

TERMODINAMIK PELAJAR KEJURUTERAAN

Penulis:

Amir Khalid¹, Mohammad Fahmi Abd Ghafir², Md Norrizam Mohmad Ja'at³, Sofian Mohd⁴, Siti Mariam Basharie⁵

Emel:

amirk@uthm.edu.my¹, fahmi@uthm.edu.my², norrizam@uthm.edu.my³,
sofian@uthm.edu.my⁴, mariam@uthm.edu.my⁵

Abstrak: Termodinamik adalah satu perkataan yang agak asing dalam kehidupan seharian kita. Walau bagaimanapun begitu, ianya adalah satu bidang yang amat penting dalam bidang kejuruteraan. Termodinamik adalah satu cabang sains asas yang berkaitan dengan pengajian tenaga. Subjek ini boleh dianggap agak abstrak kerana melibatkan banyak prinsip dan falsafah yang mungkin sukar untuk dibayangkan. Kadang kala juga ia dianggap satu subjek yang sukar. Oleh itu, pendekatan yang digunakan di dalam teks ini lebih kepada penerangan dengan cara yang diharap mudah difahami lengkap dengan contoh-contoh penyelesaian bagi tajuk yang berkaitan. Penyelesaian terhadap masalah juga diterangkan secara teratur supaya pengguna atau pelajar dapat mengikuti dan memahaminya dengan lebih mudah. Topik-topik yang dipilih dalam teks ini adalah berpandukan kepada silibus yang lazimnya digunakan dalam pengajian subjek termodinamik asas bagi kebanyakan institusi pengajian tinggi. Manakala semua unit yang digunakan dalam teks ini adalah unit SI. Ini disebabkan unit ini telah digunakan dengan meluas di seluruh dunia pada masa kini.

Kata Kunci: Kejuruteraan, kapasiti haba, tenaga, perkakasan, sistem



TERMODINAMIK PELAJAR KEJURUTERAAN

Amir Khalid
Mohammad Fahmi Abd Ghafir
Md Norrizam Mohmad Jaat
Sofian Mohd
Siti Mariam Basharie



Penerbit
UTHM



TERMODINAMIK

PELAJAR KEJURUTERAAN

 EDISI PERTAMA

TERMODINAMIK PELAJAR KEJURUTERAAN

Amir Khalid
Mohammad Fahmi Abd Ghafir
Md Norrizam Mohmad Jaat
Sofian Mohd
Siti Mariam Basharie


**Penerbit
UTHM**
2022

Penulis Bersama

Mahmod Abd Hakim Mohamad
Md Nor Anuar Mohamad
Md Zin Ibrahim
Yong Tze Mi
Mohd Faizal Mohideen Batcha
Wan Mohd Wardi Wan Abdul Rahman
Mohamad Farid Sies
Hanis Zakaria
Muhammad Hanafi Asril Rajo Mantari
Mohd Najib Janon

© Penerbit UTHM
Cetakan Pertama 2022

Hak cipta terpelihara. Menghasilkan semula mana-mana artikel, ilustrasi dan kandungan buku ini dalam apa jua bentuk elektronik, mekanikal fotokopi, rakaman atau apa-apa bentuk tanpa kebenaran bertulis terlebih dahulu daripada Pejabat Penerbit Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Parit Raja, Batu Pahat, Johor adalah dilarang. Mana-mana rundingan tertakluk kepada pengiraan royalti dan honorarium.

Perpustakaan Negara Malaysia Data Pengkatalogan-dalam-Penerbitan
Amir Khalid

TERMODINAMIK : PELAJAR KEJURUTERAAN / Amir Khalid,
Mohammad Fahmi Abd Ghafir, Md Norrizam Mohmad Jaat, Sofian Mohd,
Siti Mariam Basharie.

ISBN 978-967-0061-33-7

1. Thermodynamics.

2. Engineering.

3. Government publications--Malaysia.

I. Mohammad Fahmi Abd. Ghafir. II. Md. Norrizam Mohmad Jaat.

III. Sofian Mohd. IV. Siti Mariam Basharie.

V. Judul.

536.7

Diterbit & dicetak oleh:

Penerbit UTHM
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia
86400 Parit Raja,
Batu Pahat, Johor
No. Tel: 07-453 8698 / 8529
No. Faks: 07-453 6145

Laman web: <http://penerbit.uthm.edu.my>
e-mel: Pemasaran.uthm@gmail.com
<http://e-bookstore.uthm.edu.my>
Penerbit UTHM adalah anggota
Majlis Penerbitan Ilmiah Malaysia
(MAPIM)

