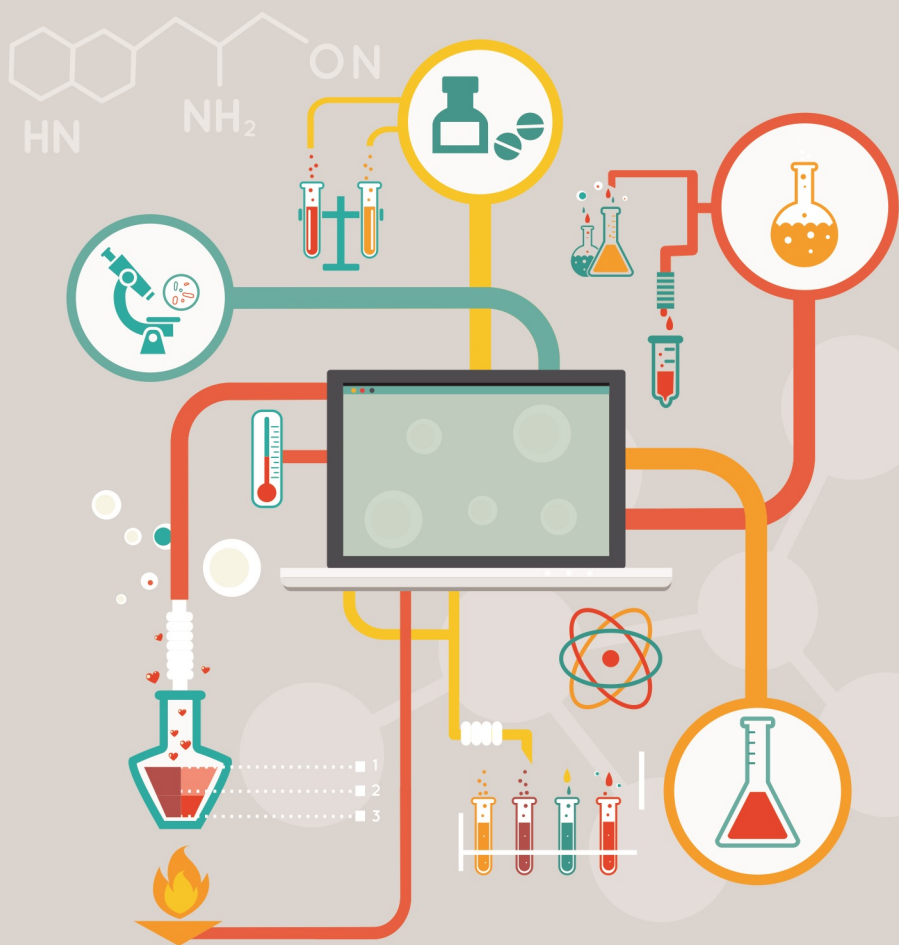


TERMODINAMIKA

TERINTEGRASI MODUL DIGITAL

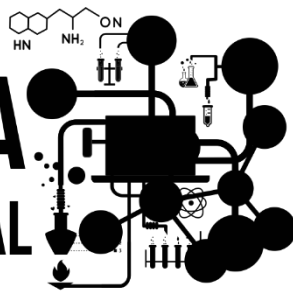


Abid Fahreza Alphanoda
Nely Toding Bunga



TERMODINAMIKA

TERINTEGRASI MODUL DIGITAL



Abid Fahreza Alphanoda
Nely Toding Bunga

TERMODINAMIKA TERINTEGRASI DENGAN MODUL DIGITAL

Tim Penulis:

Abid Fahreza Alphanoda, Nely Toding Bunga

Desain Cover:

Septian Maulana

Sumber Ilustrasi:

www.freepik.com

Tata Letak:

Handarini Rohana

Editor:

Teknobiz Team

Proofreader:

Aas Masruroh

ISBN:

978-623-500-734-2

Cetakan Pertama:

Februari, 2025

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

by Penerbit Widina Media Utama

Dilarang keras menerjemahkan, memfotokopi, atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini tanpa izin tertulis dari Penerbit.

