

BAB IV
SUHU KALOR & TERMODINAMIKA
alifis@corner --- alifis.wordpress.com

2.1 PENGANTAR

Pada bab II kita sudah membahas suhu dan kalor, teori kinetik gas dan Hukum Termodinamika. Kajian suhu dan kalor meliputi pengukuran suhu, jenis termometer, pemuaian zat, kekekalan energi kalor, dan perambatan kalor. Teori kinetik gas meliputi Gas ideal, distribusi kecepatan partikel gas ideal, hubungan tekanan dengan gerak partikel, persamaan gas ideal dan hubungan antara suhu dengan gerak partikel. Hukum Termodinamika meliputi Hukum I Termodinamika, penerapan Hukum I Termodinamika, Efisiensi mesin, Hukum II Termodinamika.

Kompetensi yang diharapkan adalah mahasiswa mampu menerapkan konsep-konsep dan formulasi dalam suhu, kalor, teori kinetik gas dan Hukum termodinamika serta mampu menganalisa dan memecahkan persoalan fisika terkait dengan materi di bab ini.

2.2 URAIAN MATERI

A. Suhu, Termometer & Pemuaian

A.1 Pengertian Sifat Termal Zat

Sifat termal zat ialah bahwa setiap zat yang menerima ataupun melepaskan kalor, maka zat tersebut akan mengalami :

- Perubahan suhu / temperatur / derajat panas.
- Perubahan panjang ataupun perubahan volume zat tersebut.
- Perubahan wujud.

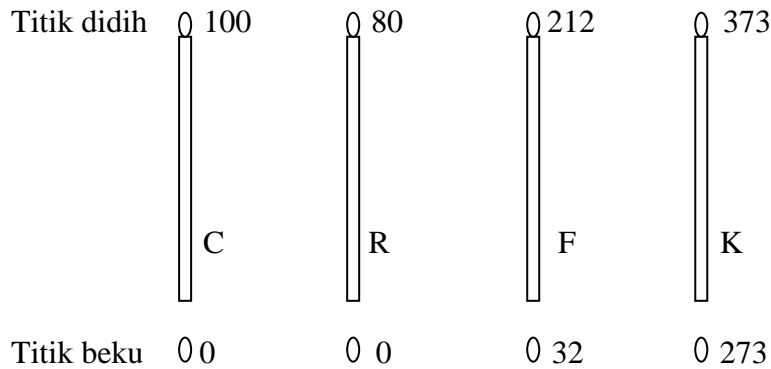
A.2 Pengukuran Suhu / Temperatur.

Alat untuk mengukur suhu suatu zat disebut TERMOMETER.

Secara umum ada 3 jenis termometer, yaitu :

- a. Termometer Celcius, mempunyai titik beku air 0°
titik didih air 100°
- b. Termometer Reamur, mempunyai titik beku air 0°
titik didih air 80°
- c. Termometer Fahrenheit, mempunyai titik beku air 32°
titik didih air 212°

Dengan demikian dari ketiganya dapat digambarkan skala untuk air sbb :



Gambar 4.1 Skala termometer

Jadi 100 bagian C = 80 bagian R = 180 bagian F

$^{\circ}\text{C}$ & $^{\circ}\text{R}$ dimulai pada angka nol dan $^{\circ}\text{F}$ dimulai pada angka 32

Maka $\text{C} : \text{R} : (\text{F}-32) = 100 : 80 : 180$

$$\text{C} : \text{R} : (\text{F}-32) = 5 : 4 : 9$$

$$t_R = \frac{4}{5} t_C \quad t_R = \frac{4}{9} (t_F - 32) \quad t_F = \frac{9}{5} t_C + 32 \quad \dots\dots\dots(4.1)$$

Selain 3 jenis termometer di atas, derajat panas sering dinyatakan dengan derajat mutlak atau derajat KELVIN ($^{\circ}\text{K}$)

$$T = t_C + 273^{\circ} \quad T = \text{suhu dalam } ^{\circ}\text{K}, t_C = \text{suhu dalam } ^{\circ}\text{C}$$

A.3 Macam – macam termometer.

a. Termometer alkohol.

Karena air raksa membeku pada -40°C dan mendidih pada 360° , maka termometer air raksa hanya dapat dipakai untuk mengukur suhu-suhu diantara interval tersebut. Untuk suhu-suhu yang lebih rendah dapat dipakai alkohol (Titik beku -130°C) dan pentana (Titik beku -200°C) sebagai zat cairnya.

b. Termoelemen.

Alat ini bekerja atas dasar timbulnya gaya gerak listrik (g.g.l) dari dua buah sambungan logam bila sambungan tersebut berubah suhunya.

c. Pirometer Optik.

Alat ini dapat dipakai untuk mengukur temperatur yang sangat tinggi.

d. Termometer maksimum-minimum Six Bellani.

Adalah termometer yang dipakai untuk menentukan suhu yang tertinggi atau terendah dalam suatu waktu tertentu.

e. Termostat.

Alat ini dipakai untuk mendapatkan suhu yang tetap dalam suatu ruangan.

f. Termometer diferensial.

Dipakai untuk menentukan selisih suhu antara dua tempat yang berdekatan.

A.4 Pemuaiian Zat.

A.4.1 Pemuaiian panjang.

Bila suatu batang pada suatu suhu tertentu panjangnya L_0 , jika suhunya dinaikkan sebesar Δt , maka batang tersebut akan bertambah panjang sebesar ΔL yang dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots(4.2)$$

α = Koefisien muai panjang = koefisien muai linier

didefinisikan sebagai : Bilangan yang menunjukkan berapa cm atau meter bertambahnya panjang tiap 1 cm atau 1 m suatu batang jika suhunya dinaikkan $1^{\circ}C$.

Jadi besarnya koefisien muai panjang suatu zat berbeda-beda, tergantung jenis zatnya.

Jika suatu benda panjang mula-mula pada suhu $t_0^{\circ}C$ adalah L_0 .

Koefisien muai panjang = α , kemudian dipanaskan sehingga suhunya menjadi $t_1^{\circ}C$ maka :

$$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot (t_1 - t_0)$$

Panjang batang pada suhu $t_1^{\circ}C$ adalah :

$$\begin{aligned} L_t &= L_0 + \Delta L \\ &= L_0 + L_0 \cdot \alpha \cdot (t_1 - t_0) \\ &= L_0 (1 + \alpha \Delta t) \quad \dots\dots\dots(4.3) \end{aligned}$$

Satuan :

	MKS	CGS
L_0 & L_t	m	cm
Δt	$^{\circ}C$	$^{\circ}C$
α	$^{\circ}C^{-1}$	$^{\circ}C^{-1}$

Keterangan :

- L_t = Panjang benda setelah dipanaskan $t^{\circ}C$
- L_0 = Panjang mula-mula.
- α = Koefisien muai panjang
- Δt = Selisih antara suhu akhir dan suhu mula-mula.

A.4.2 Pemuaian Luas.

Bila suatu lempengan logam (luas A_0) pada t_0^0 , dipanaskan sampai t_1^0 , luasnya akan menjadi A_t , dan pertambahan luas tersebut adalah :

$$\Delta A = A_0 \cdot \beta \Delta t \quad \text{dan} \quad \Delta t = t_1 - t_0 \quad \dots\dots\dots(4.4)$$

$$A_t = A_0 (1 + \beta \Delta t)$$

β adalah Koefisien muai luas ($\beta = 2 \alpha$)

Bilangan yang menunjukkan berapa cm^2 atau m^2 bertambahnya luas tiap 1 cm^2 atau m^2 suatu benda jika suhunya dinaikkan 1^0C .

Satuan :

	MKS	CGS
A_0 & A_t	m^2	cm^2
Δt	^0C	^0C
β	$^0\text{C}^{-1}$	$^0\text{C}^{-1}$

Keterangan :

- A_t = Luas benda setelah dipanaskan $t^0\text{C}$
- A_0 = Luas mula-mula.
- β = Koefisien muai Luas
- Δt = Selisih antara suhu akhir dan suhu mula-mula.

A.4.3 Pemuaian Volume

Bila suatu benda berdimensi tiga (mempunyai volume) mula-mula volumenya V_0 pada suhu t_0 , dipanaskan sampai t_1^0 , volumenya akan menjadi V_t , dan pertambahan volumenya adalah :

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \Delta t \quad \text{dan} \quad \Delta t = t_1 - t_0 \quad \dots\dots\dots(4.5)$$

$$V_t = V_0 (1 + \gamma \Delta t)$$

γ adalah Koefisien muai Volume ($\gamma = 3 \alpha$)

Bilangan yang menunjukkan berapa cm^3 atau m^3 bertambahnya volume tiap-tiap 1 cm^3 atau 1 m^3 suatu benda jika suhunya dinaikkan 1^0C .

Satuan :

	MKS	CGS
V_0 & V_t	m^3	cm^3
Δt	^0C	^0C
γ	$^0\text{C}^{-1}$	$^0\text{C}^{-1}$

Keterangan :

- V_t = Volume benda setelah dipanaskan $t^0\text{C}$
- V_0 = Volume mula-mula.
- γ = Koefisien muai ruang
- Δt = Selisih antara suhu akhir dan suhu mula-mula.

Namun tidak semua benda menurut hukum pemuaian ini, misalnya air. Didalam interval 0° - 4° C air akan berkurang volumenya bila dipanaskan, tetapi setelah mencapai 4° C volume air akan bertambah (Seperti pada benda-benda lainnya). Hal tersebut diatas disebut ANOMALI AIR.

Jadi pada 4° C air mempunyai volume terkecil, dan karena massa benda selalu tetap jika dipanaskan maka pada 4° C tersebut air mempunyai massa jenis terbesar.

Massa Jenis.

Misalkan :

- V_0 dan ρ_0 berturut-turut adalah volume dan massa jenis benda sebelum dipanaskan.
- V_t dan ρ_t berturut-turut adalah volume dan massa jenis benda setelah dipanaskan.
- m adalah massa benda.

$$\rho_0 = \frac{m}{V_0} \quad V_t = V_0 (1 + \gamma \Delta t) \quad \dots\dots\dots(4.6)$$

$$\rho_t = \frac{m}{V_t} \quad \rho_t = \frac{m}{V_0 (1 + \gamma \Delta t)} \quad \rho_t = \frac{\rho_0}{1 + \gamma \Delta t}$$

A.5 Pemuaian Gas.