ISI KANDUNGAN

BIL	PERKARA	MUKA SURAT
	Kandungan	vii
	Prakata	xi
1	Konsep Asas Dan Takrifan	
1.1	Pengenalan	1
1.2	Bidang Penggunaan Prinsip Termodinamik	1
1.3	Hukum Termodinamik Sepintas Lalu	3
1.3.1	Hukum Sifar Termodinamik	3
1.3.2	Hukum Pertama Termodinamik	4
1.3.3	Hukum Kedua Termodinamik	6
1.4	Sistem, Sempadan Dan Sekitaran	7
1.4.1	Sistem Termodinamik	7
1.4.2	Sekitaran	8
1.4.3	Sempadan Sistem	8
1.4.4	Sistem Tertutup dan Sistem Terbuka	8
1.5	Sifat, Keadaan dan Proses Termodinamik	0
1.5.1	Bendalir Bekerja	10
1.5.2	Sifat Sistem	10
1.5.3	Jenis-Jenis Sifat	11
1.5.4	Prinsip Dua Sifat	11
1.5.5	Keseimbangan Termodinamik	12
1.5.6	Proses-Proses Termodinamik	12
1.6	Gambarajah Keadaan	18
1.7	Sifat Sebagai Fungsi Titik	18
1.8	Dimensi dan Unit Asas	19
1.8.1	Dimensi Asas	19
1.8.2	Dimensi Sekunder	20
1.8.3	Sistem Metrik	20
1.8.4	Sistem Imperial	21
1.8.5	Pertukaran Unit	22
1.9	Tekanan	
1.9.1	Alat Pengukuran Tekanan	30
1.10	Suhu	33
1.10.1	Skala Suhu	
	Latihan	
2	Tenaga, Haba Dan Kerja	
2.1	Pengenalan	41
2.2	Tenaga Dinamik dan Tenaga Statik	41

2.2.1	Kerja	45
2.2.2	Pemindahan Haba	50
2.2.3	Mod Pemindahan Haba	51
	Latihan	54
3	Sifat-Sifat Bahan Tulen	
3.1	Pengenalan	59
3.2	Fasa Bahan Tulen	59
3.3	Proses Perubahan Fasa Bagi Bahan Tulen	61
3.3.1	Suhu Tepu dan Tekanan Tepu	64
3.3.2	Gambarajah Keadaan Untuk Proses Proses Perubahan Fasa	65
3.4	Permukaan P - v - T	70
3.5	Jadual Sifat Termodinamik	71
3.5.1	Keadaan Cecair dan Wap Tepu	72
3.5.2	Keadaan Wap Tepu Lampau	74
3.5.3	Keadaan Wap Basah	76
3.5.4	Keadaan Cecair Termampat	80
3.5.5	Interpolasi	81
3.5.5	Proses-Proses Sesifat	84
3.6	Unggul	88
3.6.1	Persamaan Gas Unggul	89
3.6.2	Gambarajah Keadaan Gas Unggul	91
3.6.3	Haba Tentu Gas Unggul	94
3.6.4	Hubungan Tenaga Dalam, Entalpi dan Haba Tentu Gas Unggul	95
3.6.5	Hubungan c_p , c_v dan Pemalar Gas R	96
3.6.6	Nisbah Haba Tentu, γ	97
	Latihan	98
4	Hukum Pertama Termodinamik Sistem Tertutup	
4.1	Pengenalan	109
4.2	Prinsip Keabadian Tenaga	109
4.3	Kitar Termodinamik	112
4.4	Proses-Proses Sistem Tertutup	112
4.4.1	Proses Setekanan	113
4.4.2	Proses Seisipadu	115
4.4.3	Proses Sesuhu	116
4.4.4	Proses Politropik	120
	Latihan	124
5	Hukum Pertama Termodinamik Sistem Terbuka	
5.1	Pengenalan	133
5.2	Prinsip Keabadian Jisim	134
5.2.1	Kadalar Jisim, dan Kadalar Isipadu,	134
5.3	Tenaga Aliran, PV	137