PENERBIT:

WIDINA MEDIA UTAMA

Komplek Puri Melia Asri Blok C3 No. 17 Desa Bojong Emas
Kec. Solokan Jeruk Kabupaten Bandung, Provinsi Jawa Barat

Anggota IKAPI No. 360/JBA/2020

Website: www.penerbitwidina.com

Instagram: [@penerbitwidina](https://www.instagram.com/penerbitwidina)

Telepon (022) 87355370

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya kepada kita semua dan shalawat serta salam semoga tercurah kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW, sehingga buku ini dapat diselesaikan. Terima kasih disampaikan kepada Dana PKKM KEMENDIKTI, Rektor serta jajarannya, Dekan serta jajarannya, dan rekan dosen teknik Universitas Pancasila yang telah memberikan dukungan sangat besar sehingga buku ajar terintegrasi dengan modul digital ini bisa hadir di hadapan pembaca.

Buku Ajar “Termodinamika Terintegrasi Dengan Modul Digital ” ini dikembangkan sebagai versi rangkuman dari beberapa buku sejenis yang ditulis oleh penulis lain disertai pemahaman penulis terhadap dunia pengajaran khususnya Teknik Mesin Universitas Pancasila. Pada seluruh bagian buku ajar, nilai metodologi sistematik dalam analisa lebih ditekankan. Pendekatan sedemikian sangat penting, dengan memberikan berbagai tugas (pertanyaan dan soal) kepada mahasiswa di akhir setiap pembahasan. Kekurangpahaman mengenai berbagai dasar keteknikan seringkali timbul karena mahasiswa tidak mempelajari teori terlebih dahulu namun langsung contoh soal. Berbagai soal yang diberikan di akhir setiap bab yang mudah acapkali dapat dipecahkan dengan cara demikian, dan dengan tujuan tertentu penulis telah memberikan berbagai soal yang lebih panjang dan sulit untuk diterapkan pada proyek sesuai RPS, terutama di bab-bab akhir (Bab 6 dan 7) di mana berbagai prinsip termodinamika dapat dilibatkan dalam satu analisa. Penulis telah mengungkapkan bahwa keterlibatan dalam analisa berbagai sistem termodinamika dasar yang sederhana (Bab 1, 2, dan 3) dapat menimbulkan motivasi bagi pengembangan lanjut dalam teori (Bab 4 dan 5). Oleh karena itu, berbagai penerapan balans energi ditelaah sebelum pengenalan terhadap berbagai konsep hukum kedua. Susunan sedemikian memberi waktu pemahaman yang cukup bagi berbagai konsep tingkat keadaan dan hukum pertama, dan membantu pengenalan berbagai gagasan baru secara lebih komprehensif dalam perkuliahan.

Tujuan penulis adalah mengembangkan materi subjek dengan cara mempertahankan generalitas dan kesederhanaan termodinamika makroskopik. Namun demikian, argumentasi mikroskopik digunakan untuk memperoleh basis intuitif bagi berbagai postulasi makroskopik. Berbagai hukum termodinamika tidak dijabarkan dari berbagai postulasi mikroskopik. Cara pendekatan ini diterapkan untuk kemudahan dalam mempelajari subjek

termodinamika dan pada saat yang sama menumbuhkan berbagai akar dari aspek energi, entropi, tekanan, dan temperatur secara lebih baik dalam argumentasi mikroskopik.

Pembuatan buku ajar ini ditujukan bagi para mahasiswa teknik khususnya Program Studi Teknik Mesin Universitas Pancasila. Teori yang diberikan bertujuan agar para mahasiswa memperoleh pengertian tentang prinsip dasar termodinamika dengan setiap pokok bahasan dilengkapi contoh soal yang sedapat mungkin merupakan kasus riil di lapangan (*case method*) dan penerapan *project* disesuaikan penerapan ilmu termodinamika (*project based learning*).

