

INSTITUT KEJURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN PADANG
KOLEKSI BIDANG ILMU
TIDAK DIPINJAMKAN
KHUSUS DIPAKAI DALAM PENELITIAN

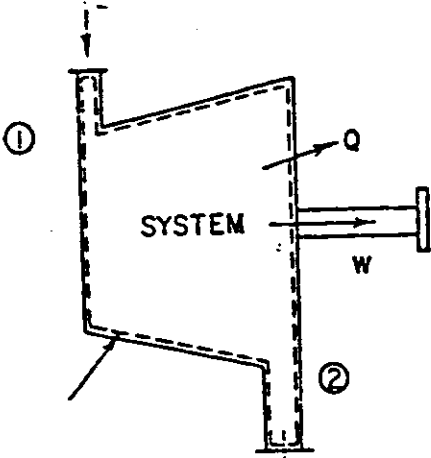
Seri Mekanika Teknik

TERMODINAMIKA

Bagian 1

236/HD/90

Drs. Ambiyar. M.Pd.



MILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG



INSTITUT KEJURUAN DAN ILMU PENDIDIKAN PADANG
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNOLOGI DAN KEJURUAN

KATA PENGANTAR

Berkat rahmat Tuhan Yang Maha Esa dapatlah diselesaikan buku mekanika teknik seri termodinamika sesuai dengan rencana. Buku ini disusun untuk memenuhi kebutuhan bahan bacaan tentang mekanika teknik yang dirasa masih kurang dalam bahasa Indonesia. Materi yang disajikan diusahakan memakai bahasa yang mudah dipahami serta menghindarkan pemakaian matematik yang kompleks dan rumit.

Dalam buku ini dilengkapi dengan contoh-contoh soal dan penyelesaiannya dan ditambah dengan soal-soal latihan beserta kunci jawabannya. Dengan demikian diharapkan supaya lebih mudah memahami dan mengetahui pemakaian rumus yang ada.

Pada kesempatan yang baik ini, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada semua pihak yang turut membantu dalam penyelesaian buku ini.

Terakhir sekali, bagaimanapun juga buku ini jauh dari sempurna dan segala kritik membangun dan koreksi dari teman sejawat, para ahli, dan para pembaca sangat ditunggu dengan hormat dan segala senang hati, guna untuk perbaikan dimasa yang akan datang.

Penulis.

Jan '90

HD

K1

236/HD/90-t₁(2)

530 Amb t₁

DAFTAR ISI

	Halaman
JUDUL	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	v
BAB I. PENDAHULUAN	1
A. PANDANGAN UMUM TENTANG TERMODINAMIKA	1
B. SISTEM, LINGKUNGAN, DAN BATAS	2
C. PANAS	6
D. KERJA	7
E. SATUAN DAN DIMENSI	8
F. SIFAT-SIFAT FLUIDA	11
G. PROSES REVERSIBEL DAN IRREVERSIBEL	13
H. SOAL-SOAL LATIHAN	16
BAB II. HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA	18
A. KONVERSI ENERGI	18
B. KERJA LUAR (EXTERNAL WORK)	20
C. ENERGI DALAM (INTERNAL ENERGY)	26
D. SOAL-SOAL LATIHAN	30
BAB III. PROSES ALIRAN MANTAP	33
A. PERSAMAAN ENERGI ALIRAN MANTAP	34
B. APLIKASI PERSAMAAN ENERGI ALIRAN MANTAP.	38
1. Ketel Uap	38
2. Kondensor	41
3. Turbin Gas	43
4. Kompresor	45
5. Pipa Pancar	47
6. Katup (Throttling)	49
C. PERSAMAAN KONTINUITAS	50
D. SOAL-SOAL LATIHAN	55
BAB IV. PROSES NON ALIRAN	59
A. PERSAMAAN ENERGI NON ALIRAN	61

B. APLIKASI PERSAMAAN ENERGI NON ALIRAN . .	61
1. Proses Volume Konstan	61
2. Proses Tekanan Konstan	63
3. Proses Adiabatis	66
4. Proses Polytropis	67
C. SOAL-SOAL LATIHAN	69

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Sistem Terbuka	3
2. Sistem Terbuka Dengan Batas Sistem Yang Bergerak.	3
3. Air Panas Dalam Teko	4
4. Gas Di Dalam Ruang Bakar	5
5. Dua Buah Benda Memiliki Suhu Berbeda	7
6. Diagram Keadaan Sistem Dengan Koordinat P dan Q .	12
7. Suatu Proses Irreversibel	13
8. Proses Reversibel	14
9. Suatu Proses Konversi Tenaga	19
10 Kerja Yang Dilakukan Gas Dalam Silinder	21
11 Suatu Instalasi Tenaga Panas	22
12 Suatu Proses dari Suatu Siklus	23
13 Diagram p - V	25
14 Suatu Perubahan Keadaan Pada Sistem	27
15 Proses Aliran Mantap	34
16 Ketel Uap	39
17 Kondensor	41
18 Turbin Gas	44
19 Kompresor	46
20 Pipa Pancar	47
21 Katup (Throttling)	49
22 Gas Mengalir Dalam Pipa	51
23 Skema Aliran Gas Pada Turbin Gas	52
24 Skema Aliran Gas Melalui Kompresor	54
25 Proses Kerja Motor 4 Tak	59
26 Diagram Proses Volume Konstan	61
27 Diagram Proses Tekanan Konstan	63
28 Diagram Proses Polytropis	68

BAB I

PENDAHULUAN

A. PANDANGAN UMUM TENTANG TERMODINAMIKA

Semua makhluk hidup membutuhkan energi untuk hidupnya, dan kehidupan moderen dapat berlangsung terus bilamana manusia mampu mengembangkan sumber energi sesuai dengan kebutuhan. Energi terdiri dari bermacam-macam, misalnya yang dimiliki oleh atom sesuatu unsur sampai dengan yang dipancarkan oleh matahari. Dalam batasan tersebut termasuk energi kimia yang dikandung oleh suatu bahan bakar dan energi potensial yang dimiliki air.

Beberapa proses perubahan energi yang satu menjadi bentuk energi lainnya seperti :

1. Massa air yang besar dialirkan melalui suatu turbin dan memutarinya guna menggerakkan generator untuk menghasilkan daya listrik.
2. Batu bara dibakar untuk menguapkan air dan kemudian uap digunakan untuk menggerakkan turbin.
3. Minyak dibakar dalam silinder motor bakar menghasilkan tenaga gerak pada porosnya.
4. Atom Uranium ditembakkan dan diuraikan menghasilkan panas yang tinggi, dipakai untuk menghasilkan energi listrik.

Proses perubahan energi tersebut telah berkembang sangat pesatnya sejak instalasi tenaga uap ditemukan oleh James Watt sampai pada bentuk yang sangat kompleks dewasa ini.

Termodinamika terapan adalah ilmu yang mempelajari hubungan antara panas, kerja dan sifat-sifat suatu sistem. Ilmu ini erat hubungannya dengan konversi energi

panas dari suatu sumber menjadi kerja mekanik.