5.4	Prinsip Keabadian Tenaga Sistem Terbuka	137
5.4.1	Aliran Mantap	139
5.5	Analisis Hukum Pertama Termodinamik Sistem Terbuka Ke Atas Beberapa Komponen Kejuruteraan	143
5.5.1	Pemampat Dan Pam	143
5.5.2	Turbin	146
5.5.3	Muncung Dan Peresap	152
5.5.4	Alat Penukar Haba	161
5.5.5	Kebuk Percampuran	164
5.5.6	Injap Pengembangan Terma	166
	Latihan	168
6	Hukum Kedua Termodinamik	
6.1	Pengenalan	171
6.2	Takungan Haba	171
6.3	Enjin Haba	172
6.3.1	Kecekapan Terma,	174
6.3.2	Kenyataan Kelvin-Plank	175
6.4	Enjin Haba Balikan	176
6.4.1	Prestasi Penyejukan Penyejuk, PPP dan Prestasi Penyejukan Pam Haba PPPH	179
6.4.2	Hubungan Di Antara PPP Dan PPPH	181
6.4.3	Kenyataan Clausius	182
6.5	Prinsip Carnot	182
6.6	Skala Suhu Kelvin	183
6.7	Enjin Haba Carnot	184
6.8	Enjin Haba Balikan Carnot	188
	Latihan	191
7	Entropi	
7.1	Pengenalan	197
7.2	Apa Itu Entropi?	197
7.3	Ketaksamaan Clausius	198
7.4	Definisi Entropi	202
7.5	Perubahan Entropi Bahan Tulen	204
7.5.1	Perubahan Entropi Bagi Stim	204
7.5.2	Rajah T-s Bagi Stim	205
7.5.3	Perubahan Entropi Bagi Udara	207
7.5.4	Rajah T-s Gas Unggul	208
7.5.5	Proses Seentropi / Isentropik	211
7.6	Prinsip Penambahan dan Penjanaan Entropi: Penentuan Kualiti Proses	215
7.6.1	Analisis Penjanaan Entropi Sistem Tertutup	218
7.6.2	Analisis Penjanaan Entropi Sistem Terbuka	220

7.7	Kecekapan Seentropi	224
7.7.1	Kecekapan Seentropi Pemampat	224
7.7.2	Kecekapan Seentropi Turbin	226
	Latihan	230
	BIBLIOGRAFI	239
	BIOGRAFI	241
	INDEX	243

PRAKATA

Bersyukur ke hadrat Allah. Dengan limpah kurnia dan rahmatnya, buku ini dapat disiapkan walaupun mungkin banyak lagi kekurangannya yang perlu diperbaiki. Namun begitu, ia akan cuba diperbaiki masa ke masa supaya ia dapat memenuhi keperluan pengajaran termodinamik yang lebih berkesan.

Termodinamik adalah satu perkataan yang agak asing dalam kehidupan seharian kita. Walau bagaimanapun begitu, ianya adalah satu bidang yang amat penting dalam bidang kejuruteraan. Termodinamik adalah satu cabang sains asas yang berkaitan dengan pengajian tenaga. Subjek ini boleh dianggap agak abstrak kerana melibatkan banyak prinsip dan falsafah yang mungkin sukar untuk dibayangkan. Kadang-kala juga ia dianggap satu subjek yang sukar. Oleh itu, pendekatan yang digunakan di dalam teks ini lebih kepada penerangan dengan cara yang diharap mudah difahami lengkap dengan contoh-contoh penyelesaian bagi tajuk yang berkaitan. Penyelesaian terhadap masalah juga diterangkan secara teratur supaya pengguna atau pelajar dapat mengikuti dan memahaminya dengan lebih mudah.

Topik-topik yang dipilih dalam teks ini adalah berpandukan kepada silibus yang lazimnya digunakan dalam pengajian subjek termodinamik asas bagi kebanyakan institut pengajian tinggi. Manakala semua unit yang digunakan dalam teks ini adalah unit SI. Ini disebabkan unit ini telah digunakan dengan meluas di seluruh dunia pada masa kini.

Di sini, penulis mengambil kesempatan untuk memberi penghargaan ke atas sebarang komen, cadangan dan kritikan yang membina daripada pensyarah-pensyarah, Felo Industri, Penyelidik dan juruteknik yang telah menggunakan teks ini. Diharap buku ini dapat menjadi panduan dan inspirasi pelajar dan juga penyelidik bagi meneruskan kajian, pengajaran dan pembelajaran di dalam kejuruteraan.