Jakarta, November 2024

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	iii
DAFTAR ISI.....	v
BAB 1 PENGANTAR KONVERSI ENERGI.....	1
A. Tujuan Pembelajaran.....	1
B. Konsep, Model, dan Hukum Mekanika Pada Energi	1
C. Sistem Dimensi, Satuan	6
D. Studi Kasus Konversi Energi.....	7
E. Latihan	12
F. Daftar Pustaka	14
BAB 2 ENERGI DAN HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA.....	15
A. Tujuan Pembelajaran.....	15
B. Sistem Termodinamika 1	15
C. Sifat Benda Makroskopik dan Energi Makroskopik	17
D. Proses Perpindahan Energi.....	21
E. Latihan	33
F. Daftar Pustaka	33
BAB 3 KEADAAN TERMODINAMIK BERBAGAI ZAT	35
A. Tujuan Pembelajaran.....	35
B. Sifat, Keadaan, Kesetimbangan Termodinamik.....	35
C. Tekanan, Temperatur Termodinamik.....	41
D. Postulasi Tingkat Keadaan Termodinamik	45
E. Latihan	52
F. Daftar Pustaka	53
BAB 4 ANALISA ENERGI TERMODINAMIK.....	55
A. Tujuan Pembelajaran.....	55
B. Karakteristik Zat Sederhana, Diagram p-v-T, Campuran	55
C. Analisa Transformasi Kekekalan Energi, Massa, Volume,	59
D. Nosel, Difuser, Turbin, Kompresor, Pompa, Penukar Kalor	62
E. Latihan	83
F. Daftar Pustaka	84
BAB 5 ENTROPI DAN HUKUM KEDUA TERMODINAMIKA	85
A. Tujuan Pembelajaran.....	85
B. Hukum Kedua Termodinamik	85
C. Perpindahan dan Perubahan Entropi sebagai Fungsi Tingkat Keadaan	92
D. Kinerja Siklus Daya, Refrigerasi, Pompa Kalor, Carnot	95

E. Latihan	108
F. Daftar Pustaka	109
BAB 6 SISTEM TENAGA UAP	111
A. Tujuan Pembelajaran.....	111
B. Analisis dan Evaluasi Unjuk Kerja Model Sistem Tenaga Uap	111
C. Siklus Rankine Ideal, Carnot	117
D. Siklus Ireversibilitas, reversibilitas, regeneratif.....	121
E. Latihan	146
F. Daftar Pustaka	147
BAB 7 SISTEM TENAGA GAS	149
A. Tujuan Pembelajaran.....	149
B. Karakteristik Siklus Tenaga Gas dan Mesin Pembakaran Dalam	149
C. Siklus Otto, Diesel, Brayton Standar.....	154
D. Instalasi, Evaluasi, Kerugian, dan Ireversibilitas Turbin Gas.....	160
E. Latihan	176
F. Daftar Pustaka	177
LAMPIRAN.....	178

BAB 1

PENGANTAR KONVERSI ENERGI

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Pengantar Konversi Energi”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan definisi dasar, memberikan contoh aplikasi, dan menggunakan dengan tepat tentang: energi, termodinamika, sistem, volume control, sifat-sifat sistem.

Buku Ajar ini dilengkapi modul digital interaktif untuk membantu memudahkan memahami penjelasan. Silahkan scan Barcode berikut:



B. KONSEP, MODEL, DAN HUKUM MEKANIKA PADA ENERGI

Termodinamika merupakan salah satu bidang terpenting dalam ilmu rekayasa. Cara kerja kebanyakan sistem dapat dijelaskan dengan termodinamika. Termodinamika adalah modal utama seorang sarjana teknik teoritik untuk merancang motor bakar, pompa termal, motor roket, pusat pembangkit tenaga listrik, sistem pendukung kehidupan, turbin gas, alat pengkondisi.

udara, alat pemadam kebakaran, ginjal buatan, kawat transmisi superkonduktor, penyuling kimia, laser berdaya tinggi, dan sistem pemanas surya. Mahasiswa yang menaruh perhatian terhadap salah satu sistem ini, perlu memahami dan menerapkan termodinamika. Termodinamika memusatkan perhatian kepada energi, konsep bahwa energi itu tetap dan kekal adalah hukum termodinamika pertama. Dari konsep inilah titik tolak ilmu termodinamika dan analisa teknik. Konsep kedua dalam termodinamika adalah entropi, dengan entropi kemungkinan dan kemustahilan berlangsungnya suatu proses dapat ditentukan. Proses yang menghasilkan entropi mungkin terjadi, tetapi memusnahkan entropi mustahil dapat terjadi.

BAB 2

ENERGI DAN HUKUM

PERTAMA TERMODINAMIKA

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Energi dan Hukum I Termodinamika”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu Menjelaskan dan kejelasan penerapan konsep energi dan hukum Termodinamika I dan II dalam bidang teknik.