Kita tinjau sejumlah gas bermassa m , bertekanan P , bertemperatur T dan berada dalam ruang tertutup yang bervolume V .

Dari percobaan-percobaan gas tersebut dapat menunjukkan hal-hal sebagai berikut :

- a. Untuk sejumlah gas bermassa tertentu, pada **tekanan tetap**, ternyata **volumenya sebanding dengan temperatur mutlaknya** atau dikenal dengan HUKUM GAY LUSSAC dan proses ini disebut dengan **proses ISOBARIK**.

$$V = C \cdot T \quad \text{Atau} \quad \frac{V}{T} = C \quad \dots\dots\dots(4.7)$$

Jadi pada **TEKANAN TETAP** berlaku : $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

- b. Untuk sejumlah gas bermassa tertentu, pada **temperatur konstan**, ternyata **tekanan gas berbanding terbalik dengan volumenya** atau dikenal dengan HUKUM BOYLE dan proses ini disebut dengan **proses ISOTERMIS**.

$$P = \frac{C}{V} \quad \text{atau} \quad P \cdot V = C \quad \dots\dots\dots(4.8)$$

Jadi pada TEMPERATUR TETAP berlaku : $P_1 V_1 = P_2 V_2$

- c. Selain itu gas dapat diekspansikan pada **volume tetap** dan prosesnya disebut dengan **proses ISOKHORIS** atau dikatakan **tekanan gas sebanding dengan temperatur mutlaknya**.

$$P = C \cdot T \quad \text{Atau} \quad \frac{P}{T} = C \quad \dots\dots\dots(4.9)$$

Jadi pada VOLUME TETAP berlaku : $\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$

Kesimpulan : Dari kenyataan-kenyataan di atas maka untuk gas bermassa tertentu dapat dituliskan dalam bentuk

$$\frac{P V}{T} = \text{Konstan} \quad \text{Atau} \quad \frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \quad \dots\dots\dots(4.10)$$

Dan persamaan di atas disebut :

BOYLE – GAY LUSSAC

B. Kalor (Energi Panas)

Kalor dikenal sebagai bentuk energi yaitu energi panas dengan notasi Q

Satuan Kalor :

Satuan kalor adalah kalori (kal) atau kilo kalori (k kal)

1 kalori/kilo kalori adalah : jumlah kalor yang diterima/dilepaskan oleh 1 gram/1 kg air untuk menaikkan/menurunkan suhunya 1^0 C.

B.1 Kesetaraan antara satuan kalor dan satuan energi.

Kesetaraan satuan kalor dan energi mekanik ini ditentukan oleh **PERCOBAAN JOULE**.

$$1 \text{ kalori} = 4,2 \text{ joule} \quad \text{atau} \quad 1 \text{ joule} = 0,24 \text{ kal}$$

Harga perbandingan di atas disebut **TARA KALOR MEKANIK**.

B.2 Kapasitas kalor atau Harga air / Nilai air (H)

Kapasitas kalor suatu zat ialah banyaknya kalor yang diserap/dilepaskan untuk menaikkan/menurunkan suhu 1°C

Jika kapasitas kalor/Nilai air = H maka untuk menaikkan/menurunkan suhu suatu zat sebesar Δt diperlukan kalor sebesar :

$$Q = H \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots(4.11)$$

Q dalam satuan k kal atau kal

H dalam satuan k kal / $^{\circ}\text{C}$ atau kal / $^{\circ}\text{C}$

Δt dalam satuan $^{\circ}\text{C}$

B.3 Kalor Jenis (c)

Kalor jenis suatu zat ialah : banyaknya kalor yang diterima/dilepas untuk menaikkan/menurunkan suhu 1 satuan massa zat sebesar 1°C .

Jika kalor jenis suatu zat = c, maka untuk menaikkan/menurunkan suatu zat bermassa m, sebesar Δt $^{\circ}\text{C}$, kalor yang diperlukan/dilepaskan sebesar :

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t \quad \dots\dots\dots(4.12)$$

Q dalam satuan k kal atau kal

m dalam satuan kg atau g

c dalam satuan k kal/kg $^{\circ}\text{C}$ atau kal/g $^{\circ}\text{C}$

Δt dalam satuan $^{\circ}\text{C}$

Dari persamaan di atas dapat ditarik suatu hubungan :

$$\begin{aligned} H \cdot \Delta t &= m \cdot c \cdot \Delta t \\ H &= m \cdot c \quad \dots\dots\dots(4.13) \end{aligned}$$

B.4 Perubahan wujud.

Semua zat yang ada di bumi ini terdiri dari 3 tingkat wujud yaitu :

- tingkat wujud padat
- tingkat wujud cair
- tingkat wujud gas

Kalor Laten (L)

Kalor laten suatu zat ialah kalor yang dibutuhkan untuk merubah satu satuan massa zat dari suatu tingkat wujud ke tingkat wujud yang lain pada suhu dan tekanan yang tetap.

Jika kalor laten = L, maka untuk merubah suatu zat bermassa m seluruhnya ke tingkat wujud yang lain diperlukan kalor sebesar :

$$Q = m \cdot L \quad \dots\dots\dots(4.14)$$

Dimana :

Q dalam kalori atau k kal

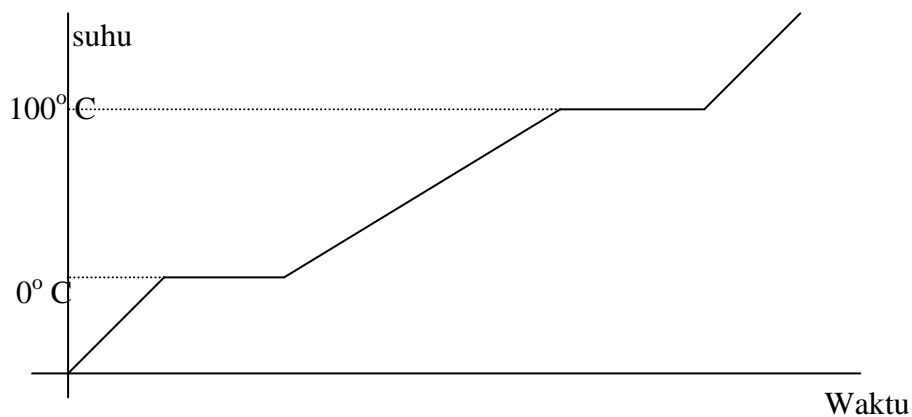
m dalam gram atau kg

L dalam kal/g atau k kal/kg

- Kalor lebur ialah kalor laten pada perubahan tingkat wujud padat menjadi cair pada titik leburnya.
- Kalor beku ialah kalor laten pada perubahan tingkat wujud cair menjadi padat pada titik bekunya.
- Kalor didih (kalor uap) ialah kalor laten pada perubahan tingkat wujud cair menjadi tingkat wujud uap pada titik didihnya.

Dibawah ini akan digambarkan dan diuraikan perubahan wujud air (H₂O) dari fase padat, cair dan gas yang pada prinsipnya proses ini juga dijumpai pada lain-lain zat.

Gambar perubahan wujud air.



Gambar 4.2 grafik perubahan wujud zat

- I. Di bawah suhu 0⁰ C air berbentuk es (padat) dan dengan pemberian kalor suhunya akan naik sampai 0⁰ C. (a-b) Panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu es pada fase ini adalah : $Q = m \times c_{es} \times \Delta t$

- II. Tepat pada suhu 0° C, es mulai ada yang mencair dan dengan pemberian kalor suhunya tidak akan berubah (b-c). Proses pada b-c disebut proses MELEBUR (perubahan fase dari padat menjadi cair).

Panas yang diperlukan untuk proses ini adalah :

$$Q = m \cdot K_l \quad K_l = \text{Kalor lebur es.}$$

- III. Setelah semua es menjadi cair, dengan penambahan kalor suhu air akan naik lagi (c-d). Proses untuk merubah suhu pada fase ini membutuhkan panas sebesar :

$$Q = m \cdot c_{\text{air}} \cdot \Delta t$$

Pada proses c-d waktu yang diperlukan lebih lama daripada proses a-b, karena kalor jenis air (c_{air}) lebih besar daripada kalor jenis es (c_{es}).

- IV. Setelah suhu air mencapai 100° C, sebagian air akan berubah menjadi uap air dan dengan pemberian kalor suhunya tidak berubah (d-e). Proses d-e adalah proses MENDIDIH (Perubahan fase cair ke uap).

Panas yang dibutuhkan untuk proses tersebut adalah :

$$Q = m \cdot K_d \quad K_d = \text{Kalor didih air.}$$

Suhu 100° C disebut TITIK DIDIH AIR.

- V. Setelah semua air menjadi uap air, suhu uap air dapat ditingkatkan lagi dengan pemberian panas (e-f) dan besarnya yang dibutuhkan :

$$Q = m \cdot c_{\text{gas}} \cdot \Delta t$$

Proses dari a s/d f sebenarnya dapat dibalik dari f ke a, hanya saja pada proses dari f ke a benda harus mengeluarkan panasnya.

- Proses e-d disebut proses MENGEMBUN (Perubahan fase uap ke cair)
- Proses c-b disebut MEMBEKU (Perubahan fase dari cair ke padat).

Besarnya kalor lebur = kalor beku

Pada keadaan tertentu (suhu dan tekanan yang cocok) sesuatu zat dapat langsung berubah fase dari padat ke gas tanpa melewati fase cair. Proses ini disebut sebagai SUBLIMASI.

Contoh pada kapur barus, es kering, dll. Pada proses perubahan fase-fase di atas dapat disimpulkan bahwa selama proses, suhu zat tidak berubah karena panas yang diterima/dilepas selama proses berlangsung dipergunakan seluruhnya untuk merubah wujudnya.

B.5 Hukum Kekekalan Energi Panas (Kalor)

Jika 2 macam zat pada tekanan yang sama, suhunya berbeda jika dicampur maka : zat yang bersuhu tinggi akan melepaskan kalor, sedangkan zat yang bersuhu lebih rendah akan menyerap kalor.

Jadi berlaku : Kalor yang diserap = kalor yang dilepaskan

Pernyataan di atas disebut “**Asas Black**” yang biasanya digunakan dalam kalorimeter, yaitu alat pengukur kalor jenis zat.

B.6 Rambatan Kalor.

