

TEORI KINETIK GAS

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 :

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

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

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

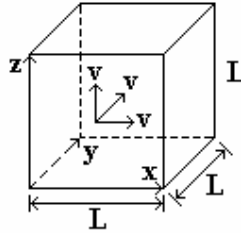
n = jumlah mol gas

N = jumlah atom

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

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 :

$$v_{\text{ras}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$$

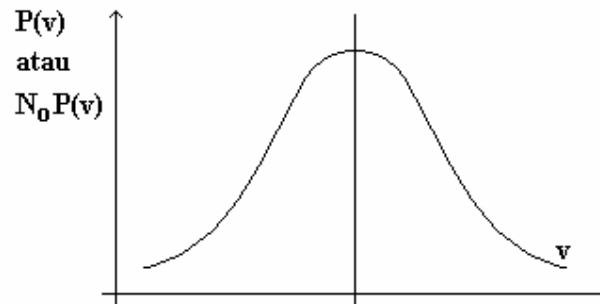
v_{ras} = kecepatan tiap-tiap atom, dalam m/det

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.

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 :

$$v_{\text{ras}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

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 :

$$v_{ras1} : v_{ras2} = \sqrt{\frac{1}{M_1}} : \sqrt{\frac{1}{M_2}}$$

v_{ras1} = kecepatan molekul gas 1

v_{ras2} = 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 :

$$v_{ras1} : v_{ras2} = \sqrt{T_1} : \sqrt{T_2}$$

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 $+v_{ras}$ menjadi $-v_{ras}$. Jadi partikel mengalami perubahan momentum $m(-v_{ras}) - m(+v_{ras}) = -2m v_{ras}$

Sebaliknya partikel memberikan momentum sebesar $+2m v_{ras}$ 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 2 L.

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

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 :

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

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 :

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

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

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

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 :

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

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

TEMPERATUR

PERSAMAAN GAS IDEAL.

Gas di dalam suatu ruang akan mengisi sepenuhnya ruang tersebut, sehingga volume ruang itu sama dengan volume gas. Menurut Boyle : $P \cdot V = \text{konstanta}$, sedang menurut Gay-Lussac

$$V = K' (273^0 + t)$$

Gabungan dari Boyle dan Gay-lussac diperoleh :

$$P \cdot V = K' (273^0 + t)$$

Persamaan Keadaan Gas Ideal.

Rumus tersebut dapat ditulis sebagai :

$$P \cdot V = K' \cdot T \quad \text{atau} \quad P \cdot V = N \cdot k \cdot T$$

T = Suhu mutlak

N = Banyaknya partikel gas

k = Konstanta Boltzman = $1,38 \times 10^{-23}$ joule/⁰K

HUBUNGAN ANTARA TEMPERATUR DENGAN GERAK PARTIKEL.

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

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

$$P.V = n.R.T$$

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

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

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

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

$$Ek = \frac{3}{2} k.T$$

Ek = Energi kinetik partikel.

HUKUM I TERMODINAMIKA.

KALOR JENIS GAS.

Suhu suatu gas dapat dinaikkan dalam kondisi yang bermacam-macam. Volumennya dikonstantkan, tekanannya dikonstantkan 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.
- 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 (universal) yaitu : $R = 8,317 \text{ J/mol } ^0\text{K}$.

$$c_p - c_v = R$$

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, sebagai berikut:

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 :

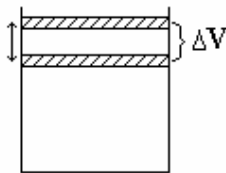
$$C_P = \frac{7}{2}R \quad C_V = \frac{5}{2}R \quad \gamma = \frac{C_P}{C_V} = 1,4$$

γ = konstanta Laplace.

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 :

$$W = p \cdot \Delta V$$

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 : $U = \frac{3}{2}n \cdot R \cdot T$

HUKUM I TERMODINAMIKA.

Dalam suatu sistem yang mendapat panas sebanyak ΔQ akan terdapat perubahan energi dalam (ΔU) dan melakukan usaha luar (ΔW).