Buku Ajar ini dilengkapi modul digital interaktif untuk membantu memudahkan memahami penjelasan. Silahkan scan Barcode berikut:



B. SISTEM TERMODINAMIKA 1

Dalam setiap analisa ilmiah atau rekayasa (*engineering*) sangat penting untuk mencirikan secara jelas apapun yang sedang ditinjau. Istilah sistem akan digunakan secara luas untuk mencirikan subjek pembahasan atau analisa. Sistem adalah sesuatu yang didefinisikan oleh analisawan mengenai masalah yang dihadapinya. Sistem dapat berupa sekumpulan zat tertentu, seperti gas di dalam sebuah tabung. Atau sistem dapat berupa suatu daerah dalam ruang, seperti isi tabung termasuk apapun yang terjadi pada ketika itu di dalamnya.

Sesudah sistem didefinisikan dengan cermat, maka semua yang tidak termasuk sistem dinamakan lingkungannya (*surroundings*). Sistem dibedakan dari lingkungannya dengan suatu batas (*boundary*) yang spesifik. Interaksi antara sistem dan lingkungannya merupakan pokok perhatian dalam kajian termodinamika. Biasanya penyederhanaan analisa dapat diperoleh apabila sistem yang sedang dikaji dikurung dengan garis putus-putus. Dari sketsa

BAB 3

KEADAAN TERMODINAMIK BERBAGAI ZAT

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Keadaan Termodinamik Berbagai Zat”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan konsep entropi dan energi dalam keseharian serta aplikasi dalam pembangkit daya.

Buku Ajar ini dilengkapi modul digital interaktif untuk membantu memudahkan memahami penjelasan. Silahkan scan Barcode berikut:



B. SIFAT, KEADAAN, KESETIMBANGAN TERMODINAMIK

Setiap sistem rekayasa (*engineering system*) dibuat dengan menggunakan berbagai jumlah dan jenis zat. Pemberian sistem sedemikian dan prediksi berbagai karakteristik performansinya memerlukan pengetahuan mengenai berbagai sifat dari pelbagai zat. Jadi, pemahaman konsep tingkat keadaan dan konsep sifat merupakan hal yang esensial bagi seorang rekayasawan. Sifat (*property*) adalah sembarang karakteristik atau atribut yang dapat ditentukan secara kuantitatif. Volume, massa, energi, temperatur, tekanan, magnetisasi, polarisasi, dan warna, semuanya adalah sifat zat. Sifat adalah sesuatu yang dimiliki oleh zat. Kerja dan panas bukanlah sifat, karena keduanya adalah sesuatu yang diterapkan terhadap suatu sistem untuk menghasilkan berbagai perubahan sifat. Berlangsungnya perpindahan energi sebagai kerja dan panas dapat dibuktikan oleh adanya berbagai perubahan sifat, tetapi besarnya perpindahan energi bergantung kepada cara terjadinya perubahan energi tersebut. Misalnya, tinjau persoalan kompresi suatu gas dari kondisi di mana tekanannya p_1 dan volumenya V_1 hingga tingkat keadaan lain p_2 dan V_2 . Kompresi ini dapat dilakukan dengan berbagai cara yang tak berhingga

BAB 4

ANALISA ENERGI TERMODINAMIK

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Analisa Energi Termodinamik”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan siklus pembangkit daya dalam dunia industri, menggambarkan dan menganalisa siklus brayton secara regeneratif dan pemanasan ulang.

Buku Ajar ini dilengkapi modul digital interaktif untuk membantu memudahkan memahami penjelasan. Silahkan scan Barcode berikut:



B. KARAKTERISTIK ZAT SEDERHANA, DIAGRAM P-V-T, CAMPURAN

Untuk menerapkan balans energi terhadap suatu sistem yang ditinjau memerlukan pengetahuan akan sifat-sifat dari sistem dan bagaimana sifat-sifat termodinamik tersebut saling dihubungkan. Cara analisa zat yang paling sederhana adalah dengan mengandaikan zat sebagai hanya mempunyai satu modus kerja saja. Zat yang sedemikian disebut zat sederhana yang dari postulasi tingkat keadaan hanya mempunyai dua sifat termodinamik intensif yang dapat merupakan variabel secara bebas. Zat kompresibel sederhana adalah istilah yang digunakan bagi zat yang mempunyai kerja reversibel yang berperan penting, dan kerja itu dikaitkan dengan perubahan volume (kerja pdV). Teori zat kompresibel sederhana dikembangkan untuk menghubungkan berbagai sifat termodinamik zat. Pada hakekatnya tidak suatu zat pun dapat dikatakan sebagai sederhana secara murni, walaupun demikian berbagai analisa rekayasa dapat dilakukan dengan memandang berbagai zat yang terlibat sebagai zat kompresibel sederhana. Zat.