Panas dapat dipindahkan dengan 3 macam cara, antara lain :

- a. Secara konduksi (Hantaran)
- b. Secara konveksi (Aliran)
- c. Secara Radiasi (Pancaran)

a. Konduksi.

Pada peristiwa konduksi, atom-atom zat yang memindahkan panas tidak berpindah tempat tetapi hanya bergetar saja sehingga menumbuk atom-atom disebelahnya, (Misalkan terdapat pada zat padat) Banyaknya panas per satuan waktu yang dihantarkan oleh sebuah batang yang panjangnya L, luas penampang A dan perbedaan suhu antara ujung-ujungnya Δt , adalah :

.....(4.15)

$$H = k \cdot A \cdot \frac{\Delta t}{\Delta L}$$

k adalah koefisien konduksi panas dari bahan dan besarnya tergantung dari macam bahan.

Bila k makin besar, benda adalah konduktor panas yang baik.

Bila k makin kecil, benda adalah isolator panas.

b. Konveksi.

Pada peristiwa ini partikel-partikel zat yang memindahkan panas ikut bergerak. Kalor yang merambat per satuan waktu adalah :

.....(4.16)

$$H = h \cdot A \cdot \Delta t$$

h = koefisien konveksi

misalkan pada zat cair dan gas.

c. Radiasi

Adalah pemindahan panas melalui radiasi energi gelombang elektromagnetik. Energi panas tersebut dipancarkan dengan kecepatan yang sama dengan gelombang-gelombang elektromagnetik lain di ruang hampa (3×10^8 m/det)

Banyaknya panas yang dipancarkan per satuan waktu menurut Stefan Boltzman adalah :

$$W = e \cdot \tau \cdot T^4$$

W = Intensitas radiasi yang dipancarkan per satuan luas, dinyatakan dalam : $J/m^2 \cdot det$ atau $watt/m^2$

e = Emisivitas (Daya pancaran) permukaan

$\tau =$ Konstanta umum = $5,672 \times 10^{-8} \frac{watt}{m^2 (\text{°K})^4}$

T = Suhu mutlak benda

Besarnya harga e tergantung pada macam permukaan benda $0 \leq e \leq 1$

- $e = 1$
- Permukaan hitam sempurna (black body)
 - Sebagai pemancar panas ideal.
 - Sebagai penyerap panas yang baik.
 - Sebagai pemantul panas yang jelek.

- $e = 0$
- Terdapat pada permukaan yang lebih halus.
 - Sebagai pemancar panas yang jelek.
 - Sebagai penyerap panas yang jelek.
 - Sebagai pemantul yang baik.

Botol thermos dibuat dengan dinding rangkap dua dan diantaranya terdapat ruang hampa serta dinding-dindingnya dilapisi dengan perak, maksudnya adalah :

- Karena adanya ruang hampa tersebut, praktis pemindahan panas lewat konduksi dan konveksi tidak terjadi.

- Lapisan mengkilap dari perak dimaksudkan untuk memperkecil terjadinya pemindahan panas secara radiasi. (Permukaan mengkilap $e = 0$)

LATIHAN SOAL

1. Pada temperatur berapakah :

- a. Jumlah skala F dan skala C = 74^0
- b. Selisih skala F dan skala C = 24^0
- c. Skala F dan skala C menunjukkan angka sama
- d. Skala C = $1/3$ skala F

2.

	Es melebur	Air mendidih.
Termometer skala X	40^0	160^0
Termometer skala Y	20^0	180^0

- a. Maka $20^0 X = \dots\dots\dots^0 Y$
- b. $t_x + t_y = 84^0$, maka $t_c = \dots\dots\dots$

3.

	Es melebur	Air mendidih.
Termometer skala X	-40^0	110^0
Termometer skala Y	-50^0	150^0

Pada temperatur berapa $t_x = t_y$

4. Jika hubungan antara termometer skala X dan skala Y adalah linier, maka :

- a. $20^0 X = 36^0 Y$
 $-10^0 X = 12^0 Y$
jadi $56^0 Y = \dots\dots\dots^0 X$
- b. $40^0 X = 100^0 Y$
 $-32^0 X = -10^0 Y$
jadi $45^0 Y = \dots\dots\dots^0 X$

5. Berapakah perubahan panjang kawat besi yang dipanaskan dari 0° sampai 40° jika pada 0° panjangnya 12,75 m ($\alpha_{\text{besi}} = 12 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$)
6. Berapa panjang kawat tembaga pada 80° C jika pada 20° C panjangnya 71,28 m ($\alpha_{\text{tembaga}} = 17 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$)
7. Kawat besi dan seng pada 10° C panjangnya 158,21 cm.
Berapa selisih panjang keduanya pada 100° C jika muai panjang besi dan seng masing-masing $12 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$ dan $29 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$.
8. Pada 15° C panjang penggaris besi tepat 1 m sedang panjang penggaris tembaga 0,036 cm lebih panjang. Jika muai panjang besi dan tembaga masing-masing $1,2 \times 10^{-5} / ^{\circ}\text{C}$ dan $1,92 \times 10^{-6} / ^{\circ}\text{C}$. Berapa selisih panjang pada 0° C.
9. Kawat besi dan kawat seng pada 90° panjangnya sama.
Berapa panjang kawat besi pada 10° jika pada 50° panjang kawat seng adalah 132,87 cm (muai panjang lihat soal no. 7)
10. Panjang kawat logam 191,7 cm pada 0° C dan bertambah panjang 0,23 cm jika dipanaskan sampai 100° C. Benda logam tersebut volumenya $387,189 \text{ cm}^3$ pada 20° C, volumenya pada 70° C akan bertambah

C. Teori Kinetik Gas

C.1 Gas Ideal

Untuk menyederhanakan permasalahan teori kinetik gas diambil pengertian tentang gas ideal:

- 1) Gas ideal terdiri atas partikel-partikel (atom-atom ataupun molekul-molekul) dalam jumlah yang besar sekali.
- 2) Partikel-partikel tersebut senantiasa bergerak dengan arah random/sebarang.
- 3) Partikel-partikel tersebut merata dalam ruang yang kecil.
- 4) Jarak antara partikel-partikel jauh lebih besar dari ukuran partikel-partikel, sehingga ukurtan partikel dapat diabaikan.
- 5) Tidak ada gaya antara partikel yang satu dengan yang lain, kecuali bila bertumbukan.
- 6) Tumbukan antara partikel ataupun antara partikel dengan dinding terjadi secara lenting sempurna, partikel dianggap sebagai bola kecil yang keras, dinding dianggap licin dan tegar.
- 7) Hukum-hukum Newton tentang gerak berlaku.

Pada keadaan standart 1 mol gas menempati volume sebesar 22.400 cm^3 sedangkan jumlah atom dalam 1 mol sama dengan : $6,02 \times 10^{23}$ yang disebut bilangan avogadro (N_0)
Jadi pada keadaan standart jumlah atom dalam tiap-tiap cm^3 adalah :

$$\frac{6,02 \times 10^{23}}{22.400} = 2,68 \times 10^{19} \text{ atom} / \text{cm}^3$$

Banyaknya mol untuk suatu gas tertentu adalah : hasil bagi antara jumlah atom dalam gas itu dengan bilangan Avogadro.

$$n = \frac{N}{N_0}$$

n = jumlah mol gas

N = jumlah atom

N_0 = bilangan avogadro $6,02 \times 10^{23}$.

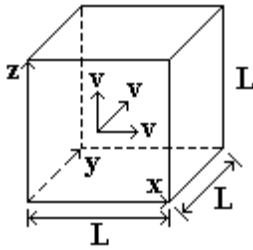
LATIHAN SOAL

1. Massa satu atom hidrogen $1,66 \times 10^{-24}$ gram. Berapakah banyaknya atom dalam : 1 gram Hidrogen dan 1 kg hidrogen.
2. Dalam setiap mol gas terdapat $6,02 \times 10^{23}$ atom. Berapa banyaknya atom dalam tiap-tiap ml dan dalam tiap-tiap liter gas pada kondisi standard.
3. Berapakah panjang rusuk kubus dalam cm yang mengandung satu juta atom pada keadaan normal ? Massa molekul 32 gram/mol
4. Tentukan volume yang ditempati oleh 4 gram Oksigen pada keadaan standart. Masa molekul Oksigen 32 gram/mol.
5. Sebuah tangki volumenya $5,9 \times 10^5 \text{ cm}^3$ berisi Oksigen pada keadaan standart. Hitung Masa Oksigen dalam tangki bila massa molekul Oksigen 32 gram/mol.

C.2 Distribusi Kecepatan Partikel Gas Ideal.

Dalam gas ideal yang sesungguhnya atom-atom tidak sama kecepatannya. Sebagian bergerak lebih cepat, sebagian lebih lambat. Tetapi sebagai pendekatan kita anggap semua atom itu kecepatannya sama. Demikian pula arah kecepatannya atom-atom dalam gas tidak sama. Untuk mudahnya kita anggap saja bahwa : sepertiga jumlah atom bergerak sejajar sumbu x, sepertiga jumlah atom bergerak sejajar sumbu y dan sepertiga lagi bergerak sejajar sumbu z. Kecepatan bergerak tiap-tiap atom dapat ditulis dengan bentuk persamaan :

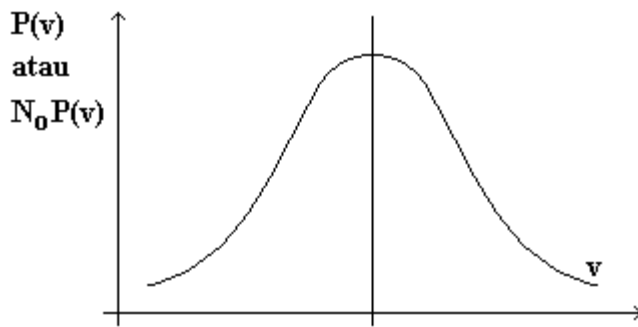
$$v_{\text{ras}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}} \dots\dots\dots(4.17)$$



v_{ras} = kecepatan tiap-tiap atom, dalam m/det
 k = konstanta Boltzman $k = 1,38 \times 10^{-23}$ joule/atom $^{\circ}\text{K}$
 T = suhu dalam $^{\circ}\text{K}$
 m = massa atom, dalam satuan kilogram.