BAB 1

KONSEP ASAS DAN TAKRIFAN

1.1 Pengenalan

Termodinamik merupakan satu cabang ilmu pengkajian yang penting di dalam bidang kejuruteraan. Ini adalah kerana termodinamik adalah satu bidang yang mengkaji kewujudan tenaga dan interaksinya. Perkataan termodinamik ini berasal daripada perkataan Greek *therme* (haba) dan *dynamic* (gerakan). Jelas menunjukkan daripada perkataan awal ini, termodinamik boleh didefinisikan sebagai kajian pergerakan haba. Sejarah menunjukkan bahawa kajian termodinamik ini dilakukan secara formal bermula pada kurun ke 19 yang mengkaji kapasiti haba yang diperlukan bagi menghasilkan kerja. Sehingga kini kajian termodinamik telah berkembang dan mempunyai skop yang lebih besar yang membincangkan bukan sahaja haba tetapi tenaga secara keseluruhannya. Perkembangan terhadap skop kajian bidang ini menyebabkan definisi awal termodinamik dikembangkan kepada kajian menyeluruh terhadap sifat-sifat tenaga. Irving Granet mendefinisikan termodinamik sebagai “...*the study of energy, heat, work, the properties of the media employed, and the process involved...*”. D.B. Spalding pula mendefinisikan termodinamik sebagai “...*the science of the relations between heat work and the properties of systems...*”. Mohd Kamal Ariffin pula mendefinisikan termodinamik sebagai “...suatu cabang sains yang mengkaji perubahan tenaga di dalam bentuk haba dan pertaliannya dengan sifat-sifat jasad yang terpengaruh terhadap perubahan tersebut. Secara keseluruhannya, daripada definisi-definisi yang telah diberikan jelas menunjukkan termodinamik adalah satu kajian sains tenaga yang melibatkan tenaga dan perubahannya di dalam bentuk haba dengan mengambil kira sifat-sifat sistem serta proses-proses yang terlibat.

1.2 Bidang Penggunaan Prinsip Termodinamik

Sekiranya dilihat penggunaan prinsip termodinamik ini secara teliti, kita akan dapat hampir semua sistem yang terdapat di alam ini mempunyai interaksi dengan tenaga; daripada sebuah sistem yang rumit seperti sistem kuasa nuklear sehinggalah sistem yang ringkas seperti cerek elektrik dan televisyen. Oleh itu sukar untuk kita membayangkan suatu sistem yang tidak mempunyai hubungkaitnya dengan bidang termodinamik. Jadual 1.1 menunjukkan beberapa aplikasi yang berkaitan dengan bidang termodinamik.

BAB 2

TENAGA, HABA DAN KERJA

2.1 Pengenalan

Tenaga boleh didefinisikan sebagai keupayaan sesuatu sistem melakukan kerja. Di dalam termodinamik, perbincangan terhadap tenaga merupakan satu perbincangan yang penting. Hukum Pertama dan Kedua Termodinamik merupakan hukum-hukum termodinamik yang membincangkan tenaga dari aspek kuantitatif dan kualitatif. Tenaga adalah abadi; tidak boleh dicipta mahupun dimusnahkan dan hanya boleh berubah bentuk dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Oleh kerana itu, terdapat pelbagai jenis tenaga di dunia ini. Antara tenaga yang biasa kita bincangkan ialah tenaga kimia, tenaga keupayaan, tenaga magnetik, tenaga kinetik dan tenaga nuklear. Selain daripada tenaga boleh bertukar bentuk, ia juga boleh berpindah dari satu sistem ke sistem yang lain atau dari sistem ke persekitaran melalui sempadan sistem.

Sesuatu sistem boleh mengandungi lebih daripada satu jenis tenaga pada satu masa. Oleh itu, hasil tambah keseluruhan tenaga di dalam sistem tersebut dipanggil sebagai **tenaga keseluruhan** atau **tenaga jumlah**, E (*Joule, J*). Di dalam mata pelajaran ini, kita akan banyak menggunakan unit kiloJoule, kJ . Secara praktikal, adalah sukar untuk kita mengenalpasti berapa banyak dan berapa jenis tenaga yang terkandung di dalam sesuatu sistem. Ini adalah kerana tenaga adalah sesuatu yang tidak boleh dilihat dan digambarkan. Oleh itu pengkajian termodinamik hanya terbatas untuk mengkaji perubahan kepada tenaga jumlah, E di dalam sesuatu sistem.

2.2 Tenaga Dinamik Dan Tenaga Statik

Tenaga boleh dibahagikan kepada 2 jenis iaitu tenaga dinamik dan tenaga statik. Tenaga dinamik merupakan tenaga yang boleh mengalir keluar dan masuk ke dalam sistem melalui sempadan sistem. Hanya terdapat dua jenis tenaga yang boleh berbuat demikian iaitu kerja dan haba. Tenaga statik pula merupakan kumpulan tenaga yang terkandung di dalam sistem dan tidak keluar dan masuk ke dalam sistem melalui sempadan sistem.

BAB 3

SIFAT-SIFAT BAHAN TULEN

3.1 Pengenalan

Bahan tulen boleh didefinisikan sebagai sesuatu bahan yang mempunyai komposisi kimia yang tetap. Antara contoh bahan tulen ialah air, udara, ammonia dan helium. Bahan tulen tidak semestinya terdiri daripada satu elemen kimia sahaja. Campuran beberapa jenis elemen kimia juga boleh dipanggil sebagai bahan tulen selagi campuran itu adalah homogeneous. Udara misalnya mempunyai campuran beberapa jenis gas seperti oksigen, karbon dioksida dan nitrogen; namun begitu oleh kerana peratusan komposisi gas ini adalah sama maka udara boleh dianggap sebagai bahan tulen.