BAB 5

ENTROPI DAN HUKUM

KEDUA TERMODINAMIKA

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Analisa Energi Termodinamik”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu menjelaskan entitas entropi dan hubungannya dengan hukum kedua termodinamika.

Buku Ajar ini dilengkapi modul digital interaktif untuk membantu memudahkan memahami penjelasan. Silahkan scan Barcode berikut:



B. HUKUM KEDUA TERMODINAMIK

Gagasan penting dalam ilmu pengetahuan adalah bahwa alam itu berperilaku sedemikian sehingga dapat diprediksikan. Sejauh ini telah ditunjukkan penggunaan analisa balans energi untuk memprediksikan perubahan tingkat keadaan suatu sistem yang disebabkan oleh berlangsungnya berbagai perpindahan energi sebagai panas dan kerja, atau oleh berbagai perubahan spontan di dalam sistem. Dari pengalaman sehari-hari diketahui bahwa walaupun beberapa perubahan tingkat keadaan dapat berlangsung spontan dalam sistem terisolasi, tetapi, berbagai perubahan dalam arah kebalikannya tidak pernah diamati kejadiannya. Oksigen dan hidrogen selalu bereaksi membentuk air, tetapi hingga kini belum seorangpun pernah melihat air mengurai secara spontan menjadi kedua elemen dasarnya. Dengan analisa hukum pertama saja kemungkinan atau kemustahilan berlangsungnya suatu proses belum dapat diungkapkan.

Dengan analisa hukum pertama saja kemungkinan atau kemustahilan kelangsungan suatu proses belum dapat diungkapkan. Hukum pertama tidak mampu menunjukkan arah dari perubahan waktu. Penjajagan gagasan ini

BAB 6

SISTEM TENAGA UAP

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Analisa Kombinasi Siklus Rankine dan Brayton disertai aplikasinya”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu menganalisa konsep, menghitung efisiensi dari setiap siklus, dan menggambarkan kombinasi siklus rankine dan siklus bryton serta aplikasinya dalam bidang industri.

Buku Ajar ini dilengkapi modul digital interaktif untuk membantu memudahkan memahami penjelasan. Silahkan scan Barcode berikut:



B. ANALISIS DAN EVALUASI UNJUK KERJA MODEL SISTEM TENAGA UAP

Proses yang terjadi dalam sistem pembangkit tenaga uap cukup rumit, sehingga perlu dilakukan idealisasi untuk membuat model termodinamika yang mudah dipelajari. Pembuatan model merupakan langkah awal yang penting dalam pembuatan rancangan teknik. Walaupun studi mengenai model-model yang disederhanakan hanya menghasilkan kesimpulan kualitatif mengenai kinerja alat-alat aktualnya, model tersebut dapat menunjukkan bagaimana perubahan suatu parameter operasi yang penting akan mempengaruhi kinerja aktual. Model juga memberikan kerangka yang sederhana untuk pembahasan fungsi dan kelebihan proses yang dirancang untuk memperbaiki kinerja keseluruhan.

Sebagian besar instalasi pembangkit listrik merupakan variasi dari pembangkit tenaga uap, yang menggunakan air sebagai fluida kerja. Komponen-komponen dasar suatu instalasi pembangkit tenaga uap berbahan bakar fosil ditunjukkan secara skematik pada gambar. 6.1. Untuk memfasilitasi analisis termodinamika, keseluruhan instalasi dibagi dalam 4

BAB 7

SISTEM TENAGA GAS

A. TUJUAN PEMBELAJARAN

Pada bab ini akan dijelaskan tentang “Sistem Tenaga Gas”. Setelah mempelajari bab ini, mahasiswa diharapkan mampu menganalisa konsep, menghitung efisiensi dari setiap siklus, dan menggambarkan kombinasi proses reaksi kimia, proses, hingga reaksi pembakaran disertai aplikasinya dalam bidang industri.