Gambar 4.3 komponen kecepatan partikel gas ideal

Hubungan antara jumlah rata-rata partikel yang bergerak dalam suatu ruang ke arah kiri dan kanan dengan kecepatan partikel gas ideal, digambarkan oleh MAXWELL dalam



bentuk: DISTRIBUSI MAXWELL

Oleh karena $m = \frac{M}{N}$ serta $k = \frac{R}{N_0}$ maka tiap-tiap molekul gas dapat dituliskan kecepatannya dengan rumus :

Gambar 4.4 Distribusi Maxwell

$$v_{\text{ras}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}} \dots\dots\dots(4.18)$$

M = massa gas per mol dalam satuan kg/mol
 R = konstanta gas umum = 8,317 joule/mol $^{\circ}\text{K}$
 Dari persamaan di atas dapat dinyatakan bahwa :

Pada suhu yang sama, untuk 2 macam gas kecepatannya dapat dinyatakan :

$$v_{\text{ras}_1} : v_{\text{ras}_2} = \sqrt{\frac{1}{M_1}} : \sqrt{\frac{1}{M_2}}$$

- v_{ras_1} = kecepatan molekul gas 1
- v_{ras_2} = kecepatan molekul gas 2
- M_1 = massa molekul gas 1
- M_2 = massa molekul gas 2

Pada gas yang sama, namun suhu berbeda dapat disimpulkan :

$$v_{\text{ras}_1} : v_{\text{ras}_2} = \sqrt{T_1} : \sqrt{T_2}$$

LATIHAN SOAL

1. Hitunglah kecepatan molekul udara pada tekanan 1 atmosfer suhu 0°C dan massa molekul udara = 32 gram/mol.
2. Tentukan perbandingan antara kecepatan gas hidrogen dengan Oksigen pada suatu suhu tertentu. Massa molekul gas Hidrogen 2 gram/mol dan massa molekul Oksigen = 32 gram/mol.
3. Berapakah kecepatan molekul gas Methana pada suhu 37°C . Massa molekul gas methana 16 gram/mol.
4. Carilah kecepatan molekul gas methana pada suhu -120°C bila massa molekulnya 16 gram/mol.
5. carilah pada suhu berapa kecepatan molekul Oksigen sama dengan kecepatan molekul Hidrogen pada suhu 300°K . Massa molekul Oksigen = 32 gram/mol dan massa molekul hidroen = 2 gram/mol
6. Pada suhu berapakah maka kecepatan molekul zat asam sama dengan molekul Hidrogen pada suhu 27°C . Massa molekul zat asam 32 gram/mol dan massa molekul Hidrogen = 2 gram/mol.
7. Massa sebuah molekul Nitrogen adalah empat belas kali massa sebuah molekul Hidrogen. Dengan demikian tentukanlah pada suhu berapakah kecepatan rata-rata molekul Hidrogen sama dengan kecepatan rata-rata molekul Nitrogen pada suhu 294°K .

C.3 Hubungan Tekanan dengan Gerak Partikel

Bayangkan gas ini dimasukkan ke dalam kubus yang panjang rusuknya L . Kubus ditempatkan sedemikian rupa sehingga rusuknya sejajar dengan sumbu-sumbu koordinat.

Andaikanlah jumlah atom dalam kubus banyaknya N . jadi atom sebanyak $\frac{N}{3}$ bergerak hilir mudik sejajar sumbu x dengan kecepatan v_{ras} . Tiap kali tumbukan atom dengan permukaan ABCD kecepatan itu berubah dari $+v_{\text{ras}}$ menjadi $-v_{\text{ras}}$. Jadi partikel mengalami perubahan momentum $m(-v_{\text{ras}}) - m(+v_{\text{ras}}) = -2m v_{\text{ras}}$. Sebaliknya partikel memberikan momentum sebesar $+2m v_{\text{ras}}$ kepada dinding.

Selang waktu antara dua buah tumbukan berturut-turut antara atom dengan permukaan ABCD sama dengan waktu yang diperlukan oleh atom untuk bergerak ke dinding yang satu dan kembali, atau menempuh jarak $2L$.

$$t = \frac{2L}{V_{ras}}$$

t = selang waktu antara dua tumbukan.

Karena impuls sama dengan perubahan momentum, maka dapat dinyatakan bahwa :

$$F \cdot t = 2 m V_{ras}$$

$$F \cdot \frac{2L}{V_{ras}} = 2 m V_{ras}$$

Maka gaya rata-rata untuk satu atom dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$F = \frac{m V^2_{ras}}{L}$$

Jadi untuk gaya rata-rata $\frac{N}{3}$ atom dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$F = \frac{N}{3} \cdot \frac{m V^2_{ras}}{L}$$

Tekanan rata-rata pada permukaan ialah hasil bagi antara gaya dengan luas bidang tekan.

Jadi :

$$P = \frac{N}{3} \cdot \frac{m V^2_{ras}}{L} \cdot L^2 \dots\dots\dots(4.19)$$

Karena $L^3 = \text{Volume kubus (V)}$ $Nm = \text{massa gas dengan N atom. dan } \frac{m}{V} \text{ sama dengan}$
 massa jenis gas, maka dapat dinyatakan :

$$P = \frac{N}{3} \cdot \frac{m V^2_{ras}}{V} \text{ atau } P = \frac{1}{3} \rho V^2_{ras}$$

P = tekanan gas satuan : N/m^2

m = massa atom satuan : kg

V_{ras} = kecepatan atom satuan : m/det

V = volume gas satuan : m^3

Persamaan tersebut dapat pula dinyatakan dalam bentuk :

$$P = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} \cdot \frac{1}{2} m V^2_{ras} = \frac{2}{3} \cdot \frac{N}{V} Ek \dots\dots\dots(4.20)$$

Persamaan ini menunjukkan hubungan antara tekanan dengan energi kinetik atom atau partikel.

$$\begin{aligned}
R &= 8,317 \text{ joule/mol} \cdot ^\circ\text{K} \\
&= 8,317 \times 10^7 \text{ erg/mol} \cdot ^\circ\text{K} \\
&= 1,987 \text{ kalori/mol} \cdot ^\circ\text{K} \\
&= 0,08205 \text{ liter} \cdot \text{atm/mol} \cdot ^\circ\text{K}
\end{aligned}$$

Jumlah mol suatu gas adalah : massa gas itu dibagi dengan massa molekulnya. (Mr) Jadi :

$$n = \frac{m}{Mr}$$

$$P \cdot V = m \frac{R}{Mr} T \quad \text{atau} \quad P = \frac{m}{V} \frac{R}{Mr} T$$

Dan karena massa jenis gas ($\rho = \frac{m}{V}$) maka kita dapatkan persamaan dalam bentuk sebagai berikut :

$$P = \rho \frac{R}{Mr} T \quad \text{atau} \quad \frac{P}{\rho} = \frac{R \cdot T}{Mr} \quad \text{atau} \quad \rho = \frac{P \cdot Mr}{R \cdot T} T \dots\dots\dots(4.23)$$

Jelas kita lihat bahwa rapat gas atau massa jenis gas tergantung dari tekanan, suhu dan massa molekulnya.

Persamaan gas sempurna yang lebih umum, ialah dinyatakan dengan persamaan :

$$\frac{P \cdot V}{T} = n \cdot R \quad \dots\dots\dots(4.24)$$

Jadi gas dengan massa tertentu menjalani proses yang bagaimanapun perbandingan antara hasil kali tekanan dan volume dengan suhu mutlaknya adalah konstan. Jika proses berlangsung dari keadaan I ke keadaan II maka dapat dinyatakan bahwa :

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Persamaan ini sering disebut dengan Hukum Boyle-Gay Lussac.

C.5 Hubungan antara Temperatur dengan Gerak Partikel

Berdasarkan sifat-sifat gas ideal kita telah mendapatkan persamaan $P \cdot V = n \cdot R \cdot T$.

Dengan demikian maka energi kinetik tiap-tiap partikel dapat dinyatakan dengan :

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$\frac{N}{3} \cdot \frac{m V^2 \text{ras}}{V} \cdot V = \frac{N}{N_0} R \cdot T$$

$$\frac{1}{3} m V^2 \text{ras} = \frac{R}{N_0} T$$

$$\frac{1}{3} m V^2_{ras} = k.T$$

$$\frac{1}{2} m V^2_{ras} = \frac{3}{2} k.T$$

$$Ek = \frac{3}{2} k.T \dots\dots\dots(4.25)$$

Ek = Energi kinetik partikel.

LATIHAN SOAL

1. Sebuah tangki yang volumenya 0,056 m³ berisi O₂ yang tekanan mutlaknya 16 x 10⁷ dyne/cm² dan suhunya 27⁰ C.
 - a. Berapa kilogramkah O₂ di dalam tangki tersebut ?
 - b. Berapakah volume gas tersebut bila mengembang hingga tekanannya menjadi 10⁶ dyne/cm² dan suhunya menjadi 50⁰ C.
2. Berapa erg tenaga kinetik translasi sebuah molekul zat asam pada suhu 27⁰ C. Mssa molekul zat asam adalah 32 gram/mol.
3. Tentukanlah energi kinetik sebuah atom gas Helium pada suhu 27⁰ C. k = 1,38 x 10⁻²³ joule/atom.⁰K.
4. Tentukan energi kinetik dari 1 gram gas Amonia pada suhu 27⁰ C Massa molekul Amonia adalah 17 gram/mol.
5. 20 gram Oksigen pada suhu 27⁰ C di ubah menjadi energi kinetik. Carilah besar energi kinetik tersebut bila massa molekul dari gas Amonia adalah 17,03 gram/mol.

D. Hukum Termodinamika.

D.1 Kalor Jenis Gas.

Suhu suatu gas dapat dinaikkan dalam kondisi yang bermacam-macam. Volumennya dikonstankan, tekanannya dikonstankan atau kedua-duanya dapat dirubah-rubah menurut kehendak. Pada tiap-tiap kondisi ini panas yang diperlukan untuk menaikkan suhu sebesar satu satuan suhu untuk tiap satuan massa adalah berlainan. Dengan kata lain suatu gas mempunyai bermacam-macam kapasitas panas. Tetapi hanya dua macam yang mempunyai arti praktis yaitu :

- Kapasitas panas pada volume konstan.dan kapasitas panas pada tekanan konstan.

