengan memahami entropi dan konsepnya, para insinyur dan ilmuwan dalam bidang rekayasa sistem termal dapat mengoptimalkan kinerja sistem, meningkatkan efisiensi, dan merancang solusi yang lebih berkelanjutan.

### **Peran Entropi dalam Menggambarkan Ketidakteraturan dan Dispersi Energi dalam Sistem Termal**

Entropi adalah konsep termodinamika yang memiliki peran penting dalam menggambarkan tingkat ketidakteraturan dan dispersi energi dalam sistem termal. Dalam konteks rekayasa sistem termal, pemahaman mendalam tentang peran entropi membantu dalam merancang sistem yang lebih efisien dan berkelanjutan. Berikut ini adalah penjelasan tentang peran entropi dalam menggambarkan ketidakteraturan dan dispersi energi dalam sistem termal. Entropi adalah ukuran dari tingkat ketidakteraturan atau kekacauan dalam

suatu sistem. Semakin tinggi nilai entropi, semakin besar kekacauan dalam sistem tersebut. Konsep ini berkaitan dengan distribusi energi dalam sistem dan sejauh mana energi tersebut dapat diatur secara teratur untuk melakukan pekerjaan yang berguna.

Entropi digunakan untuk menggambarkan sejauh mana partikel-partikel dalam sistem tersebar secara acak dan tidak teratur, seperti yang diperlihatkan oleh gambar 6.2. Semakin tinggi entropi, semakin besar ketidakteraturan dan kekacauan dalam sistem. Misalnya, gas dalam ruangan memiliki entropi yang lebih tinggi daripada gas yang terkonsentrasi di satu sudut saja. Entropi juga berkaitan dengan dispersi energi dalam sistem. Semakin tinggi entropi, semakin banyak energi yang terdispersi dan tidak tersedia untuk melakukan pekerjaan berguna. Entropi mengindikasikan sejauh mana energi yang dapat diubah menjadi energi kerja yang berguna, dan sejauh mana energi yang tersebar secara merata dalam sistem.



Gambar 6. 2 Proses Entropi

Pemahaman tentang entropi sangat penting dalam merancang sistem termal yang efisien. Dalam sistem termal, peningkatan entropi dapat mengindikasikan hilangnya energi dalam bentuk panas yang tidak dapat diubah menjadi energi kerja. Oleh karena itu, para insinyur harus berupaya untuk meminimalkan peningkatan entropi dalam sistem demi meningkatkan efisiensi.

Entropi, sebagai konsep penting dalam termodinamika, memiliki hubungan yang kompleks dengan perubahan suhu dan volume dalam proses termodinamika. Pertama, dalam konteks perubahan suhu  $T$  dalam proses reversibel, dapat diamati perubahan entropi dengan menggunakan rumus:

$$\Delta S = \int (C_p / T) dT \quad (6-1)$$

Di sini,  $\Delta S$  mewakili perubahan entropi,  $C_p$  adalah kapasitas panas spesifik pada tekanan konstan,  $T$  adalah suhu dalam satuan Kelvin, dan  $\int$  melambangkan operasi integral. Dalam perubahan volume  $V$  dalam proses reversibel, rumusnya adalah:

$$\Delta S = \int (C_v / T) dT \quad (6-2)$$

Rumus ini melibatkan kapasitas panas spesifik pada volume konstan,  $C_v$ . Dalam kedua kasus ini, bisa memahami bagaimana perubahan suhu atau volume dapat memengaruhi entropi sistem.

Selanjutnya adalah mengenal hubungan antara perubahan entropi dan panas dalam proses reversibel, yang dinyatakan sebagai:

$$\Delta S = Q / T \quad (6-3)$$

Dalam rumus ini,  $\Delta S$  mencerminkan perubahan entropi,  $Q$  adalah panas yang ditambahkan ke sistem (dalam kasus panas masuk) atau dilepaskan dari sistem (dalam kasus panas keluar), dan  $T$  adalah suhu dalam Kelvin. Jika entropi meningkat, nilai  $\Delta S$  positif, sedangkan jika entropi berkurang, nilai  $\Delta S$  negatif. Ini mengilustrasikan bagaimana perubahan entropi terkait dengan pertukaran panas dalam proses reversibel. Namun, dalam proses irreversibel, perubahan entropi cenderung meningkat lebih besar dari  $Q / T$ . Ini diungkapkan melalui rumus:

$$\Delta S \geq Q / T \quad (6-4)$$

DUMMY



DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY



DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

DUMMY

**BAB**

**07**

**Hukum Nol Mutlak**



---

# BAB 7

## HUKUM NOL MUTLAK

---



Gambar 7. 1 Ilustrasi Bab 7 ([google.com/imghp](https://www.google.com/imghp))

### 7.1. Menenal Hukum Nol Mutlak

Dalam pembahasan ini akan dijelaskan dengan tentang Hukum Nol Mutlak, yang juga dikenal sebagai Hukum Ketiga Termodinamika. Hal ini tentunya membawa hubungan erat ke dunia suhu mutlak dan keterkaitannya dengan entropi dan perubahan fase dalam sistem termal. Semua tentang definisi, konsep dasar, implikasi, serta peran penting Hukum Nol Mutlak dalam termodinamika dan rekayasa sistem termal akan dibahas di sini.

Hukum Nol Mutlak menyatakan bahwa saat suhu suatu sistem mendekati nol mutlak ( $0\text{ K}$  atau  $-273.15^{\circ}\text{C}$ ), entropi sistem mendekati nilai minimum mutlak yang dikenal sebagai nol mutlak entropi. Dengan kata lain, pada suhu nol mutlak, entropi murni dari sistem sempurna adalah nol. Hukum ini memberikan landasan untuk mengukur entropi mutlak dan menghubungkannya dengan suhu. Suhu mutlak adalah skala suhu yang diukur dalam satuan kelvin (K)