Pesawat panas (heat engines) adalah suatu nama yang diberikan pada suatu sistem dengan melalui proses siklus tertentu akan menghasilkan kerja dari pemberian panas. Hukum-hukum termodinamika berisikan hipotesa yang didasarkan pada observasi terhadap dunia dimana manusia hidup. Observasi mana menunjukkan bahwa panas dan kerja dua hal yang merupakan bentuk energi yang dapat berubah bentuk. Ini merupakan dasar hukum pertama termodinamika.

Kemudian dinyatakan bahwa panas jarang mengalir dari bertemperatur rendah ke temperatur tinggi. Pernyataan ini menjadi dasar bagi hukum kedua termodinamika, yang menunjukkan bahwa suatu pesawat panas tak dapat mengubah seluruh energi panas menjadi kerja mekanik, akan tetapi selalu ada kerugian atau perpindahan ke benda bertemperatur rendah.

B. SISTEM, LINGKUNGAN, DAN BATAS

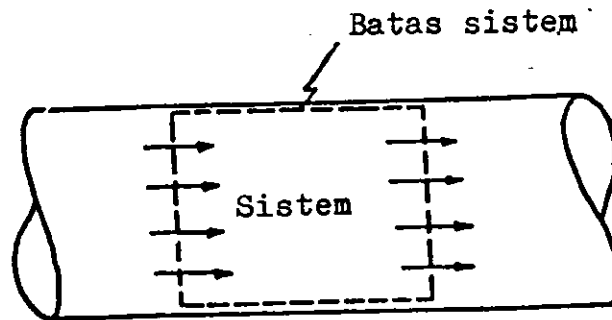
Dalam mempelajari termodinamika perlu kiranya, kita mendefinisikan beberapa istilah atau konsepsi sebagai berikut :

1. Sistem

Suatu sistem dapat didefinisikan sebagai suatu kumpulan benda yang berada dalam batas-batas tertentu. Batas tertentu dapat merupakan permukaan yang tetap dan permukaan yang khayal (gambar 1) serta permukaan yang bergerak (gambar 2). Sistem dapat dibagi menjadi sistem tertutup dan sistem terbuka (T.H.Thomas, 1979 : 1).

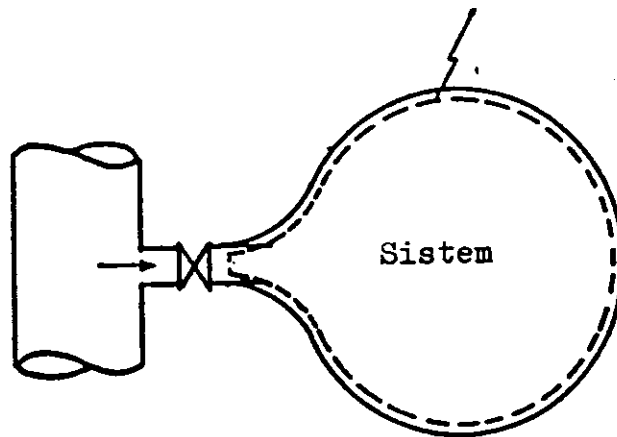
Pada sistem terbuka perpindahan massa dan perpindahan energi dari dan ke dalam sistem melalui batas sistem dapat berlangsung. Tidak demikian halnya dengan sistem tertutup. Pada sistem tertutup, massa tidak dapat keluar atau masuk ke dalam sistem, jumlah massa didalam sistem tidak berubah. Energi dapat masuk atau keluar

dari sistem (Sulaiman Kamil, 1983 : 2)



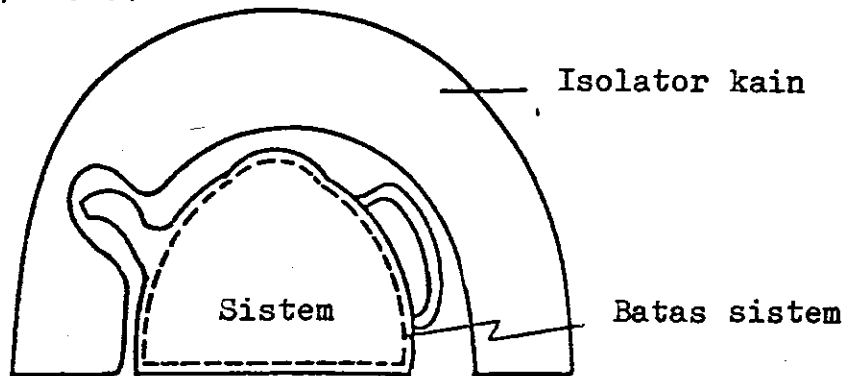
Gambar 1
Sistem Terbuka

Batas sistem bergerak
sesuai dengan gerakan
dinding balon.



Gambar 2
Sistem Terbuka dengan Batas Sistem
yang Bergerak

Selain kedua macam sistem di atas, ada lagi sistem macam ketiga, yaitu sistem diisolasi. Pada sistem diisolasi, jumlah massa dan energi di dalam sistem tidak berubah, selama selang waktu sistem digunakan. Baik massa maupun energi tidak dapat menembus batas sistem. (S.Kamil,1983:3).



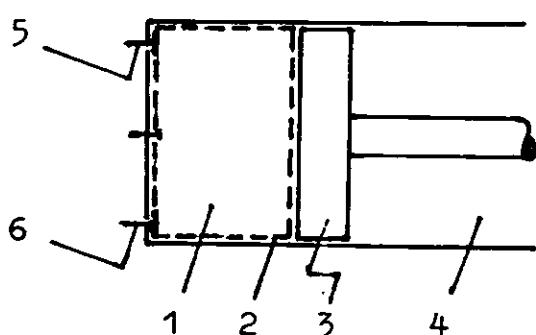
Gambar 3

Air panas dalam teko

Perhatikanlah sebuah teko berisi air seperti ditunjukkan pada gambar 3. Bila teko tersebut dipanaskan beberapa lama, maka akan terlihat adanya uap air yang keluar dari mulutnya. Teko yang dipanaskan ini merupakan sistem yang terbuka, karena massa atau uap air dapat keluar dari batas sistem. Sekarang teko tersebut diletakkan di atas meja dan ditutup oleh kain dan meja. Sistem yang baru ini merupakan sistem tertutup, karena tidak ada massa keluar dari batas sistem. Bila meja dianggap isolator sempurna, maka sistem baru ini adalah sistem yang diisolasi, karena tidak hanya massa yang tidak dapat keluar melalui batas sistem, melainkan juga energi panas.

Gambar 4 memperlihatkan gas yang berada di dalam ruang bakar, lengkap dengan katup isap dan katup buang serta piston. Apakah sistem seperti terlihat dalam gam-

bar merupakan sistem terbuka atau sistem tertutup?. Ini tergantung dari selang waktu penentuan dari sistem tersebut. Untuk selang waktu tertentu dari putaran poros engkol, dimana semua katup dalam keadaan tertutup, maka



Keterangan :

- 1 = Sistem (Gas)
- 2 = Batas sistem
- 3 = Piston
- 4 = Lingkungan
- 5 = Katup buang
- 6 = Katup masuk

Gambar 4

Gas di dalam ruang bakar

sistem ini merupakan sistem tertutup. Sistem tersebut tidak dapat dinamakan sistem diisolasi, karena energi dapat keluar atau masuk melalui batas sistem. Untuk selang waktu dimana katup isap dan katup buang dalam keadaan terbuka, dimana bahan bakar dan udara mengalir masuk melalui katup isap atau keluar melalui katup buang, maka sistem tersebut merupakan sistem terbuka.