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta W$$

ΔQ = kalor yang masuk/keluar sistem

ΔU = perubahan energi dalam

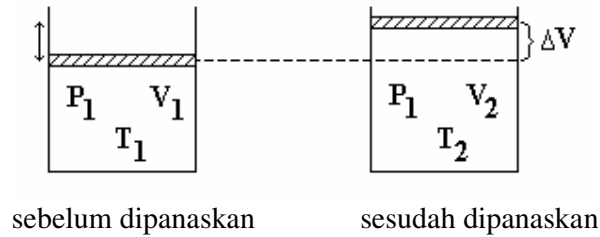
ΔW = Usaha luar.

PROSES - PROSES PADA HUKUM TERMODINAMIKA I.

1. *Hukum I termodinamika untuk Proses Isobarik.*

Pada proses ini gas dipanaskan dengan tekanan tetap.

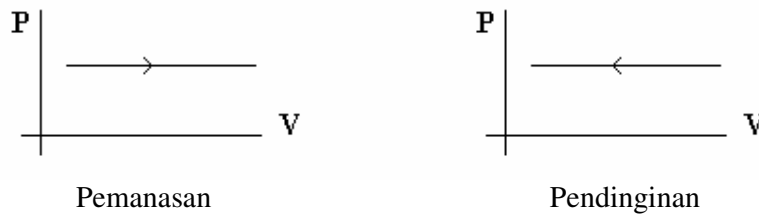
(lihat gambar).



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 :



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 :

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

Pertambahan energi dalam gas dapat pula dinyatakan dengan persamaan :

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

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

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

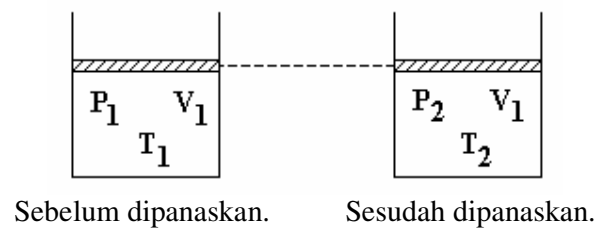
m = massa gas

c_p = kalor jenis gas pada tekanan tetap

c_v = kalor jenis pada volume tetap.

2. Hukum I Termodinamika untuk Proses Isokhorik (Isovolumik)

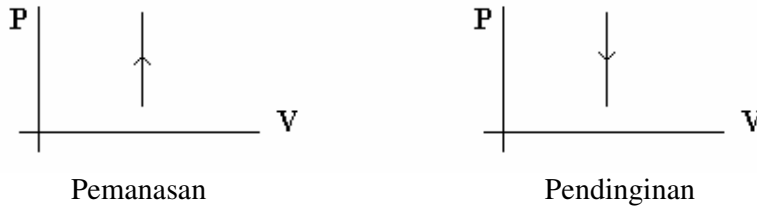
Pada proses ini volume Sistem konstan. (lihat gambar)



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 :



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)

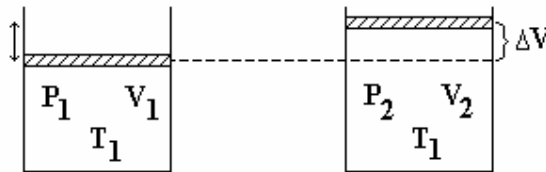
$$\Delta Q = \Delta U$$

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

3. Hukum I termodinamika untuk proses Isothermik.

Selama proses suhunya konstan.

(lihat gambar)

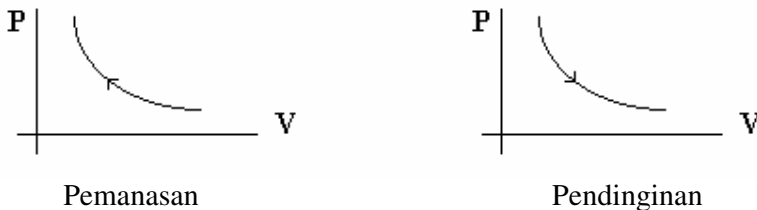


Sebelum dipanaskan. Sesudah dipanaskan.