Satu bahan yang bercampur di antara dua atau tiga fasa juga merupakan bahan tulen asalkan komposisi kimianya adalah sama. Sebagai contohnya, sejumlah air yang dicampur dengan air batu. Walaupun campuran itu terdiri daripada fasa pepejal dan cecair, namun kedua-duanya mempunyai komposisi kimia yang sama iaitu H_2O . Campuran di antara minyak dan air bukan merupakan bahan tulen. Oleh kerana minyak tidak boleh larut ke dalam air maka ia akan meninggalkan satu lapisan yang membentuk dua kawasan kimia yang tidak bercampur.

3.2 Fasa Bahan Tulen

Secara amnya sesuatu bahan mempunyai 3 fasa utama iaitu:

- a. Pepejal
- b. Cecair
- c. Gas

Air contohnya berbentuk pepejal apabila ia berada pada suhu di bawah $0^{\circ}C$ (pada tekanan 1 atm) dan akan menjadi gas apabila berada di atas takat didih $100^{\circ}C$ pada tekanan yang sama. Di antara suhu $0^{\circ}C$ dan $100^{\circ}C$ pula, air berbentuk cecair.

Pada satu ketika, bahan tulen yang berbeza boleh berada pada fasa yang berbeza Ini disebabkan oleh komposisi kimia bahan yang berbeza. Pada suhu bilik misalnya,

BAB 4

HUKUM PERTAMA TERMODINAMIK SISTEM TERTUTUP

4.1 Pengenalan

Hukum pertama termodinamik merupakan satu hukum yang membincangkan tentang keabadian tenaga. Hukum ini menyatakan, tenaga tidak boleh dicipta atau dimusnahkan; tetapi hanya boleh berubah bentuk dari satu bentuk kepada satu bentuk yang lain. Seketul batu yang berada pada ketinggian tertentu akan mengalami perubahan tenaga daripada tenaga keupayaan kepada tenaga kinetik apabila batu tersebut dijatuhkan.

Hukum pertama termodinamik lebih tertumpu kepada menilai tenaga dari aspek kuantiti tenaga tersebut. Berapa banyakkah tenaga telah bertukar dan kepada bentuk apakah tenaga telah bertukar adalah asas kepada hukum ini. Di dalam bab ini kita akan melihat hubungan di antara kerja, haba dan tenaga bagi proses-proses yang berlaku di dalam sistem yang tertutup. Terdapat beberapa proses yang baru akan diperkenalkan di samping proses sesifat yang telah dibincangkan sebelum ini. Bab ini akan membincangkan analisis hukum pertama merujuk kepada wap dan gas unggul. Penekanan diberikan kepada dua bahan ini kerana dari segi penggunaan yang meluas serta kaedah penyelesaian yang berbeza.

4.2 Prinsip Keabadian Tenaga

Pertimbangkan sebuah sistem yang mempunyai tenaga tersimpan sebanyak 25 kJ seperti Rajah 4.1. Sistem tersebut kemudiannya dipanaskan menyebabkan tenaga berpindah masuk ke dalam sistem sebanyak 10 kJ. Di dalam kes ini perubahan tenaga di dalam sistem ialah +10 kJ (tenaga bertambah) manakala perubahan tenaga sekitaran ialah -10 kJ (tenaga berkurang). Sistem tidak menghasilkan sebarang tenaga; cuma tenaga berpindah dari sekitaran masuk ke dalam sistem. Dari kes ini kita boleh simpulkan bahawa;