2. Ciri Sistem

Suatu sistem mempunyai beberapa ciri. Ciri sistem dapat dibagi menjadi ciri ekstensif dan intensif. Ciri ekstensif adalah karakteristik keseluruhan dari suatu sistem yang menyatakan jumlah sesuatu di dalam tersebut (Sulaiman Kamil, 1983 : 5). Misalnya volume, massa, entropi, energi, dan sebagainya. Perlu diingat bahwa untuk waktu tertentu, hanya ada satu harga dari volume, massa, entropi, dan energi. Pada waktu yang lain, harga-harga ini akan berlainan. Dengan kata lain ciri ekstensif hanya tergantung dari waktu (S. Kamil, 1983 : 5).

Selanjutnya ciri intensif adalah ciri yang mempunyai harga tertentu untuk tiap titik dari suatu sistem pada waktu tertentu, misalnya temperatur, tekanan, dan sebagainya. Jadi ciri intensif tergantung dari posisinya dalam sistem tersebut pada waktu tertentu (S.Kamil, 1983 :5). Perhatikan sebatang besi yang dipanaskan salah satu ujungnya. Pada waktu tertentu, suhu dari tiap titik pada batang tadi akan mempunyai harga tertentu.

3. Lingkungan

Daerah yang menutup sistem dinamakan lingkungan (surrounding). Lingkungan dapat dipengaruhi oleh perubahan dalam sistem.

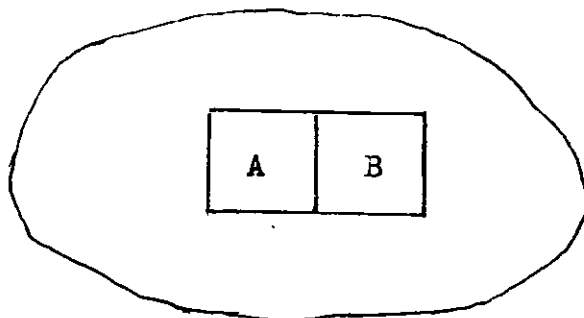
4. Batas Sistem

Permukaan yang terpisah antara sistem dan lingkungan dinamakan batas sistem. Untuk permukaan yang tetap dan permukaan yang khayal, batas sistem seperti ditunjukkan pada gambar 1. Sedangkan untuk permukaan yang bergerak, batas sistem terlihat pada gambar 2. Pada sistem tertutup, fluida tetap dalam batas sistem. Dan sistem terbuka, energi panas, energi kerja, dan fluida dapat menembus batas sistem.

C. PANAS

Panas adalah suatu bentuk energi yang dipindahkan dari suatu benda ke benda lainnya yang bertemperatur rendah dengan perubahan perbedaan temperatur. Misalnya sebuah sketsa pada gambar 5. Ketika benda A memiliki temperatur yang lebih rendah dikontakkan dengan benda B yang memiliki temperatur tinggi, maka akan timbul pengaliran panas dari benda B ke benda A sampai keduanya mencapai temperatur yang sama. Dan saat temperatur benda A sama dengan benda B, maka tidak akan terjadi lagi perpindahan panas dan dikatakan keduanya dalam

kondisi "thermal equilibrium" (kesetimbangan panas).



Gambar 5

Dua Buah Benda Memiliki Suhu Berbeda

Panas hanya terlihat selama proses itu saja dan merupakan energi yang tidak kekal, karena energi panas mengalir dari benda B ke benda A. Pada hakekatnya akan terjadi penurunan energi di B dan kenaikan di A. Energi yang demikian merupakan fungsi dari temperatur dan tidak boleh salah pengertian dengan panas. Perlu dicatat bahwa panas tidak dapat diisikan ke dalam suatu benda.

Perjanjian tanda yang digunakan untuk panas adalah positif bila energi panas mengalir ke dalam sistem dari lingkungan. Sebaliknya, energi panas yang mengalir dari sistem ke lingkungan dinyatakan dengan tanda negatif (T.H.Thomas, 1979 : 7)

D. KERJA

Kerja dapat didefinisikan sebagai hasil suatu gaya dan jarak perpindahan dalam arah gaya tersebut (T.H. Thomas, 1979 : 4). Apabila suatu batas untuk sistem tertutup bergerak dalam arah gaya yang bekerja padanya, maka sistem ini melakukan kerja pada lingkungan. Jika batas sistem bergerak kedalam (menyempit), maka kerja yang dilakukan oleh lingkungan.

Dengan kata lain, pengembangan merupakan hasil kerja sistem, sedangkan pemampatan merupakan kerja yang diberikan kepada sistem.

Perjanjian tanda yang digunakan untuk kerja adalah positif, apabila kerja dipindahkan dari sistem ke lingkungan. Sebaliknya, jika kerja yang dipindahkan dari lingkungan ke dalam sistem maka dinyatakan sebagai negatif (T.H.Thomas, 1979 : 6). Dengan demikian, kerja selama proses ekspansi adalah positif dan kerja selama proses pemampatan adalah negatif.

E. SATUAN DAN DIMENSI

Satuan yang digunakan dalam termodinamika adalah satuan SI (Sistem Internasional) yang merupakan sistem koheren. Sistem ini didasarkan pada enam satuan dasar, yakni :

1. meter standar satuan panjang
2. kilogram standar satuan massa
3. detik standar satuan waktu
4. Ampere standar satuan arus listrik
5. Kadela standar satuan intensitas cahaya
6. Kelvin standar satuan temperatur.

Sistem ini juga menggunakan satuan radian (rad) untuk mengukur sudut, baik sudut dibidang datar maupun di dalam ruang. Di samping itu, beberapa satuan utama lain yang digunakan dalam sistem SI adalah : kecepatan dalam satuan m/detik, percepatan dalam satuan $m/det.^2$, volume dalam satuan m^3 , volume jenis dalam satuan m^3/kg dan sebagainya.

Di bawah ini akan diuraikan mengenai satuan gaya, energi, daya, tekanan, dan temperatur.

1. Satuan Gaya, Energi, dan Daya

Hukum Newton II dapat ditulis sebagai gaya berbanding lurus dengan massa benda dan percepatannya. Un-

tuk benda dengan massa konstan dapat ditulis dalam bentuk persamaan :

$$F = k \times m \times a$$

dimana :

F = Gaya

k = konstanta

m = massa benda

a = percepatan benda

Dalam satuan sistem koheren SI diambil $k = 1$, sehingga persamaan di atas dapat ditulis menjadi :

$$F = m \times a$$

Bila satuan massa adalah kilogram dan satuan percepatan adalah m/det.^2 , maka satuan gaya menjadi kg m/det.^2 atau Newton.

Untuk satuan energi diturunkan dari hasil perkalian gaya dengan jarak perpindahan (definisi kerja). Bila gaya mempunyai satuan Newton dan jarak perpindahan dalam satuan meter, maka kerja mempunyai satuan $\text{kg m}^2 / \text{det}^2$ atau Nm. Sedangkan $1 \text{ Nm} = 1 \text{ Joule}$. Dengan demikian energi mempunyai satuan Joule. Begitu pula dengan kerja dan energi panas, satuannya Joule. Sebab kerja dan panas merupakan dua bentuk energi.