Oleh karena suhunya tetap, maka berlaku Hukum BOYLE.

$$P_1 V_1 = P_2 V_2$$

Jika digambarkan grafik hubungan P dan V maka grafiknya berupa :



Karena suhunya konstan $T_2 = T_1$ maka :

$$\Delta U = U_2 - U_1$$

$$= \frac{3}{2} n R T_2 - \frac{3}{2} n R T_1 = 0 \quad (\text{Usaha dalamnya nol})$$

Kalor yang diserap sistem hanya dipakai untuk usaha luar saja.

$$W = P_1 V_1 \left(\ln \frac{V_2}{V_1} \right) = P_2 V_2 \left(\ln \frac{V_2}{V_1} \right)$$

$$W = P_1 V_1 \left(\ln \frac{P_1}{P_2} \right) = P_2 V_2 \left(\ln \frac{P_1}{P_2} \right)$$

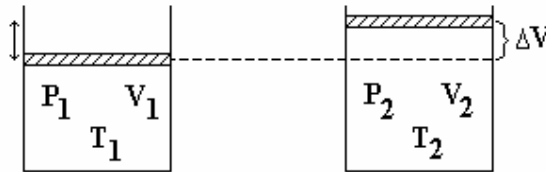
$$W = n R T_1 \left(\ln \frac{V_2}{V_1} \right) = n R T_2 \left(\ln \frac{V_2}{V_1} \right)$$

$$W = n R T_1 \left(\ln \frac{P_1}{P_2} \right) = n R T_2 \left(\ln \frac{P_1}{P_2} \right)$$

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

4. Hukum I Termodinamika untuk proses Adiabatik.

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



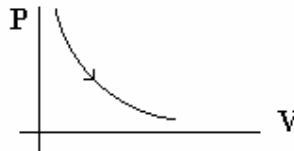
Sebelum proses

Selama/akhir proses

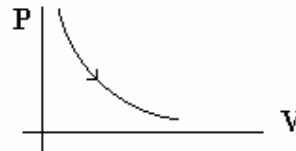
oleh karena tidak ada panas yang masuk / keluar sistem maka berlaku *Hukum Boyle-Gay Lussac*

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

Jika digambarkan dalam grafik hubungan P dan V maka berupa :



Pengembangan



Pemampatan

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 :

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

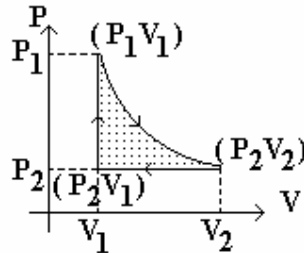
Juga berlaku persamaan : $P_1 \cdot V_1^{\gamma} = P_2 \cdot V_2^{\gamma}$

PENERAPAN HUKUM I TERMODINAMIKA.

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) .
- Akhirnya proses isobarik membuat sistem kembali ke (P_1, V_1) .

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.

EFISIENSI MESIN.

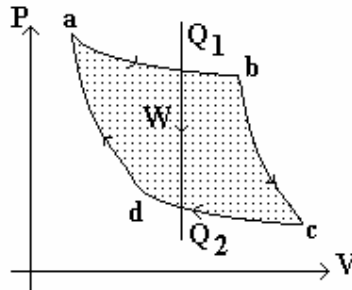
Mengubah tenaga panas menjadi tenaga mekanik pertama-tama selalu memerlukan sebuah mesin, misalnya : mesin uap, mesin bakar atau mesin diesel. Pengalaman-pengalaman dengan mesin-mesin yang terdapat dalam praktek membawa kita kepada hukum Termodinamika II yang ringkasnya sebagai berikut :

“ 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 “.

Siklus Carnot Dan Efisiensinya.

Siklus Carnot.

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



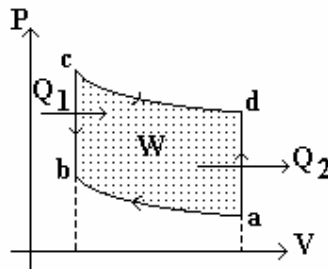
Siklus Carnot dibatasi oleh garis lengkung isotherm dan dua garis lengkung adiabatik. Hal ini memungkinkan seluruh panas yang diserap (input panas) diberikan pada satu suhu panas yang tinggi dan seluruh panas yang dibuang (panas output) dikeluarkan pada satu suhu rendah.

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

Untuk bahan perbandingan, ditunjukkan beberapa siklus untuk berbagai jenis mesin.

SIKLUS MESIN BAKAR.

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

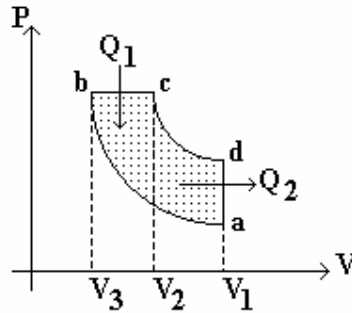


Siklus Otto dibatasi oleh dua garis lengkung adiabatik dan dua garis lurus isokhorik. Dimulai dari titik a, maka :

- 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.