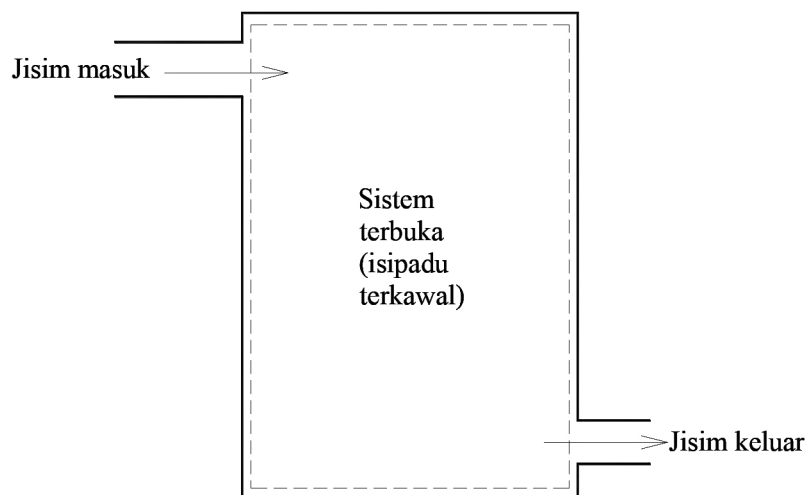
BAB 5

HUKUM PERTAMA TERMODINAMIK

SISTEM TERBUKA

5.1 Pengenalan

Di dalam bab 1, telah dibincangkan bahawa terdapat dua jenis sistem iaitu sistem tertutup dan sistem terbuka. Sistem terbuka dikenali sebagai sistem isipadu terkawal kerana sistem ini membenarkan sejumlah jisim mengalir keluar dan masuk ke dalam sistem melalui sempadan sistem sambil mengekalkan isipadu sistem berkenaan seperti Rajah 5.1. Garis putus-putus di dalam rajah di atas merupakan sempadan sistem.



Rajah 5.1: Jisim keluar masuk bagi sebuah sistem terbuka

Kebanyakan daripada analisis kejuruteraan melibatkan jisim keluar dan masuk ke dalam sistem. Komponen-komponen sebuah loji kuasa stim yang terdiri daripada pemampat, turbin, dandang dan pemeluwap membenarkan sejumlah stim keluar dan masuk melaluinya. Oleh itu komponen-komponen ini sering dimodelkan sebagai sebuah sistem terbuka.

BAB 6

HUKUM KEDUA TERMODINAMIK

6.1 Pengenalan

Hukum pertama termodinamik merupakan hukum asas yang menghuraikan tenaga dari aspek kuantitatif. Ini bererti hukum ini banyak mengemukakan soalan mengenai berapa banyak perubahan tenaga itu berlaku dan pertukaran tenaga dari satu bentuk ke bentuk yang lain. Telah dibincangkan di dalam bab 1 sebelum ini, sesuatu proses tidak akan berlaku sekiranya ia hanya mematuhi hukum pertama termodinamik tanpa mematuhi hukum kedua. Ini kerana hukum kedua termodinamik adalah satu hukum yang membincangkan tenaga dari aspek kualitatif. Apa yang dimaksudkan dengan perbincangan dari aspek kualitatif adalah perbincangan tenaga melibatkan dari segi pergerakan tenaga tersebut serta kebolehdialukan dan ketidakbolehdialukan sesuatu proses.

6.2 Takungan Haba

Sebelum membincangkan hukum kedua termodinamik dengan lebih lanjut, adalah lebih baik sekiranya beberapa definisi baru diperkenalkan terlebih dahulu. Takungan haba boleh didefinisikan sesuatu sistem yang mempunyai kebolehan untuk menerima atau menyingkirkan haba secara infiniti tanpa mengubah suhu sistem berkenaan. Beberapa contoh takungan haba ialah air sungai, tasik, laut dan atmosfera. Kebolehan takungan haba ini adalah disebabkan oleh kapasiti muatan habanya (jisim \times muatan haba tentu) yang besar relatif kepada jumlah haba yang diterima atau disingkirkan.

Takungan haba tidak semestinya mempunyai saiz yang besar. Udara di dalam bilik komputer misalnya boleh bertindak sebagai takungan haba sekiranya kuantiti haba yang disingkirkan oleh komputer-komputer di dalam bilik tersebut tidak melebihi kapasiti muatan haba udara berkenaan.

BAB 7

ENTROPI

7.1 Pengenalan

Di dalam bab ini, kita akan membicarakan salah satu sifat termodinamik yang dipanggil entropi. Sifat ini tidak dibincangkan secara mendalam sebelum ini seperti tenaga dalam dan entalpi kerana penggunaan sifat ini adalah tidak meluas di dalam analisis hukum pertama termodinamik baik sistem tertutup mahupun sistem terbuka. Namun begitu, oleh kerana kita telah mula membincangkan hukum kedua termodinamik di dalam bab sebelum ini, sifat ini harus dibincangkan secara khusus kerana ia merupakan asas kepada analisa hukum kedua termodinamik terutamanya bagi menentukan kebolehbalikan sesuatu proses.

Entropi adalah satu sifat yang abstrak; ia tidak boleh dikesan melalui pancaindera atau dicerap dengan menggunakan alat-alat pengukuran. Namun begitu sifat ini akan dilihat kepentingannya apabila kita mempelajari kegunaannya di dalam proses-proses kejuruteraan. Apabila sifat ini didalami kita akan dapat pelajari entropi ini merupakan satu ukuran kekucarkaciran sistem. Ini bererti sekiranya nilai entropi adalah tinggi, sistem akan menjadi semakin kucarkacir.