Selanjutnya satuan daya diturunkan dari satuan kerja dan waktu. Sebab daya adalah usaha per waktu. Bila kerja (usaha) mempunyai satuan Joule dan waktu dalam satuan detik, maka satuan daya adalah Joule/detik. Disingkat saja dengan J/det. Dimana $1 \text{ J/det} = 1 \text{ Nm/det} = 1 \text{ Watt}$. Dengan demikian, satuan untuk daya adalah Watt. Biasanya daya suatu motor, generator, dan sebagainya dinyatakan dalam faktor kelipatan yang lebih besar, misalnya kilo Watt atau Mega Watt. Untuk itulah dalam sistem SI ada faktor kelipatan dan sub kelipatan dengan menggunakan awalan sebagai berikut :

faktor kelipatan	awalan	simbul
satu milyar ; 10^9	Giga	G
satu juta ; 10^6	Mega	M
seribu ; 10^3	Kilo	k
sepersepuluh; 10^{-1}	Deci	d
seperseratus; 10^{-2}	Centi	c
seperseribu ; 10^{-3}	milli	m
sepersejuta ; 10^{-6}	micro	μ

Untuk mendapatkan tabel yang lengkap dapatlah di lihat pada buku sistem SI. Akan tetapi pada kebanyakan tabel di atas rasanya sudah cukup. Di samping itu , faktor kelipatan dan sub kelipatan di atas tidak hanya berlaku untuk satuan daya, akan tetapi berlaku untuk se mua satuan lainnya, seperti gaya, energi, dan sebagai - nya.

2. Satuan Tekanan

Satuan tekanan adalah N/m^2 dan biasanya dikenal dengan Pascal (Pa). Untuk kebanyakan kasus yang terjadi pada termodinamika, maka tekanan ditunjukkan dalam Pa, akan sangat kecil. Satuan yang biasa dipakai adalah bar
 $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ N/m}^2 = 10^5 \text{ Pa}.$

Keuntungan satuan ini adalah karena 1 bar tersebut mendekati tekanan atmosfir (atm). Walaupun tekanan atmos - fir standar adalah 1,01325 bar. Sering pula tekanan di tunjukkan sebagai head (tekanan) zat cair, karenanya te kanan atm standar = 1,0132 bar = 76 mm^{hg} Hg.

3. Satuan Temperatur

Dalam termodinamika yang berhubungan dengan me - sin-mesin motor yang bekerja, hal ini diperlukan untuk menghitung temperatur dari suatu titik dimana gas di perkirakan tidak mempunyai energi. Pada titik ini tidak ada pergerakan relatif antara molekul-molekul dan gas tidak terjadi perubahan volume. Temperatur yang terjadi

dinamakan temperatur absolut (mutlak) dan diperkirakan besarnya 273°C dan 460°F .

Temperatur mutlak pada skala Celsius dihubungkan dengan $^{\circ}\text{K}$ (derajat Kelvin) dan skala Fahrenheit dihubungkan dengan derajat Rankine ($^{\circ}\text{R}$). Temperatur normal (nisbi) ditulis dengan t dan temperatur mutlak dengan T . Dengan demikian hubungan antara skala Celsius dengan skala Kelvin dan skala Fahrenheit dengan skala Rankine dapat ditulis dalam bentuk persamaan :

$$T = 273 + t^{\circ}\text{C}$$

$$T = 460 + t^{\circ}\text{F}$$

Berhubung satuan yang dipakai adalah sistem SI, maka satuan temperatur nisbi dalam derajat Celsius dan satuan temperatur mutlak dalam derajat Kelvin. Sedangkan satuan temperatur dalam derajat Fahrenheit dan Rankine digunakan dalam satuan British atau satuan sistem FPS (Foot - Pound - Second System).

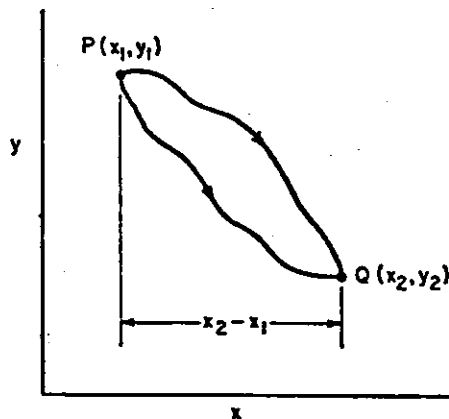
F. SIFAT-SIFAT FLUIDA

Sifat dari suatu sistem merupakan karakteristik yang ditentukan dari kondisinya. Pada umumnya dalam termodinamika meliputi tekanan, volume dan temperatur. Meskipun banyak sifat yang lain, yang akan dibahas dalam bagian berikutnya. Beberapa sifat itu adalah internal energi (energi dalam), enthalpi, dan entropi. Jika dua sifat bebas dari suatu fluida dalam sistem tertutup diketahui, maka keadaan (state) sistem juga diketahui, dan kondisi sistem secara lengkap dapat diuraikan.

Ini sama dengan cara untuk menggambarkan sebuah titik P pada sebuah gambar (diagram) yang mempunyai dua sumbu koordinat, yakni X dan Y. Jika koordinat P diketahui, katakanlah X_1 dan Y_1 , maka posisi P pada diagram secara lengkap dapat diuraikan. Karenanya jika X_1

dan Y_1 (yakni titik P) menentukan keadaan suatu sistem pada suatu saat (instant), sedangkan X_2 dan Y_2 (yakni titik Q) merupakan kondisi pada saat berikutnya. , maka titik dapat digambarkan pada sebuah diagram seperti ditunjukkan pada gambar 6. Tidak peduli lintasan mana dilalui oleh sistem titik P ke titik Q, lintasan itu dapat dilihat sebesar $X_2 - X_1$.

Penting untuk diingat bahwa suatu sifat mempunyai karakteristik dasar, yakni perubahan nilainya bebas dari lintasan yang dilalui dari keadaan awal sampai akhir. Jika suatu diskripsi dari sejumlah sifat tidak ditemukan, maka jumlah ini tidak merupakan suatu sifat. Dapat dilihat bahwa kerja yang dipindahkan dan panas yang dipindahkan adalah tidak merupakan sifat-sifat, sebab kerja yang dipindahkan ini tidak ditulis sebagai W_2 dikurangi W_1 ($W_2 - W_1$) atau panas yang dipindahkan sebagai $Q_2 - Q_1$, dalam suatu proses. Malahan ditulis W_{12} atau cara sederhana W dan Q_{12} atau Q .



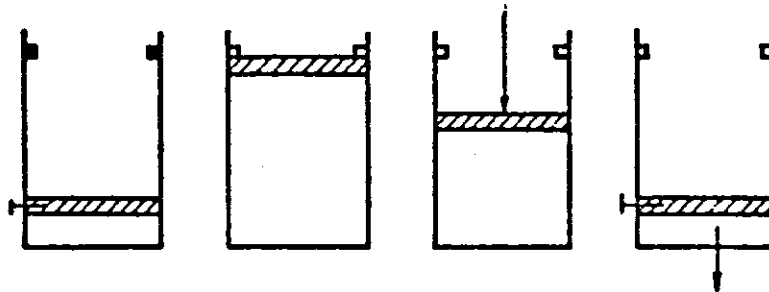
Gambar 6

Diagram Keadaan Sistem Dengan
Koordinat P dan Q.