Kapasitas panas gas ideal pada tekanan konstan selalu lebih besar dari pada kapasitas panas gas ideal pada volume konstan, dan selisihnya sebesar konstanta gas umum (universil) yaitu : $R = 8,317 \text{ J/mol } ^0\text{K}$.

$$c_p - c_v = R \quad \dots\dots\dots(4.26)$$

c_p = kapasitas panas jenis (kalor jenis) gas ideal pada tekanan konstan.

c_v = kapasitas panas jenis (kalor jenis) gas ideal pada volume konstan.

Berdasarkan teori kinetik gas kita dapat menghitung panas jenis gas ideal:

a. Untuk gas beratom tunggal (monoatomik) diperoleh bahwa :

$$c_p = \frac{5}{2}R \quad c_v = \frac{3}{2}R \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,67$$

b. Untuk gas beratom dua (diatomik) diperoleh bahwa :

$$c_p = \frac{7}{2}R \quad c_v = \frac{5}{2}R \quad \gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,4$$

γ = konstanta Laplace.

LATIHAN SOAL

1. Hitunglah kalor jenis gas Oksigen pada volume dan tekanan tetap bila massa molekul gas Oksigen 32 gram/mol.
2. Hitunglah kalor jenis gas-gas berikut ini pada volume dan tekanan tetap.
 - a. Gas Neon monoatomik, bila masa molekulnya 2,018 gram/mol
 - b. Gas Hidrogen diatomik, bila massa molekulnya 2,016 gram/mol
3. Kapasitas panas jenis Nitrogen pada volume tetap adalah $7,14 \times 10^2 \text{ J/kg } ^0\text{K}$. Carilah kapasitas panas jenisnya pada tekanan tetap. Diketahui massa molekul Nitrogen 28 gram/mol dan konstanta umum gas $R = 8,317 \text{ J/mol } ^0\text{K}$
4. Hitunglah kalor jenis gas Argon beratom satu pada volume tetap bila kalor jenisnya pada tekanan tetap $5,23 \times 10^2 \text{ J/kg } ^0\text{K}$ $\gamma = 1,67$
5. Hitunglah kalor jenis pada tekanan tetap dari gas Oksida zat lemas beratom dua bila kalor jenisnya pada volume tetap adalah $6,95 \times 10^2 \text{ J/kg. } ^0\text{K}$ dan $\gamma = 1,4$

Kunci Jawaban

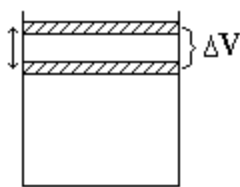
1. $6,5 \times 10^2 \text{ joule/kg } ^0\text{K}$
 $9,1 \times 10^2 \text{ J/kg } ^0\text{K}$
2. a) $6,2 \times 10^2 \text{ J/kg } ^0\text{K}$

- 1,03 x 10² J/kg⁰K
- b) 1,03 x 10⁴ J/kg⁰K
- 1,44 x 10⁴ J/kg⁰K
- 3. 1,04 x 10³ J/kg⁰K
- 4. 3,13 x 10² J/kg⁰K
- 5. 9,73 x 10² J/kg⁰K

D.2 Usaha yang Dilakukan Gas.

Termodinamika merupakan cabang ilmu fisika yang mempelajari mengenai pengaliran panas, perubahan-perubahan energi yang diakibatkan dan usaha yang dilakukan oleh panas.

1. Usaha luar (W) yaitu : Usaha yang dilakukan oleh sistem terhadap sekelilingnya terhadap sistem. Misalkan gas dalam ruangan yang berpenghisap bebas tanpa gesekan dipanaskan (pada tekanan tetap) ; maka volume akan bertambah dengan V.



Usaha yang dilakukan oleh gas terhadap udara luar :

$$W = p. \Delta V \dots\dots\dots(4.27)$$

Gambar 4.5
Pertambahan
volume pada sistem

2. Usaha dalam (U) adalah : Usaha yang dilakukan oleh bagian dari suatu sistem pada bagian lain dari sistem itu pula. Pada pemanasan gas seperti di atas, usaha dalam adalah berupa gerakan-gerakan antara molekul-molekul gas yang dipanaskan menjadi

lebih cepat. Energi dalam suatu gas Ideal adalah : $U = \frac{3}{2}n.R.T$
(4.28)

Dalam suatu sistem yang mendapat panas sebanyak Δ Q akan terdapat perubahan energi dalam (Δ U) dan melakukan usaha luar (Δ W).

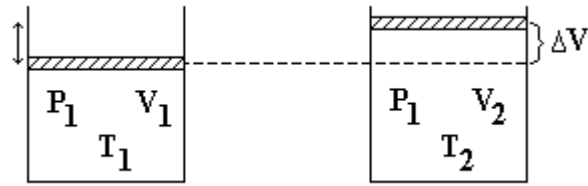
$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W \dots\dots\dots(4.29)$$

- Δ Q = kalor yang masuk/keluar sistem
- Δ U = perubahan energi dalam
- Δ W = Usaha luar.

D.3 Proses-Proses Termodinamika

1. Hukum I termodinamika untuk Proses Isobarik.

Pada proses ini gas dipanaskan dengan tekanan tetap.(lihat gambar).



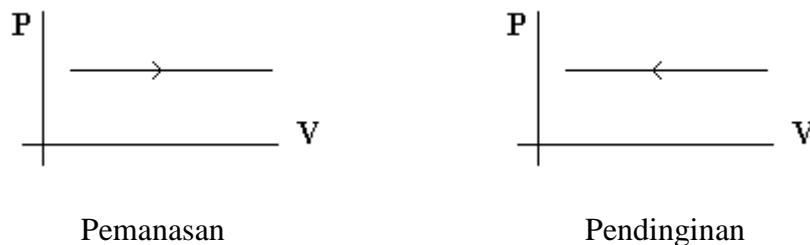
sebelum dipanaskan sesudah dipanaskan

Gambar 4.6 Proses isobarik

Dengan demikian pada proses ini berlaku persamaan Boyle-GayLussac

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Jika grafik ini digambarkan dalam hubungan P dan V maka dapat grafik sebagai berikut :



Gambar 47 Grafik Proses isobarik

Usaha luar yang dilakukan adalah : $W = p (V_2 - V_1)$. karena itu hukum I termodinamika dapat dinyatakan :

$$\Delta Q = \Delta U + p (V_2 - V_1)$$

Panas yang diperlukan untuk meningkatkan suhu gas pada tekanan tetap dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$\Delta Q = m c_p (T_2 - T_1) \quad \dots\dots\dots(4.30)$$

Pertambahan energi dalam gas dapat pula dinyatakan dengan persamaan :

$$\Delta U = m c_v (T_2 - T_1) \quad \dots\dots\dots(4.31)$$

Karena itu pula maka usaha yang dilakukan pada proses isobarik dapat pula dinyatakan dengan persamaan :

$$\Delta W = \Delta Q - \Delta U = m (c_p - c_v) (T_2 - T_1) \quad \dots\dots\dots(4.32)$$

m = massa gas

c_p = kalor jenis gas pada tekanan tetap

c_v = kalor jenis pada volume tetap.

LATIHAN SOAL

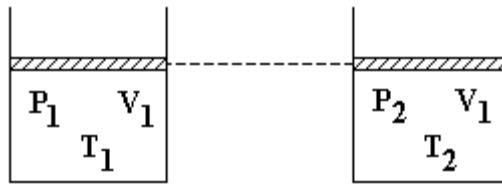
1. Satu gram air (1 cc) berubah menjadi 1,671 cc uap bila dididihkan pada tekanan 1 atm. Panas penguapan pada tekanan ini adalah 539 kal/gram. Hitunglah usaha luar pada penembakan energi dalam.
2. 1 liter air massanya 1 kg mendidih pada suhu 100°C dengan tekanan $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$ diubah menjadi uap pada suhu 100°C dan tekanan $1,013 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Pada keadaan ini volume uap air adalah 1,674 liter. Carilah usaha luar yang dilakukan dan dihitung penambahan energi dalam. Panas penguapan air $2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$.
3. Gas Nitrogen yang massanya 5 kg suhunya dinaikkan dari 10°C menjadi 130°C pada tekanan tetap. Tentukanlah :
 - a. Panas yang ditambahkan
 - b. Penambahan energi dalam
 - c. Usaha luar yang dilakukan.
4. Satu mol karbon monoksida dipanaskan dari 15°C menjadi 16°C pada tekanan tetap. Bila massa molekul karbon monoksida adalah 28,01 gram/mol $c_p = 1,038 \times 10^3 \text{ J/kg}^{\circ}\text{K}$ dan $\gamma = 1,4$
Tentukanlah :
 - a. Penambahan energi dalam.
 - b. Usah luar yang dilakukan.

Kunci Jawaban.

1. $W = 0,0671 \text{ J}; \quad \Delta U = 2389,7329 \text{ J}$
2. $W = 68,3 \text{ J}; \quad \Delta U = 2,259932 \times 10^6 \text{ J}$
3. a) $Q = 6,23775 \times 10^5 \text{ J}$
b) $\Delta U = 4,45554 \times 10^5 \text{ J}$
c) $W = 1,78221 \times 10^5 \text{ J}$
4. a) $\Delta U = 20,767 \text{ J}$
b) $W = 9,0668 \text{ J}$

2. Hukum I Termodinamika untuk Proses Isokhorik (Isovolumik)

Pada proses ini volume Sistem konstan. (lihat gambar)



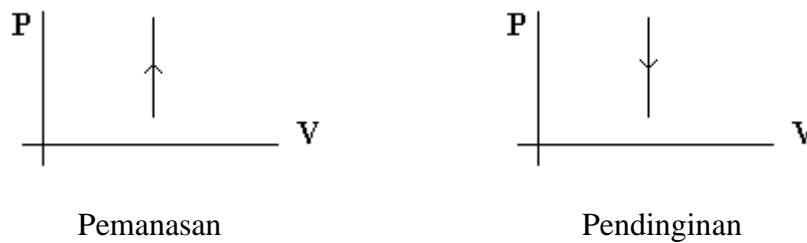
Sebelum dipanaskan. Sesudah dipanaskan.