7.2 Apa Itu Entropi ?

Entropi boleh dilihat sebagai satu ukuran kekucarkaciran molekul atau kerawakan molekul. Sistem dikatakan mempunyai entropi yang tinggi apabila pergerakan molekul di dalam sistem semakin tidak menentu dan sukar diramal. Oleh itu sudah semestinya nilai entropi adalah terendah bagi pepejal dan tertinggi bagi gas untuk sesuatu bahan tulen. Ini adalah kerana bagi pepejal, molekul tersusun secara rapat dan pergerakan adalah terkawal berbanding molekul gas yang bergerak secara rawak sambil menghentam di antara satu sama lain; menyukarkan lagi untuk meramal kedudukan molekul berkenaan.

Pemindahan haba adalah satu faktor yang penting yang menyebabkan entropi sesuatu sistem itu bertambah atau berkurang. Apabila pemanasan dilakukan ke atas sesuatu

Bibliografi

Çengel, Yunus A., and Michael A. Boles. Thermodynamics: An Engineering Approach. Boston: McGraw-Hill, 2011

Cengel, Yunus; Boles, Michael; Kanoglu, Mehmet, THERMODYNAMICS: AN ENGINEERING APPROACH, 9th Edition SI Unit, ISBN 10: 9813157879 / ISBN 13: 9789813157873, Published by McGraw-Hill Education.

Biografi



AMIR BIN KHALID merupakan profesor bidang Teknologi Automotif di Jabatan Teknologi Kejuruteraan Mekanikal, Fakulti Teknologi Kejuruteraan, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM), Johor, Malaysia. Beliau juga merupakan pengarah Pejabat Penerbit UTHM dan juga penyelidik utama Center of Automotive and Powertrain Technology (CAPT). Beliau berkelulusan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal dan Ijazah Sarjana dalam bidang Kejuruteraan Mekanikal dari Universiti Teknologi Malaysia. Beliau juga memiliki Ijazah Kedoktoran dari The University of Tokushima, Japan di dalam bidang kejuruteraan automotif. Sebelum menyertai UTHM, beliau berkhidmat sebagai jurutera di Panasonic AVC Network Johor Malaysia. Beliau juga aktif di sebagai panel penilai akademik bersama Board of Engineer (BEM) Malaysia dan Malaysia Board of Technologists (MBOT) disamping mempunyai kelayakan Chartered Engineer (CEng) dari Institution of Engineering and Technology (IET) dan ahli bagi Society of Automotive Engineering (SAE), Japan Society of Automotive Engineering (JSAE) dan The Institution of Engineers Malaysia (IEM)

<https://community.uthm.edu.my/amirk>

<http://scholar.google.com.my/citations?user=NFLDTQIAAAAJ&hl=en&oi=ao>

<http://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=55655797100>



PROF. MADYA TS. DR. MOHAMMAD FAHMI ABDUL GHAFIR ialah tenaga akademik bidang aeronautik di Jabatan Kejuruteraan Aeronautik, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan, UTHM. Beliau berkelulusan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Aeronautik), Ijazah Sarjana dalam bidang Pengurusan Kejuruteraan, di samping memiliki Ijazah Kedoktoran dalam bidang Kejuruteraan Aeronautik. Bidang pengkhususannya ialah dalam Teknologi Sistem Dorongan Pesawat dan Penerbangan. Beliau mempunyai 25 tahun pengalaman mengajar dalam bidang kejuruteraan mekanikal dan aeronautik. Selain daripada itu, beliau adalah seorang Pengurusan Bertanggungjawab yang diluluskan Pihak Berkuasa Penerbangan Awam Malaysia untuk mengurus sebuah akademi penerbangan di Malaysia iaitu Asia Aeronautical Training Academy. Beliau juga adalah seorang tenaga pengajar yang diiktiraf Pihak Berkuasa Penerbangan Awam Malaysia untuk mengajar kursus pelesenan penerbangan.



MD NORRIZAM BIN MOHMAD JAAT merupakan pensyarah bidang Teknologi Automotif di Jabatan Teknologi Kejuruteraan Mekanikal, Fakulti Teknologi Kejuruteraan, UTHM. Beliau berkelulusan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan, Ijazah Sarjana dalam bidang Kejuruteraan Mekanikal memiliki Ijazah Kedoktoran juga dalam bidang Kejuruteraan Mekanikal. Bidang pengkhususannya ialah dalam Sains dan Teknologi Kejuruteraan. Beliau mempunyai enam tahun pengalaman bekerja di industri dalam bidang minyak dan gas. Beliau mempunyai pengalaman dan terlibat dengan penyelidikan dalam bidang enjin pembakaran dalam.