G. PROSES REVERSIBEL DAN IRREVERSIBEL

Suatu proses dikatakan reversibel atau dapat dibalik, apabila sistem dapat dikembalikan ke keadaan semula tanpa menimbulkan perubahan keadaan pada sistem tersebut maupun pada lingkungan. Sebaliknya, bila keadaan mula-mula dari sistem tidak dapat dikembalikan tanpa menimbulkan perubahan keadaan pada sistem tersebut maupun pada lingkungannya, maka proses ini dikatakan proses irreversibel atau proses yang tidak dapat dibalik (Sulaiman Kamil, 1983 : 77)

Perhatikanlah sebuah silinder pada gambar 7, dimana di dalamnya ada udara bertekanan tinggi yang ditutup oleh piston. Piston ini ditahan oleh sebuah pena.



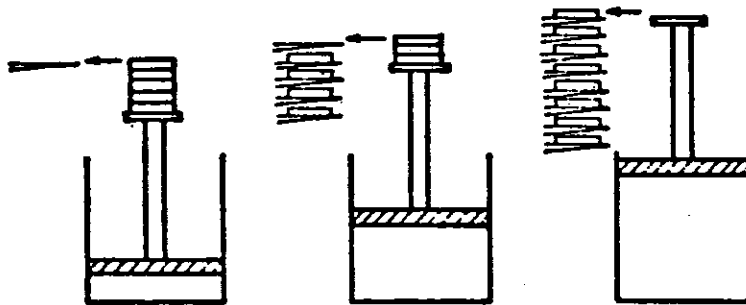
Gambar 7

Suatu proses Irreversibel

Jika pena ini dilepas, maka piston akan bergerak keatas, karena ada udara bertekanan tinggi di dalam silinder. Artinya udara di dalam silinder melakukan kerja sebesar W kepada lingkungannya. Apabila di bagian atas silinder disediakan penghalang, maka piston tersebut akan berhenti pada penghalang. Jika hendak menghasilkan udara di dalam silinder ke tingkat semula, maka piston harus ditekan ke bawah sehingga kembali pada posisi awal.

Ternyata energi bentuk kerja yang diberikan kepada piston sewaktu menekan kebawah lebih besar dibandingkan dengan energi bentuk kerja yang dilakukan oleh udara sewaktu mengembang. Selain itu udara di dalam silinder menjadi naik temperaturnya. Agar kembali ke tingkat keadaan semula, maka perlulah energi bentuk panas dikeluarkan dari sistem kepada lingkungan. Dengan demikian proses kembali ini adalah proses irreversibel, karena lingkungannya berubah sewaktu proses kembali ke tingkat keadaan semula.

Selanjutnya proses ekspansi dan kompresi di atas dapat dilakukan secara hampir reversibel dengan cara berikut, lihat gambar 8.



Gambar 8

Proses Reversibel

Dalam keadaan awal, udara bertekanan tinggi di dalam silinder di bawah piston ditahan oleh setumpukan pemberat. Pemberat ini berada dalam keadaan setimbang dengan udara yang bertekanan tinggi tersebut. Proses ekspansi dengan mengurangi pemberat sedikit demi sedikit. Setiap pemberat yang diambil diletakkan pada sisi poros dengan ketinggian tertentu. Demikianlah seterusnya sampai se-

bagian besar pemberat telah diletakkan di sisi poros , sehingga udara di dalam silinder telah berekspansi dan melakukan kerja. Kini pada proses sebaliknya, pemberat tersebut digeser dari tempat penyimpanannya sedikit demi sedikit sehingga piston bergerak kebawah. Setelah semua pemberat diletakkan pada piston, maka kondisi dari udara dalam gas praktis sama dengan kondisi semula. Proses reversibel akan lebih sempurna, bila pemberat tersebut terdiri dari sejumlah pemberat-pemberat yang masing-masingnya sangat ringan.

Ada beberapa kriteria suatu proses reversibel (T. D. Eastop dan A. Mc. Conkey, 1978 : 12) :

1. Proses harus berjalan tanpa gesekan.
Fluida itu sendiri harus tidak memiliki gesekan internal dan gesekan mekanik, misalnya antara dinding silinder dan torak.
2. Perbedaan tekanan antara fluida dan lingkungannya selama proses berlangsung haruslah sangat kecil. Hal ini dimaksudkan, bahwa proses harus dilakukan dengan sangat perlahan-lahan karena gaya yang diperlukan untuk menggerakkan batas sistem sangat kecil.
3. Perbedaan temperatur antara fluida dan lingkungannya selama proses berlangsung sangatlah kecilnya. Maksudnya panas yang diberikan atau dikeluarkan ke dalam dan dari sistem harus berjalan sangat perlahan.

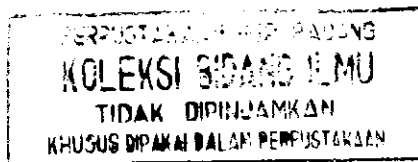
Dari kriteria di atas jelaslah bahwa proses reversibel ini tidak akan pernah terjadi dalam praktek , tetapi konsep reversibel begitu sangat berguna. Namun dalam beberapa proses yang secara prakteknya mendekati "reversibel" dapat dicapai. Dalam proses ini keadaan lingkungan tidak dapat dikembalikan kepada awalnya, sedangkan fluidanya dapat dikembalikan. Secara umum dapat

dikatakan proses dalam silinder motor (pesawat) dengan piston dapat dianggap sebagai proses reversibel. Akan tetapi pesawat berputar seperti turbin, adalah proses irreversibel yang disebabkan oleh turbulensi fluidanya.

Suatu proses reversibel dapat dinyatakan pada sebuah diagram, misalnya diagram P-V, diagram V-T, diagram T-s, dan diagram yang lainnya. Biasanya digambarkan sebagai sebuah garis yang terputus. Sedangkan pada proses irreversibel hanya keadaan awal dan akhirnya yang diketahui, dan biasanya digambarkan dengan garis putus-putus yang menghubungkan awal dan akhirnya.

H. SOAL-SOAL LATIHAN

1. Apa yang dipelajari dalam termodinamika terapan ?
2. Jelaskanlah pengertian atau definisi dari beberapa istilah di bawah ini :
 - a. Sistem
 - b. Sistem terbuka dan sistem tertutup
 - c. Sistem diisolasi.
 - d. Lingkungan.
 - e. Batas sistem.
 - f. Panas.
 - g. Kerja
 - h. Proses reversibel.
 - i. Proses irreversibel.
3. Apa yang dimaksud dengan ciri sistem yang intensif , dan ekstensif ? Berikan contoh-contohnya !.
4. Keadaan berikut ini, manakah yang menyatakan sifat-sifat suatu fluida : tekanan, temperatur, volume, panas, dan kerja. Berikanlah penjelasan dalam mendukung jawaban anda !.
5. Buktikanlah mengapa tekanan atmosfer standar = 1,013 bar !.
6. Sebutkanlah kriteria-kriteria dari suatu proses yang



530

Amb

t,

17

dikatakan reversibel.