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.

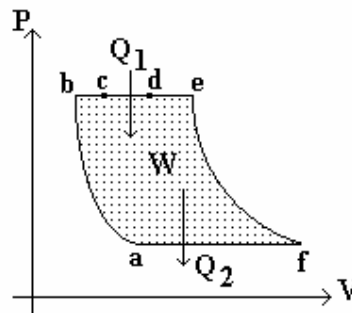


Dimulai dari titik a, maka :

- 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..

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.



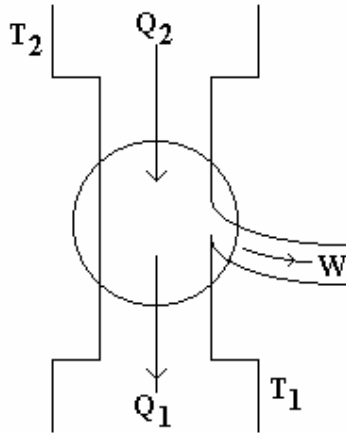
Mula-mula air dalam keadaan cair dengan suhu dan tekanan rendah di titik a.

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

HUKUM II TERMODINAMIKA.

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 efisiensi mesin adalah :

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

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

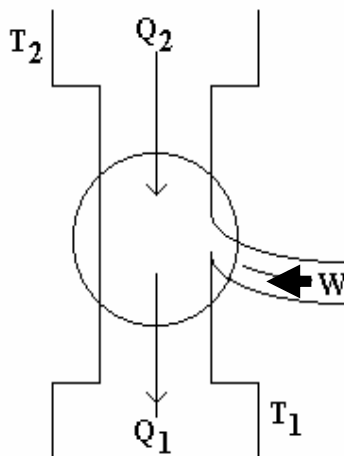
$$\eta = \left(1 - \frac{Q_1}{Q_2}\right) \times 100\%$$

Menurut Carnot untuk efisiensi mesin carnot berlaku pula :

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

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

MESIN PENDINGIN



Sebuah mesin pendingin menggunakan Kalor Q_2 untuk mengusir panas dan membuangnya ke Q_1

Angka kerja (AK) dari mesin pendingin:

$$AK = \frac{Q_2}{W} \times 100\%$$

$$AK = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \times 100\%$$

Jika Angka kerja besar, maka mesin bekerja lebih berat dan sebaliknya

PERUMUSAN KELVIN-PLANK TENTANG HUKUM II TERMODINAMIKA

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.

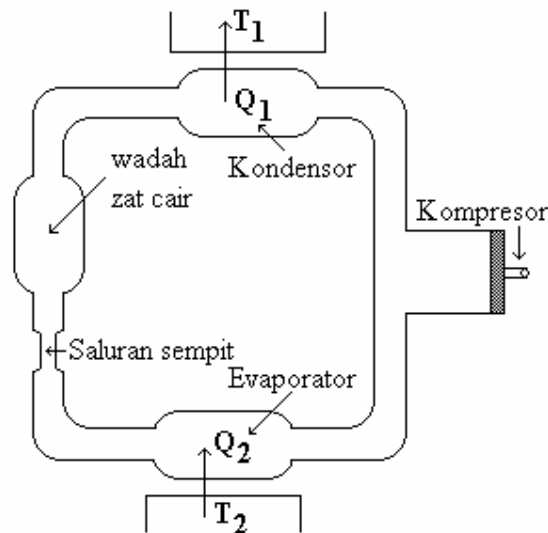
- Mula-mula campuran uap bensin dan udara dimasukkan ke dalam silinder dengan cara menarik penghisap.
- Kemudian penghisap ditekan, dengan demikian campuran tadi dimampatkan sehingga temperatur dan tekanannya naik.
- Campuran tadi kemudian dibakar dengan loncatan bunga api listrik. Proses pembakaran 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.

PERUMUSAN CLAUSIUS TENTANG HUKUM II TERMODINAMIKA.

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.



- 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 kondensator 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 .

CONTOH SOAL.