Gambar 4.8 Proses isokorik

Dengan demikian dalam proses ini berlaku Hukum Boyle-Gay Lussac dalam bentuk :

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2}$$

Jika digambarkan dalam grafik hubungan P dan V maka grafiknya sebagai berikut :



Gambar 4.9 Grafik proses Isokorik

Karena $\Delta V = 0$ maka $W = p \cdot \Delta V$

$W = 0$ (tidak ada usaha luar selama proses)

$$\Delta Q = U_2 - U_1$$

Kalor yang diserap oleh sistem hanya dipakai untuk menambah energi dalam (ΔU)

$$\Delta Q = \Delta U$$

$$\Delta U = m \cdot c_v (T_2 - T_1) \quad \dots\dots\dots(4.33)$$

LATIHAN SOAL

1. Temperatur 5 kg gas Nitrogen dinaikkan dari 10^0 C menjadi 130^0 C pada volume tetap. Bila $c_v = 7,41 \times 10^2$ J/kg 0 K , $c_p = 1,04 \times 10^3$ J/kg 0 K, carilah :
 - a. Usaha luar yang dilakukan.
 - b. Penambahan energi dalam.
 - c. Panas Yang ditambahkan.
2. Suatu gas yang massanya 3 kg dinaikkan suhunya dari -20^0 C menjadi 80^0 C melalui proses isokhorik. Hitunglah penambahan energi dalam gas tersebut, bila diketahui $c_p = 248$ J/kg 0 K, $c_v = 149$ J/kg 0 K

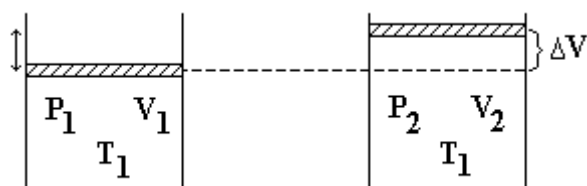
3. Satu mol karbon monoksida dipanaskan dari 15°C menjadi 16°C pada volume tetap. Massa molekulnya $28,01\text{ gram/mol}$. $c_p = 1,03 \times 10^3\text{ J/kg}\cdot^{\circ}\text{K}$ dan $\gamma = 1,40$. Hitunglah penambahan energi dalam.
4. Gas Ideal sebanyak 2 mol dengan tekanan 4 atmosfer volumenya sebesar $8,2\text{ liter}$. Gas ini mengalami proses isokhorik sehingga tekanannya menjadi 8 atmosfer . Bila diketahui : $c_v = 3\text{ kal/mol}\cdot^{\circ}\text{C}$ dan $R = 0,08207\text{ liter}\cdot\text{atm/mol}\cdot^{\circ}\text{C}$; tentukanlah :
 - a. Usaha yang dilakukan.
 - b. Panas yang ditambahkan.

Kunci Jawaban

1. a) $W = 0$
 b) $\Delta U = 444.600\text{ J}$
 c) $Q = 444.600\text{ J}$
2. $\Delta U = 44.700\text{ J}$
3. $\Delta U = 20,61\text{ J}$
4. a) $W = 0$
 b) $Q = 1198,98\text{ kalori}$

3. Hukum I termodinamika untuk proses Isothermik.

Selama proses suhunya konstan.(lihat gambar)



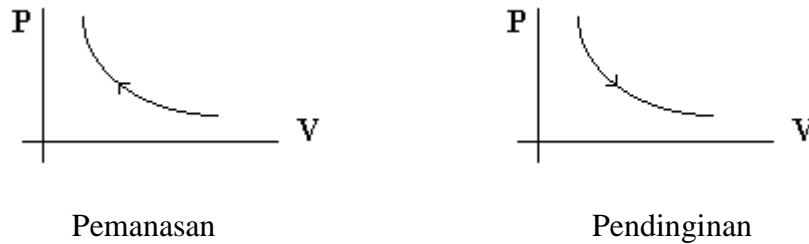
Sebelum dipanaskan. Sesudah dipanaskan.

Gambar 4.10 Proses isothermik

Oleh karena suhunya tetap, maka berlaku Hukum BOYLE.

$$P_1 V_2 = P_2 V_2$$

Jika digambarkan grafik hubungan P dan V maka grafiknya berupa :



Gambar 4.11 Grafik proses isotermik

Karena suhunya konstan $T_2 = T_1$ maka :

$$\begin{aligned} \Delta U &= U_2 - U_1 \\ &= \frac{3}{2} n R T_2 - \frac{3}{2} n R T_1 = 0 \quad (\text{Usaha dalamnya nol}) \end{aligned}$$

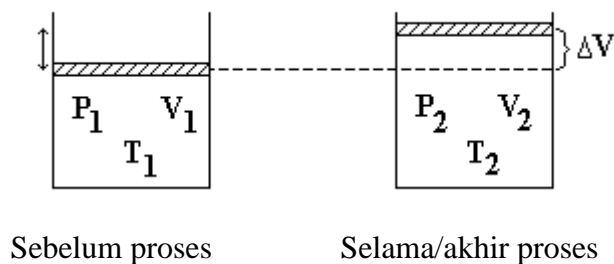
Kalor yang diserap sistem hanya dipakai untuk usaha luar saja.

$$\begin{aligned} W &= P_1 V_1 \left(\ln \frac{V_2}{V_1} \right) = P_2 V_2 \left(\ln \frac{V_2}{V_1} \right) \\ W &= P_1 V_1 \left(\ln \frac{P_1}{P_2} \right) = P_2 V_2 \left(\ln \frac{P_1}{P_2} \right) \\ W &= n R T_1 \left(\ln \frac{V_2}{V_1} \right) = n R T_2 \left(\ln \frac{V_2}{V_1} \right) \\ W &= n R T_1 \left(\ln \frac{P_1}{P_2} \right) = n R T_2 \left(\ln \frac{P_1}{P_2} \right) \quad \dots\dots\dots(4.34) \end{aligned}$$

$$\ln x = 2,303 \log x$$

4. Hukum I Termodinamika untuk proses Adiabatik.

Selama proses tak ada panas yang masuk / keluar sistem jadi $Q = 0$
(lihat gambar)

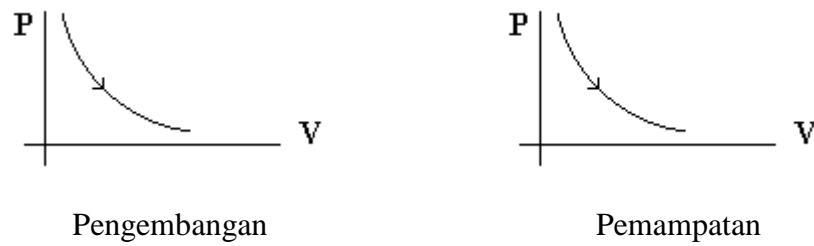


Gambar 4.12 Proses adiabatik

oleh karena tidak ada panas yang masuk / keluar sistem maka berlaku Hukum Boyle-Gay Lussac

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

Jika digambarkan dalam grafik hubungan P dan V maka berupa :



Gambar 4.13 Grafik proses adiabatik

Karena $\Delta Q = 0$ maka $0 = \Delta U + \Delta W$

$$U_2 - U_1 = -\Delta W$$

Bila ΔW negatif ($-W =$ sistem ditekan) usaha dalam sistem (ΔU) bertambah. Sedangkan hubungan antara suhu mutlak dan volume gas pada proses adiabatik, dapat dinyatakan dengan persamaan :

$$T \cdot V^{\gamma-1} = \text{konstan} \quad \text{atau} \quad T_1 \cdot V_1^{\gamma-1} = T_2 \cdot V_2^{\gamma-1}$$

Usaha yang dilakukan pada proses adiabatik adalah :

$$W = m \cdot c_v (T_1 - T_2) \quad \text{atau} \quad W = \frac{P_1 \cdot V_1}{1 - \gamma} (V_2^{\gamma-1} - V_1^{\gamma-1}) \dots\dots\dots(4.35)$$

Juga berlaku persamaan : $P_1 \cdot V_1^\gamma = P_2 \cdot V_2^\gamma$

LATIHAN SOAL.

1. Perbandingan kompresi sebuah mesin disel $\frac{V_1}{V_2}$ kira-kira 156. Jika pada permulaan gerak pemampatan silindernya berisi udara sebanyak 2 mol pada tekanan 15 N/m² dan suhu 247⁰ c, hitunglah tekanan dan suhu pada akhir gerak. Andai kata udara sebagai gas ideal dan pemampatannya secara adiabatik. massa molekul udara adalah 32 gram/mol. $c_v = 650$ J/kg⁰K dan $c_p = 909$ J/kg⁰K. Hitunglah usaha luar yang dilakukan.
2. Suatu volume gas Nitrogen sebesar 22,4 liter pada tekanan 10⁵ N/m² dan suhu 0⁰ C dimampatkan secara adiabatik sehingga volumenya menjadi 1/10 volume mula-mula. Carilah :
 - a. Tekanan akhirnya.
 - b. Suhu akhirnya.
 - c. Usaha luar yang dilakukan.

Diketahui pula bahwa $M_r = 28 \text{ gram/mol}$ $\gamma = 1,4$ $c_v = 741 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$.

3. Lima molekul gas Neon pada tekanan $2 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ dan suhu 27°C dimampatkan secara adiabatik sehingga volumenya menjadi $1/3$ dari volume mula-mula. Bila $\gamma = 1,67$
 $c_p = 1,03 \times 10^3 \text{ J/kg}^\circ\text{K}$ $M_r = 20,2 \text{ gram/mol}$. Tentukan :
 - a. Tekanan akhir pada proses ini.
 - b. Temperatur akhir.
 - c. Usaha luar yang dilakukan.
4. Suatu gas ideal dengan $\gamma = 1,5$ dimampatkan secara adiabatik sehingga volumenya menjadi $\frac{1}{2}$ kali dari volume mula-mula. Bila pada awal proses tekanan gas 1 atm , tentukanlah tekanan gas pada akhir proses.
5. Gas oksigen dengan tekanan 76 cm Hg dimampatkan secara adiabatik sehingga volumenya menjadi $\frac{2}{3}$ volume mula-mula. Bila gas Oksigen adalah gas diatomik dan $R = 8,317 \text{ J/mol}^\circ\text{K}$; Tentukanlah tekanan akhir gas tersebut.

Hukum I Termodinamika

Untuk Proses Adiabatik.