SOFIAN BIN MOHD merupakan pensyarah bidang Struktur Pesawat di Jabatan Kejuruteraan Aeronautik, Fakulti Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan, UTHM. Beliau berkelulusan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal (Aeronautik) dan Ijazah Sarjana dalam bidang Kejuruteraan Mekanikal dari UTM serta memiliki Ijazah Kedoktoran dalam bidang Kejuruteraan Sains Bahan dari Nagaoka University of Technology, Jepun. Sebelum menyertai bidang akademik, beliau mempunyai dua tahun pengalaman bekerja di industri elektrik dan elektronik. Beliau mempunyai pengalaman terlibat dengan penyelidikan dalam bidang dron dan tenaga angin.



SITI MARIAM BINTI BASHARIE merupakan pensyarah kanan di Universiti Tun Hussein Onn Malaysia (UTHM). Beliau telah dianugerahkan Diploma Kejuruteraan Mekanikal dari Universiti Teknologi Malaysia (UTM) pada tahun 1995. Beliau kemudiannya telah menyambung pengajian ke peringkat sarjana muda dan sarjana dan memperolehi Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Mekanikal pada tahun 1999 dan Ijazah Sarjana Kejuruteraan Mekanikal pada tahun 2006 dari universiti yang sama. Beliau telah berkhidmat di UTHM sejak tahun 2001 bermula sebagai jurutera pengajar di Fakulti Teknologi Kejuruteraan (FTK) dan kemudiannya sebagai pensyarah di Fakulti Kejuruteraan Mekanikal dan Pembuatan (FKMP) pada tahun 2006 sebelum berpindah ke Pusat Pengajian Diploma (PPD) pada Mac 2017. Pada masa ini beliau merupakan ketua program Diploma Kejuruteraan Mekanikal di Jabatan Kejuruteraan Mekanikal, PPD UTHM.

Index

A

alat 25, 26, 28, 29
asas 109, 171, 175, 179, 197, 198

B

basah 61, 62, 66, 72, 77, 78, 79, 87, 103, 105
bendalir 183, 194, 195

C

carnot 190
cecair 8, 10, 23, 27

D

dinamik ix, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 15, 16,
17, 35

E

enjin 2, 8
entalpi 9, 13, 16
Entropi 10

G

gas 8, 10, 14, 23, 24, 27, 31, 32, 34

H

haba 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 32, 36
hukum 3, 4, 5, 6, 32, 35

I

injap 102, 126, 143, 166, 167
interpolasi 81, 82, 83, 87

J

jisim 7, 8, 9, 11, 18, 19, 32, 33, 88, 89
Jisim 17, 35, 90

K

keadaan 3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15,
16, 17, 24, 29
kebuk 26, 32
kecekapan 231, 224, 225, 226
Kelvin 175, 182, 183, 184, 189, 200

kerja 172, 173, 174, 175, 177, 179, 180, 182,
188, 192, 194, 195
keseimbangan 3, 10, 11, 12, 13, 17, 29, 32, 179
kitar 15

L

lampu 2

M

muncung 143, 152, 153, 154, 168

N

nisbah 76, 97, 98

P

pemampat 2, 6, 8, 11, 12, 13, 15
pemindahan 5, 8, 11, 36
pengukuran 25, 26, 30
peresap 143, 152, 153, 154, 157
permukaan 161, 166
prinsip 134, 138, 139, 143, 151, 164, 165, 168
proses 134, 140, 141, 142, 155, 166, 167, 168

S

seentropi 13, 211, 212, 213, 216, 224, 225, 226,
227, 229, 234, 235, 236
sempadan 198, 212, 216, 217, 218
sifat 197, 201, 202, 204, 211, 218, 220, 225, 227
sistem 202, 203, 204, 205, 208, 210, 211, 212,
214, 215, 216, 217, 218, 219, 221, 224,
225, 237
skala 30, 31, 184, 200
statik 12, 32
suhu 13

T

takungan 198, 199, 200, 201, 229
tekanan 202, 209, 211, 212, 213, 218, 221, 228,
230, 231, 232, 233, 234
tenaga 197, 204, 214, 221, 225, 226, 228, 231,
232, 235, 237
tepu 204, 232, 234, 236
terbuka 197, 204, 208, 211, 212, 217, 221, 224,
225
Terbuka 220
termodinamik 197, 198, 202, 204, 216, 224
tertutup 197, 198, 204, 208, 211

U

unggul 204, 207, 208, 209, 211, 212, 218, 219,
224, 225, 227, 232, 235
unit 202, 208

W

wap 221, 232, 234
Wap 230