7. Temperatur uap meninggalkan ketel 490°F . Nyatakanlah temperatur ini dalam derajat Celsius !
8. Temperatur dari sebuah mesin pendingin adalah minus 40°F . Berapakah temperatur mesin pendingin dalam derajat Celsius.
9. Sebuah balon diisi dengan gas helium sehingga balon tersebut makin mengembang. Perhatikanlah balon tersebut sebagai suatu sistem, dimana batas sistem adalah dinding balon dan bagian masuk dari gas helium. Tentukanlah :
 - a. Sistem apakah ini ?
 - b. Bagaimanakah massa balon ?
 - c. Apakah kecepatan dari gas helium di dalam sistem merupakan ciri dari sistem.
 - d. Jumlah massa gas helium yang mengalir selama 2 menit, apakah merupakan ciri dari sistem ?

WILIK UPT PERPUSTAKAAN
IKIP PADANG

BAB II

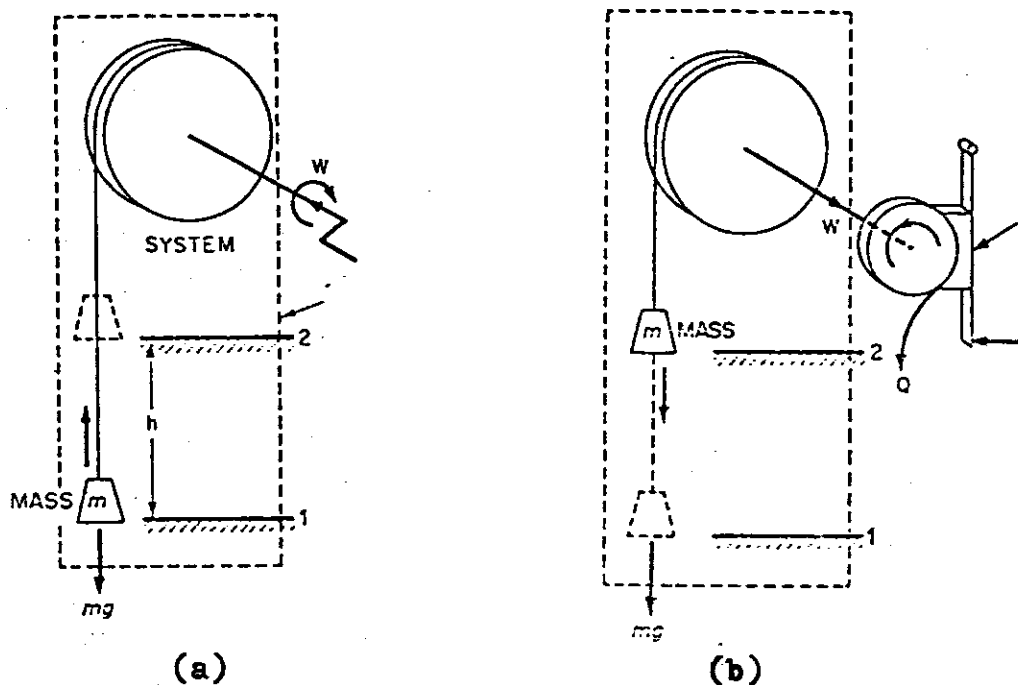
HUKUM PERTAMA TERMODINAMIKA

A. KONVERSI ENERGI

Konsep energi dan hipotesis yang menyatakan bahwa energi itu dapat berubah bentuk, tetapi tidak dapat diciptakan atau dimusnahkan dikembangkan oleh para ilmuwan sejak awal abad ke 19 dan menjadi terkenal dengan sebutan *The Principle of Conservation of Energy* atau Prinsip Konversi Energi. Prinsip Konversi Energi hukum pertama tentang termodinamika merupakan salah satu pernyataan dari prinsip umum tentang konversi energi dengan dasar energi panas dan energi mekanik (misalnya kerja). Pada abad ke 18, panas dipandang sebagai fluida (daya sebutan kalorik) oleh para ilmuwan, dua buah energi, sampai percobaan Joule lebih kurang pada tahun 1840, yang menunjukkan bahwa panas dan kerja merupakan dua hal dapat saling dikonversikan. Sejak itulah panas dipandang sebagai energi.

Perhatikanlah suatu sistem ideal pada gambar 9a, yang terdiri dari massa m yang dihubungkan dengan sebuah drum dengan bantuan seutas tali. Bila sistem berubah dari keadaan 1 ke keadaan 2, besarnya $W = mgh$ menembus batas sistem dan masuk ke dalam sistem, dimana berubah menjadi energi potensial. Jumlah kerja W akan bertanda negatif, sebab kerja yang dipindahkan dari lingkungan ke dalam sistem. Jika sistem kembali ke keadaan awal (jika massa m kembali ke bidang 1 secara perlahan dengan menggunakan gaya pada engkol) perubahan pada energi potensial mgh akan diubah menjadi energi kerja W yang kembali dari sistem ke lingkungan menembus batas sistem. Kerja ini akan bertanda positif dan kerja bersih yang dilakukan akan sama dengan nol. Ini dapat

ditulis $\oint \delta W = 0$, dimana \oint berarti jumlah seluruh bagian terkecil dari δW yang mengalami perubahan dari keadaan 1 ke keadaan 2 dan kembali ke keadaan 1, Menarik untuk dicatat, kita tidak mengatakan bahwa disimpan pada keadaan 2, tetapi energi yang terdapat pada keadaan 2 adalah besar energi potensial. Karena sistem kembali ke keadaan awal setelah mengalami satu seri proses, sistem dikatakan mengalami suatu siklus tertutup.



Gambar 9

Suatu Proses Konversi Tenaga

Ambil suatu proses untuk memindahkan massa dari 1 ke 2 dan massa kembali dari 2 ke 1. Bila gerakanya di kontrol dengan sebuah rem ban seperti dalam gambar 9.b. Kerja yang dipindahkan sewaktu massa turun akan diubah menjadi energi panas Q oleh rem ban. Jika energi panas Q diukur secara tepat, untuk massa yang bergerak melalui bermacam-macam ketinggian, kita dapat menentukan nilai kerja yang dipindahkan, yakni berbanding langsung

dengan energi panas, yakni $W \propto Q$ atau $\delta W \propto \delta Q$. Jika tanda perbandingan diganti dengan tanda yang setara maka $\delta W = \text{konstanta} \times \delta Q$. Jika $\delta W = 1 \text{ Nm}$, panas dapat dihitung $\delta Q = 1 \text{ Joule}$. Dimana persamaan menjadi $1 \text{ Nm} = \text{konstanta} \times 1 \text{ Joule}$, sebab $1 \text{ Nm} = 1 \text{ Joule}$. Konstanta adalah kesatuan (unity).

Persamaan dapat ditulis $\delta W = \delta Q$.

Persamaan ini menyatakan satu bentuk dari hukum pertama termodinamika. Dapat dinyatakan dalam bentuk kata-kata sebagai berikut :

Jika sebuah sistem dalam sebuah siklus tertutup, maka kerja bersih yang dipindahkan berbanding langsung dengan panas bersih yang dipindahkan. Tidak ada bukti matematis tentang hukum ini, tetapi semua eksperimen mendukungnya.

B. KERJA LUAR (EXTERNAL WORK)

Kerja didefinisikan sebagai hasil kali gaya dan jarak perpindahan dalam arah gaya tersebut. Perhatikanlah fluida yang mengembang di samping piston dari sebuah mesin seperti ditunjukkan pada gambar 10.