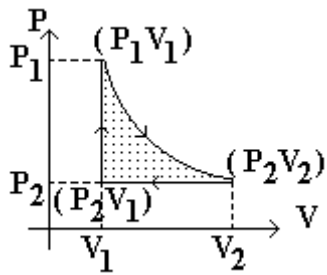
1. 663 N/m^2 ; 1.262°C ; $-4,2 \times 10^4 \text{ Joule}$
2. $2,5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$; 686°K ;
 $8,57 \times 10^3 \text{ Joule}$
3. $1,25 \times 10^6 \text{ N/m}^2$; 626°K ;
 $2,02 \times 10^4 \text{ Joule}$
4. 3 atm
5. $134,07 \text{ cmHg}$

D.4 Penerapan Hukum I Termodinamika

D.4.1 Pengertian Siklus

Suatu pesawat yang dapat mengubah seluruh kalor yang diserapnya menjadi usaha secara terus menerus belum pernah kita jumpai. yang ada hanya pengubahan kalor menjadi usaha melalui satu tahap saja. Misalnya : proses isothermis.

Agar sistem ini dapat bekerja terus-menerus dan hasilnya ada kalor yang diubah menjadi usaha, maka harus ditempuh cara-cara tertentu. Perhatikan gambar di bawah ini.



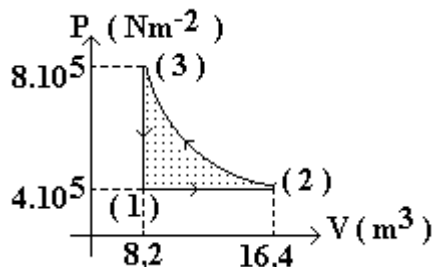
- Mulai dari (P_1, V_1) gas mengalami proses isothermis sampai (P_2, V_2) .
- Kemudian proses isobarik mengubah sistem dari (P_2, V_2) sampai (P_2, V_1) .
- Proses isobarik membuat sistem kembali ke (P_1, V_1) .

Gambar 4.14 Siklus

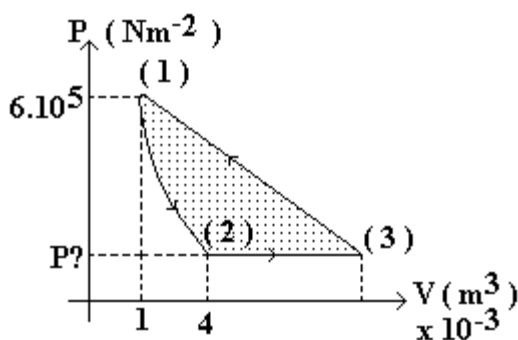
Usaha yang dilakukan sama dengan luas bagian gambar yang diarsir proses seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas disebut : SIKLUS. Pada akhir proses sistem kembali ke keadaan semula. Ini berarti pada akhir siklus energi dalam sistem sama dengan energi dalam semula. Jadi untuk melakukan usaha secara terus menerus, suatu siklus harus melakukan usaha secara terus menerus, suatu siklus harus bekerja dalam suatu siklus.

LATIHAN SOAL.

1. Gas sebanyak 2mol dengan $c_v = 12,6 \text{ J/mol } ^0\text{K}$ menjalani garis tertutup (1), (2) dan (3). Proses 2-3 berupa pemampatan isotermik. Hitunglah untuk tiap-tiap bagian garis tertutup itu :



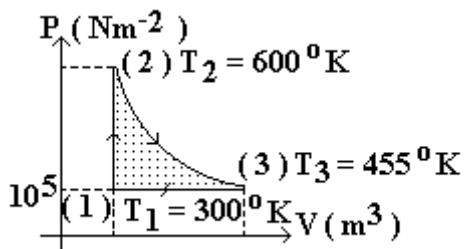
- a. Usaha oleh gas.
 - b. Panas yang ditambahkan pada gas.
 - c. Perubahan energi dalamnya.
2. Pada suatu prose tertentu diberikan panas sebanyak 500 kalori ke sistem yang bersangkutan dan pada waktu yang bersamaan dilakukan pula usaha mekanik sebesar 100 joule terhadap sistem tersebut. Berapakah tambahan energi dalamnya ?



isotermik dan yang lain adiabatik. $\gamma = 1,5$

3. Diagram di bawah ini menunjukkan tiga proses untuk suatu gas ideal, di titik 1 suhunya $600 \text{ } ^0\text{K}$ dan tekanannya $16 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$ sedangkan volumenya 10^{-3} m^3 . Dititik 2 volumenya $4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ dari proses 1-2 dan 1-3 salah satu berupa proses

- a. Diantara proses 1-2 dan 1-3 yang manakah proses isotermik dan mana adiabatik ?
Bagaimana kita dapat mengetahui ?
- b. Hitung tekanan di titik 2 dan 3
- c. Hitung suhu di titik 2 dan 3
- d. Hitung volumenya di titik 3 pada proses itu.
4. Pada permulaan 2 mol zat asam (gas diatomik) suhunya 27°C dan volumenya $0,02\text{ m}^3$. Gas disuruh mengembang secara isobaris sehingga volumenya menjadi dua kali lipat kemudian secara adiabatik hingga suhunya mencapai harga yang seperti permulaan lagi. $R = 8,317\text{ J/mol}^{\circ}\text{K}$. Tentukanlah :
- Berapakah banyaknya energi dalam totalnya ?
 - Berapakah banyaknya panas yang ditambahkan ?
 - Berapakah usaha yang dilakukan ?
 - Berapakah volume pada akhir proses ?
5. Sebuah mesin pemanas menggerakkan gas ideal monoatomik sebanyak 0,1 mol menurut garis tertutup dalam diagram P-V pada gambar di bawah ini. Proses 2-3 adalah proses adiabatik.



- Tentukanlah suhu dan tekanan pada titik 1, 2 dan 3.
- Tentukanlah usaha total yang dilakukan gas.

Kunci Jawaban

- $W_{1-2} = 3,28 \times 10^6\text{ joule}$
 $W_{2-3} = -1,97 \times 10^6\text{ joule}$
 $W_{3-1} = 0$
 - $Q_{1-2} = 8,23 \times 10^6\text{ joule}$
 $Q_{2-3} = 0$
 $Q_{3-1} = 4,96 \times 10^6\text{ joule}$
 - $U_{1-2} = 4,96 \times 10^6\text{ joule}$
 $U_{2-3} = 0$
 $U_{3-1} = 4,96 \times 10^6\text{ joule}$

2. 2×10^3 joule
3. a) 1-2 Proses adiabatik dan 1-3 proses isothermik. Kurva adiabatik lebih curam dari pada kurva isothermik.
- b) $P_2 = P_3 = 2 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$
- c) $T_2 = T_1 = 600^\circ \text{ K}$
- d) $V_3 = 8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
4. a) 0 b) $1,7 \times 10^4$ joule
- c) $1,7 \times 10^4$ joule
- d) $0,23 \text{ m}^3$
5. a) $T_1 = 300^\circ \text{ K}; P_1 = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$
 $T_2 = 600^\circ \text{ K}; P_2 = 2 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$
 $T_3 = 455^\circ \text{ K}; P_3 = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$
- b) 52,34 Joule.

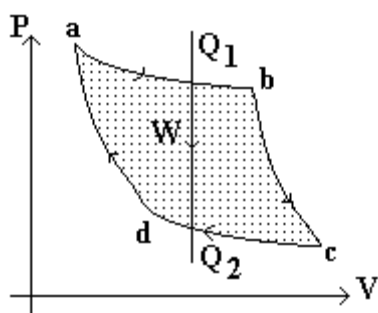
D.4.2 Efisiensi Mesin.

Mengubah tenaga panas menjadi tenaga mekanik pertama-tama selalu memerlukan sebuah mesin, misalnya : mesin uap, mesin bakar atau mesin diesel. Pengalaman-pengalaman dengan mesin-mesin yang terdapat dalam praktek membawa kita kepada hukum Termodinamika II yang ringkasnya sebagai berikut :

“ Adalah Tidak Mungkin Dapat Suatu Mesin Yang Bekerja Dalam Lingkaran Yang Tidak Menimbulkan Efek Lain Selain Daripada Mengambil Panas Dari Suatu Sumber Dan Merubah Panas Ini Seluruhnya Menjadi Usaha “.

D.4.2.1 Siklus Carnot Dan Efisiensinya.

Siklus carnot yang disebut siklus ideal ditunjukkan pada gambar di bawah ini.



Siklus Carnot dibatasi oleh garis lengkung isotherm dan dua garis lengkung adiabatik. Hal ini memungkinkan seluruh panas yang diserap (input panas) diberikan pada satu suhu panas yang tinggi dan seluruh panas yang dibuang (panas output) dikeluarkan pada satu suhu rendah.

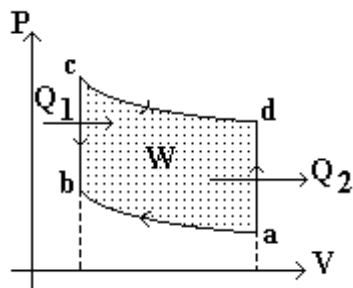
- Kurva ab dan cd masing-masing adalah kurva pengembangan dan pemampatan isoteremis.

Gambar 4.15 Siklus Carnot

- Kurva bc dan da masing-masing adalah kurva pengembangan dan pemampatan adiabatik. Untuk bahan perbandingan, ditunjukkan beberapa siklus untuk berbagai jenis mesin.

D.4.2.2 Siklus Mesin Bakar.

Siklus mesin bakar atau lebih umum disebut siklus Otto di tunjukkan pada gambar di bawah ini.

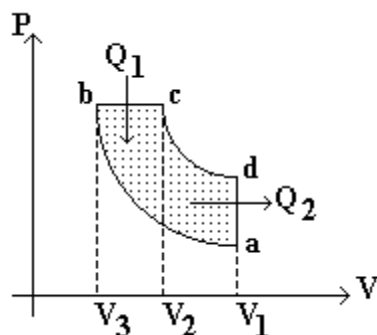


Gambar 4.16 Siklus Mesin Bakar

Siklus Otto dibatasi oleh dua garis lengkung adiabatik dan dua garis lurus isokhorik. Dimulai dari titik a, maka :

- Kurva ab dan cd masing-masing adalah kurva pemampatan dan pengembangan adiabatik.
- Garis lurus bc dan da masing-masing adalah garis lurus untuk pemanasan dan pendinginan isokhorik.