B. KARAKTERISTIK SIKLUS TENAGA GAS DAN MESIN PEMBAKARAN DALAM

Siklus yang telah dipelajari di Bab 6 menggunakan fluida kerja dalam fase cair dan gas (uap). Keunggulan dari siklus sedemikian adalah bahwa kerja yang diperlukan untuk menekan cairan lebih kecil dibandingkan dengan kerja yang diperoleh dari pengekspansian gas, karena itu nisbah kerja balik (*back work ratio*, atau *bwr*)-nya cukup rendah. Oleh karena itu, rendahnya efisiensi dalam proses kompresi dan ekspansi masih dapat ditolerir. Apabila sebagai penggantinya dibuat agar fluida kerja tetap serba gas di seluruh siklus, akan timbul masalah akibat tingginya *bwr*. Ini berarti, proses kompresi akan menguras suatu bagian besar dari kerja yang diperoleh dari proses ekspansi. Keunggulan berupa rendahnya *bwr* bagi siklus Rankine, adalah alasan utama berkembangnya teknologi sistem tenaga uap sehingga mencapai tingkat kemajuan yang bisa dinikmati hingga saat ini.

Berbagai siklus tenaga gas yang bekerja secara stasioner (sistem tenaga turbin gas) terbatas pada berbagai temperatur maksimum yang lebih rendah, dan sebagai konsekuensinya kerapatan fluida yang harus dikompresikan dan yang dapat diekspansikan hampir sama. Hal ini cenderung menghasilkan *bwr* yang tinggi, dan sebagai konsekuensinya berbagai efisiensi isentropik turbin dan kompresor yang tinggi perlu dicapai apabila kerja netto ingin dihasilkan.

Sejak abad ke-20, berbagai efisiensi kompresor yang cukup tinggi untuk menghasilkan kerja netto yang positif dari siklus berhasil dicapai. Sejak itu berbagai kemajuan yang pesat dalam teknologi kompresor aliran sentrifugal dan aksial dicapai. Dan sekarang, berbagai sistem tenaga gas turbin yang mempunyai berbagai efisiensi yang dapat bersaing dengan berbagai sistem tenaga uap dan motor torak pembakaran dalam, sudah dapat dibuat.

TERMODINAMIKA TERINTEGRASI MODUL DIGITAL



Termodinamika terintegrasi dengan modul digital merupakan penggabungan konsep dasar termodinamika dengan teknologi digital untuk mempermudah pemahaman dan penerapan prinsip-prinsip termodinamika dalam berbagai bidang teknik. Termodinamika sendiri adalah cabang ilmu fisika yang mempelajari hubungan antara panas, energi, dan kerja dalam sistem fisik. Dalam konteks ini, pemodelan dan analisis termodinamika yang biasanya dilakukan secara manual atau menggunakan perangkat konvensional kini semakin dipermudah dengan adanya modul digital. Modul digital dalam termodinamika menawarkan berbagai manfaat, seperti kemampuan untuk menghitung, menganalisis, dan mensimulasikan proses termodinamika secara real-time. Dengan menggunakan perangkat lunak atau aplikasi digital, pengguna dapat melakukan perhitungan yang lebih cepat, akurat, dan efisien.

Modul digital ini juga memungkinkan visualisasi dari siklus termodinamika, seperti siklus Rankine, Carnot, atau Brayton, serta menganalisis perubahan energi dalam berbagai kondisi sistem secara dinamis. Integrasi ini sangat bermanfaat dalam pendidikan dan penelitian, di mana mahasiswa dan profesional dapat memperoleh pemahaman yang lebih baik tentang konsep-konsep abstrak seperti entropi, entalpi, dan perubahan energi tanpa harus mengandalkan perhitungan manual yang rumit. Selain itu, teknologi digital juga memungkinkan pemodelan sistem termodinamika yang lebih kompleks, seperti sistem pembangkit listrik atau mesin pendingin, yang sulit dianalisis hanya dengan metode tradisional. Secara keseluruhan, termodinamika terintegrasi dengan modul digital membuka peluang baru dalam pemahaman, penelitian, dan pengembangan teknologi berbasis energi, memberikan kemudahan serta efisiensi dalam proses pembelajaran dan aplikasi di dunia industri.



SCANME

www.penerbitwidina.com
@penerbitwidina
penerbitwidina@gmail.com
widina store
widina bookstore

0815-7000-699

Teknik & Industri

ISBN 978-623-500-734-2



9 786235 007342