Gaya F akan menghasilkan $F = p \cdot A$, dimana p adalah tekanan pada piston dan A luas piston. Jika dx perpindahan piston dan p dianggap konstan, maka kerja yang dilakukan sebesar :

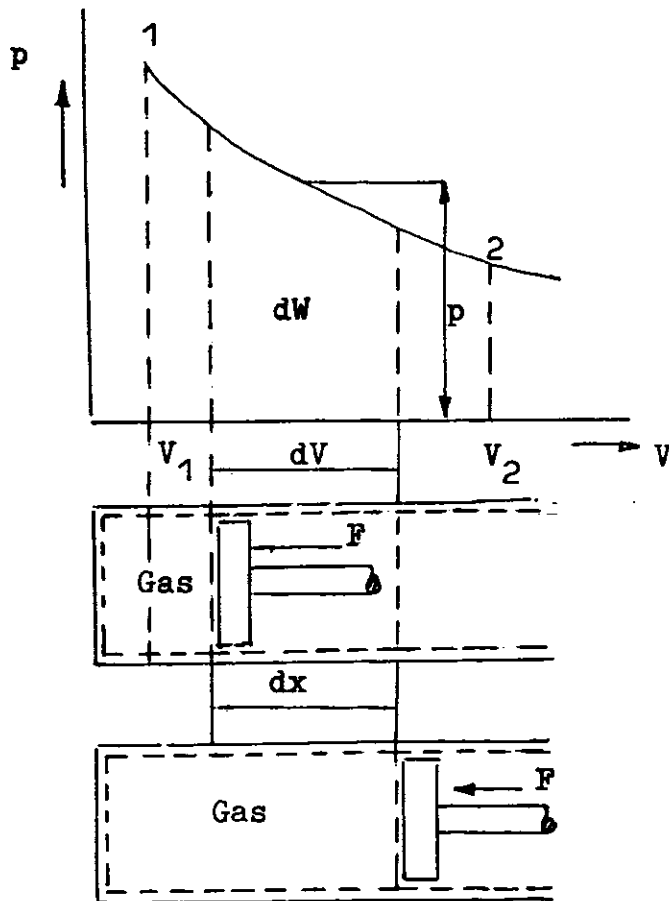
$$\begin{aligned} dW &= F \cdot dx \\ dW &= p \cdot A \cdot dx \quad \dots\dots\dots 1 \end{aligned}$$

Sedangkan $A \cdot dx = dV$

Dengan mensubstitusikan dV ke persamaan 1, maka didapatlah persamaan dalam bentuk :

$$dW = p \cdot dV \quad \dots\dots\dots 2$$

Dimana dW adalah elemen luas yang diarsir.



Gambar 10

Kerja Yang Dilakukan Gas Dalam Silinder

Dari gambar di atas, bila arah dx ke kanan (dx berlawanan arah dengan F) berarti gas mengembang atau volume bertambah atau dV positif. Jadi sistem akan melakukan kerja terhadap sekelilingnya, bila dV positif. Hal ini terdapat pada proses ekspansi. Secara singkat, pada proses ekspansi dV adalah positif, maka kerja adalah positif. Sebaliknya, bila arah dx kekiri (dx searah dengan gaya F) berarti volume gas berkurang atau dV negatif. Jadi sistem akan menerima kerja dari sekelilingnya, bila dV negatif. Hal ini terdapat pada proses kompresi. Secara singkat, pada proses kompresi dV adalah negatif, maka kerja adalah negatif.

Selanjutnya, bila sistem berubah dari keadaan 1 ke keadaan 2, maka kerja total yang dilakukan atau diterima oleh sistem (Werlin.S.Nainggolan, 1976 : 59) :

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p \, dV \quad \dots\dots\dots 3$$

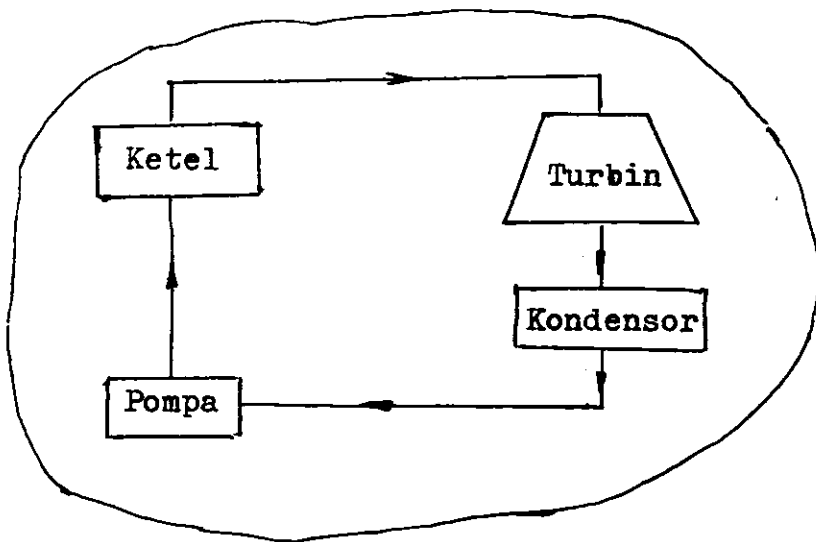
Bila p konstan, maka kerja total yang dilakukan atau diterima oleh sistem adalah :

$$W = p (V_2 - V_1) \quad \dots\dots\dots 4$$

Jadi kerja total yang dilakukan atau diterima oleh sistem dengan mengabaikan gesekan antara piston dan silinder, dan gesekan di dalam fluida sendiri adalah sebesar yang tertera pada persamaan 4.

Contoh Soal 2.1

Dalam suatu instalasi tenaga panas, turbin menghasilkan daya sebesar 1000 kW. Panas yang diberikan kepada uap dalam ketel sejumlah 2800 kJ/kg, sedangkan pa-



Gambar 11

Suatu Instalasi Tenaga Panas

nas yang dilepaskan oleh sistem kepada air pendingin dalam kondensator sebanyak 2100 kJ/kg dan pompa air pengisi (kondensat) membutuhkan kerja sebesar 5 kW. Hitung jumlah aliran uap yang mengalir dalam siklus dalam kg/det. Siklus ini ditunjukkan pada gambar 11.

Penyelesaian :

Perhatikanlah gambar 9 di atas. Batas siklus dipandang sebagai pedoman fluida kerja saja.

$$Q = 2800 - 2100 = 700 \text{ kJ/kg.}$$

Misalnya aliran uap tersebut dalam kg/det. , sehingga :

$$Q = 700 \text{ m kJ/det.}$$

$$W = 1000 - 5 = 995 \text{ kW} = 995 \text{ kJ/det.}$$

Dari persamaan konversi energi, maka diperoleh :

$$Q = W$$

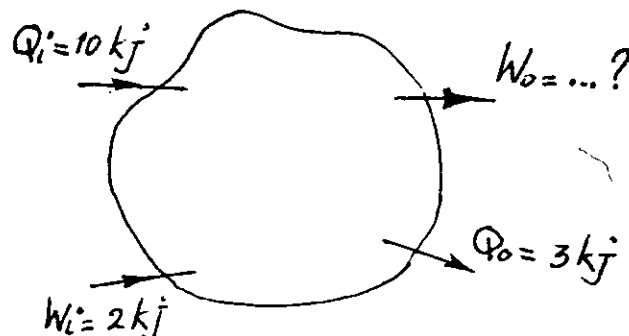
$$700 \text{ m} = 995$$

$$m = \frac{995}{700} = 1,421 \text{ kg/det.}$$

Jadi massa uap yang mengalir dalam siklus = 1,421 kg/det

Contoh Soal 2.2

Gambar 12 menunjukkan suatu proses tertentu yang mengalami suatu siklus yang lengkap. Tentukanlah kerja yang dilakukan (W_o).