D.4.2.3 Siklus Mesin Diesel



Gambar 4.17 Siklus Mesin Diesel

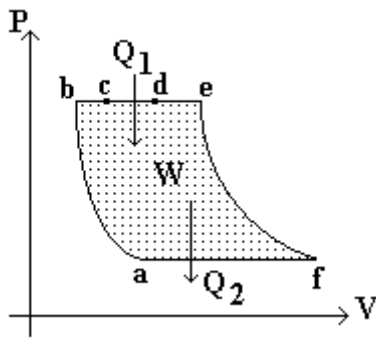
Siklus untuk mesin diesel ditunjukkan pada gambar di atas ini. Siklus pada mesin diesel dibatasi oleh dua garis lengkung adiabatik dan satu garis lurus isobarik serta satu garis lurus isokhorik.

Dimulai dari titik a, maka :

- Kurva ab dan cd masing-masing adalah kurva pemampatan dan pengembangan adiabatik.
- Garis lurus bc adalah garis lurus pemanasan isobarik.
- Garis lurus cd adalah garis lurus pendinginan isokhorik..

D.4.2.4 Siklus Mesin Uap

Siklus mesin uap yang juga disebut siklus Rankine ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Siklus ini dibatasi oleh dua garis lengkung adiabatik dan dua garis lurus isokhorik. hanya saja pada mesin uap ini terdapat proses penguapan dan pengembunan.



Mula-mula air dalam keadaan cair dengan suhu dan tekanan rendah di titik a.

- kurva ab adalah kurva pemampatan secara adiabatik dengan tekanan yang sama dengan tekanan di dalam periuk pendingin.
- garis cd adalah proses perubahan air menjadi uap.
- Garis de adalah prosers pemanasan sehingga suhu uap sangat tinggi.

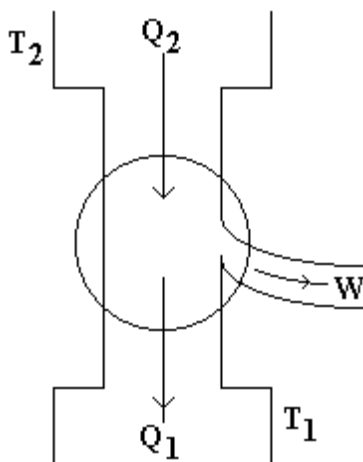
Gambar 4.18 Siklus Mesin Uap

- Kurva ef adalah proses pengembangan secara adiabatik.
- garis fa adalah proses pengembunan sehingga kembali ke keadaan awalnya.

D.5 Hukum II Termodinamika

D.5.1 Effisiensi (daya guna mesin)

Dalam hukum II Termodinamika akan dibahas perubahan kalor menjadi energi mekanik melalui sebuah mesin, dan ternyata belum ada sebuah mesinpun yang dapat mengubah sejumlah kalor menjadi energi mekanik seluruhnya.



Sebuah mesin diberi energi berupa kalor Q_1 pada suhu tinggi T_1 , sehingga mesin melakukan usaha mekanik W . Energi yang dibuang berupa kalor Q_2 pada suhu T_2 , maka effisiensi mesin adalah :

$$\eta = \frac{\text{Energi yang bermanfaat}}{\text{Energi yang dimasukkan}}$$

$$\eta = \frac{W}{Q_2} = \frac{Q_2 - Q_1}{Q_2}$$

$$\eta = \left(1 - \frac{Q_1}{Q_2} \right) \times 100\% \quad \dots\dots\dots(4.36)$$

Gambar 4.19 proses di reservoir Mesin

Menurut Carnot untuk effisiensi mesin carnot berlaku pula :

$$\eta = \left(1 - \frac{T_1}{T_2} \right) \times 100\%$$

Sebenarnya tidak ada mesin yang mempunyai effisiensi 100 % dan dalam praktek effisiensi mesin kurang dari 50 %.

LATIHAN SOAL

1. Sebuah mesin Carnot yang reservoir suhu tingginya pada $127\text{ }^{\circ}\text{C}$ menyerap 100 kalori dalam tiap-tiap siklus pada suhu ini dan mengeluarkan 80 kalori ke reservoir suhu rendah. Tentukanlah suhu reservoir terakhir ini.
2. Berapakah efisiensi suatu mesin yang menerima 200 kalori dari sebuah reservoir bersuhu $400\text{ }^{\circ}\text{K}$ dan melepaskan 175 kalori ke sebuah reservoir lain yang bersuhu $320\text{ }^{\circ}\text{K}$. Jika mesin tersebut merupakan mesin Carnot berapakah effisiensinya.
3. Hitunglah efisiensi ideal dari suatu mesin Carnot yang bekerja antara $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.
4. Sebuah mesin Carnot yang menggunakan reservoir suhu rendah pada $7\text{ }^{\circ}\text{C}$, daya gunanya 40 %. Kemudian daya gunanya diperbesar 50 %. Berapakah reservoir suhu tingginya harus dinaikkan.
5. Mesin Carnot bekerja di antara dua reservoir panas yang bersuhu $400\text{ }^{\circ}\text{K}$ dan $300\text{ }^{\circ}\text{K}$. Jika dalam tiap siklus, mesin menyerap panas sebanyak 1.200 kalori dari reservoir yang bersuhu $400\text{ }^{\circ}\text{K}$, maka berapakah panas yang dikeluarkan ke reservoir yang bersuhu $300\text{ }^{\circ}\text{K}$.

Kunci Jawaban

1. 470 c
2. 12,5 %; 20 %
3. 44,6 %
4. 93,1 %
5. 900 kalori

D.5.2 Perumusan Kelvin-Plank

Pada dasarnya perumusan antara Kelvin dan Plank mengenai suatu hal yang sama, sehingga perumusan keduanya dapat digabungkan dan sering disebut : Perumusan Kelvin-Plank Tentang Hukum Ii Termodinamika.

Perumusan Kelvin-Plank secara sederhana dapat dinyatakan sebagai berikut :

*“Tidak Mungkin Membuat Pesawat Yang Kerjanya
Semata-Mata Menyerap Kalor Dari Sebuah Reservoir
Dan Mengubahnya Menjadi Usaha”*

Sebagai contoh marilah kita perhatikan proses yang sebenarnya terjadi pada motor bakar dan motor bensin.

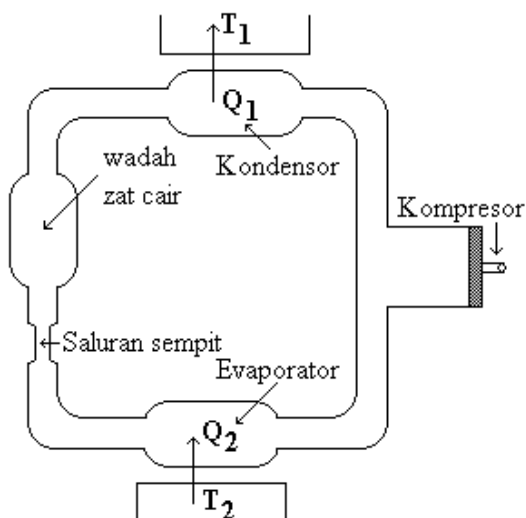
- Mula-mula campuran uap bensin dan udara dimasukkan ke dalam silinder dengan cara menarik penghisap.
- Kemudian penghisap ditekan, dengan demikian campuran tadi dimampatkan sehingga temperatur dan tekanannya naik.
- Campuran tadi kemudian dibakar dengan loncatan bunga api listrik. Proses pembakaran ini menghasilkan campuran dengan temperatur dan tekanan yang sangat tinggi, sehingga volume campuran tetap (proses isokhorik)
- Hasil pembakaran tadi mengembang, mendorong penghisap, sedangkan tekanan dan temperaturnya turun, tetapi masih lebih tinggi dari tekanan dan temperatur di luar.
- Katub terbuka, sehingga sebagian campuran itu ada yang keluar sedangkan penghisap masih tetap ditempatnya.
- Akhirnya penghisap mendorong hampir seluruhnya campuran hasil pembakaran itu keluar.

D.5.3 Perumusan Clausius.

Perumusan Clausius tentang hukum II Termodinamika secara sederhana dapat diungkapkan sebagai berikut :

“Tidak Mungkin Membuat Pesawat Yang Kerjanya Hanya Menyerap Dari Reservoir Bertemperatur Rendah Dan Memindahkan Kalor Itu Ke Reservoir Yang Bersuhu Tinggi, Tanpa Disertai Perubahan Lain.

Sebagai contoh marilah kita lihat proses pada lemari pendingin (lemari es) yang bagannya pada gambar di bawah ini.



Gambar 4.20 Skema mesin pendingin

- Zat cair di dalam wadahnya pada tekanan tinggi harus melalui saluran yang sempit, menuju ke ruang yang lapang (Evaporator). Proses ini disebut : Proses Joule-Kelvin.
- Tiba di ruang yang lapang, temperatur dan tekanan zat cair tadi berkurang, dan zat cair juga menguap. Untuk menguap maka zat cair ini memerlukan kalor yang diserap dari reservoir T_2 (suhu reservoir dingin = suhu benda yang akan didinginkan).

- Kemudian uap pada tekanan rendah ini masuk ke dalam kompresor, dimampatkan, sehingga tekanannya dan temperaturnya naik. Temperatur uap ini lebih tinggi dari temperatur reservoir T_1 (temperatur suhu tinggi) dan $T_1 > T_2$
- Di dalam kondensor uap ini memberikan kalor pada reservoir T_1 . Sebagai reservoir T_1 dapat digunakan udara dalam kamar atau air. Zat yang sering dipakai pada pesawat pendingin adalah : Amoniak. Pada proses ini selain pemindahan kalor dari reservoir dingin T_2 ke reservoir T_1 , terjadi pula perubahan usaha menjadi kalor yang ikut dibuang di T_1 .

Daftar Pustaka

Crowell Benjamin, 2005, Newtonian Physics, Creative Commons Attribution-ShareAlike.

Dede, 2007, PPT file: Besaran Dalam Ilmu Fisika, free-ebook, dede@fisikau.ac.id

Jonifan,dkk, 2008, Fisika Mekanika, Open Course at OCW Gunadarma.

Miller, F.J.R., 1989, College Physics, McGraw-Hill.

Jati, Bambang Murdaka Eka. 2008. Fisika Dasar untuk Mahasiswa Ilmu-Ilmu Eksakta dan Teknik. Yogyakarta. ANDI

Tipler, P.A., 1991, Physics fir Scientists and Engineers, Worth Publisher.