Gambar 12

Suatu Proses dari Suatu Siklus

Penyelesaian :

Untuk suatu siklus yang lengkap :

$$\sum \delta Q - \sum \delta W = 0$$

Dimana Q_i adalah positif, W_o adalah positif, Q_o adalah negatif, dan W_i adalah negatif.

$$\sum \delta Q = Q_i - Q_o = 10 - 3 = 7 \text{ kJ}$$

$$\sum \delta W = W_o - 2$$

$$\sum \delta Q - \sum \delta W = 0$$

$$7 - W_o + 2 = 0$$

$$W_o = 9 \text{ kJ}$$

Contoh Soal 2.3

Suatu fluida pada tekanan 3 bar dan mempunyai volume jenis (v) = 0,18 m³/kg, dimasukkan ke dalam silinder yang tertutup, dengan piston diekspansikan secara reversibel sampai tekanan 0,6 bar. Proses mengikuti rumus $p = C/v^2$, dimana C suatu konstanta. Hitunglah kerja yang dilakukan fluida kepada torak.

Penyelesaian :

$$\text{Kerja yang dilakukan} = \int_{v_1}^{v_2} p \cdot dv$$

$$\text{dimana } p = C/v^2,$$

$$\text{sehingga kerja yang dilakukan} = \int_{v_1}^{v_2} dv/v^2$$

$$W = C \left[-1/v \right]_{v_1}^{v_2}$$

Selanjutnya,

$$C = p \cdot v^2$$

$$= 3 \cdot (0,18)^2 = 0,0972 \text{ bar (m}^3/\text{kg)}^2$$

dan

$$v_2 = \sqrt{C/p_2} = \sqrt{\frac{0,0972}{0,6}} = 0,402 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{Kerja yang dilakukan} = C \cdot (1/v_1 - 1/v_2)$$

$$W = 0,0972 \times 10^5 (1/0,18 - 0,402) \text{ Nm/kg}$$

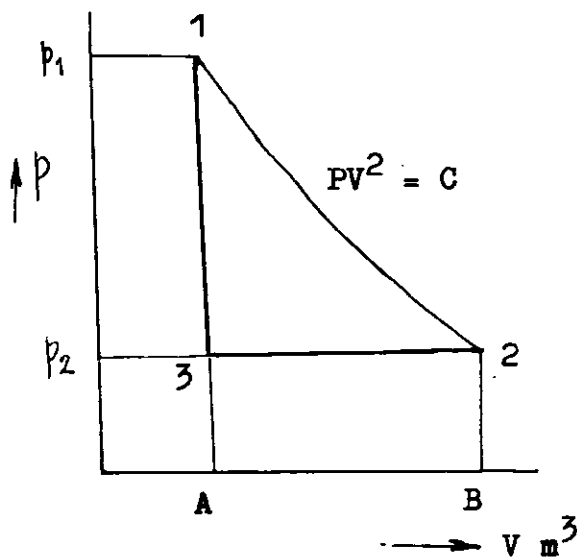
$$W = 29840 \text{ Nm/kg.}$$

Contoh Soal 2.4

1 kg fluida dimasukkan ke dalam sebuah silinder pada tekanan awal 20 bar. Fluida ini diekspansikan menurut proses reversibel menurut rumus $pV^2 = \text{konstan}$ sampai volumenya menjadi dua kali lebih besar. Kemudian didinginkan kembali secara reversibel pada tekanan konstan sampai fluida mencapai kondisi awalnya. Kemudian fluida dipanaskan secara reversibel dengan piston tetap pada tempatnya sampai tekanan naik mencapai 20 bar, Hitunglah kerja bersih yang dilakukan oleh fluida, apabila volume awalnya adalah $0,05 \text{ m}^3$.

Penyelesaian :

Perhatikanlah gambar.



Gambar 13

Diagram p - V

$$\begin{aligned}
 p_1 \cdot V_1^2 &= p_2 \cdot V_2^2 \\
 p_2 &= p_1 \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \\
 &= 20 \left(\frac{1}{2} \right)^2 \\
 &= 5 \text{ bar.}
 \end{aligned}$$

Kerja yang dilakukan pada proses 1-2 adalah W_1 .

$$\begin{aligned}
 W_1 &= \text{luas } 12BA1 \\
 &= \int_{V_1}^{V_2} p \, dV \\
 &= \int_{V_1}^{V_2} C/V^2 \, dV \\
 &= C \left[-1/V \right]_{V_1}^{V_2}
 \end{aligned}$$

$$\text{Dimana } C = p_1 V_1^2 = 20 \times 0,05^2 = 0,05$$

$$V_1 = 0,05 \text{ m}^3 \quad ; \quad V_2 = 2 V_1 = 2 \times 0,05 = 0,1 \text{ m}^3$$

$$\begin{aligned}
 W_1 &= 10^5 \times 20 \times 0,05^2 \left(\frac{1}{V_1} - \frac{1}{V_2} \right) \\
 &= 0,05 \times 10^5 (1/0,1 - 1/0,05) \\
 &= 50 \times 10^3 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

Kerja yang dilakukan oleh fluida dari 2 - 3 adalah W_2 .

$$\begin{aligned}
 W_2 &= \text{luas } 32BA3 \\
 &= p_2 (V_3 - V_2) \\
 &= 10^5 \times 5 \times (0,05 - 0,1) \\
 &= - 25 \times 10^3 \text{ Nm.}
 \end{aligned}$$

Kerja yang dilakukan dari 3 - 1 adalah sama dengan nol, sebab piston tidak bergerak sehingga tidak terjadi perubahan volume ($dV = 0$).

$$W_3 = 0$$

Total kerja yang dibutuhkan oleh fluida selama siklus adalah :

$$\begin{aligned}
 W_{\text{tot}} &= W_1 + W_2 + W_3 \\
 &= 50 \times 10^3 - 25 \times 10^3 + 0 \\
 &= 25 \times 10^3 \text{ Nm}
 \end{aligned}$$

C. INTERNAL ENERGI (ENERGI DALAM)

Perhatikanlah suatu perubahan dalam sistem dari keadaan 1 ke keadaan 2 dengan lintasan A dan kembali ke keadaan awal 1 dengan lintasan C, sebagai diilustrasikan dalam gambar 14.

Dari hukum pertama termodinamika dapat diperoleh suatu persamaan sebagai berikut :

$$\sum \delta Q - \sum \delta W = 0 \quad \dots\dots\dots 1$$

atau

$$\begin{aligned}
 (\sum_1^2 \delta Q + \sum_2^1 \delta Q) - (\sum_1^2 \delta W + \sum_2^1 \delta W) = 0 \quad \dots 2 \\
 \text{lewat A} \quad \text{lewat C} \quad \text{lewat A} \quad \text{lewat C}
 \end{aligned}$$