1. Jika kecepatan rata-rata molekul gas hydrogen adalah $600\sqrt{3}$ m/s pada suhu 27°C . Hitunglah tekanan gas Oksigen pada suhu 127°C (jika massa jenis gas Oksigen $1,4 \text{ Kg/m}^3$)
2. Hitunglah energi kinetik $1/6$ mol suatu gas monoatomik pada suhu 127°C jika Bilangan avogadro 6.10^{23} atom/mol Dan konstanta Boltzman $1,38.10^{-23}$ joule/atom $^\circ\text{K}$.

3.

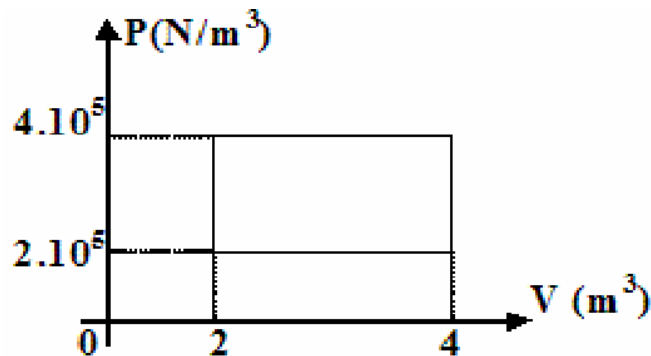


Diagram P-V di atas menunjukkan gas dalam satu siklus, hitunglah usaha total gas dan jumlah kalor yang diperlukan

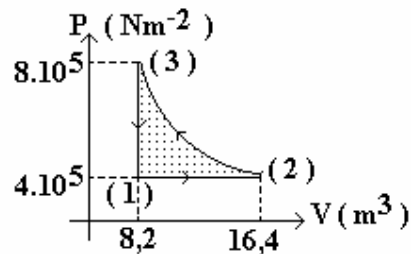
4. Gas ideal monoatomik pada tekanan 10^5 N/m^2 dan suhu 275°K mempunyai volume $2,25 \text{ m}^3$. Gas ini mula-mula mengalami proses isokhorik sampai tekanan $1,5 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$ kemudian proses isobaric sampai volumenya menjadi $4,5 \text{ m}^3$.
 - a. Buatlah diagram P-V dari proses yang dialami gas.
 - b. Hitung suhu akhir proses.
 - c. Hitung usaha total gas.
5. Sebuah mesin turbo jet reservoir pembakaran bersuhu 1727°C dan reservoir suhu rendahnya 527°C untuk menghasilkan usaha sebesar 2.10^5 J diperlukan kalor pembakaran 8.10^5 J .
 - a. Berapa efisiensi Carnot (ideal)
 - b. Effisiensi sesungguhnya dari mesin.

TUGAS

1. Tentukan volume yang ditempati oleh 4 gram Oksigen pada keadaan standart. Masa molekul Oksigen 32 gram/mol. (jawab : 2,81 liter)
2. 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. (jawab : 0,843 Kg)
3. 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 hidrogen = 2 gram/mol (jawab : 4.800 K)
4. 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 . (21 K)
5. Pada keadaan standard kecepatan rata-rata molekul oksigen adalah $1,3 \times 10^3 \text{ m/det}$. Berapakah massa jenis molekul oksigen pada kondisi ini. $g = 9,8 \text{ m/s}^2$. (jawab : $1,798 \text{ Kg/m}^3$)
6. Hitung kecepatan rata-rata molekul Hidrogen pada suhu 20°C dan tekanan 70 cm Hg bila massa jenis molekul Hidrogen pada suhu 0°C adalah $0,000089 \text{ gram/cm}^3$. $g = 9,8 \text{ m/det}^2$. (jawab : $1,9 \cdot 10^5 \text{ cm/det}$)
7. Tentukanlah energi kinetik sebuah atom gas Helium pada suhu 27°C . $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ joule/atom}^\circ \text{K}$. (Jawab : $6,21 \cdot 10^{-21} \text{ joule/atom}$)
8. Tentukan energi kinetik dari 1 gram gas Amonia pada suhu 27°C Massa molekul Amonia adalah 17 gram/mol. (jawab : 220 joule)
9. Hitunglah massa dan energi kinetik translasi dari gas Helium dengan tekanan 10^5 N/m^2 dan temperaturnya 30°C di dalam sebuah balon bervolume 100 m^3 . Massa molekul gas Helium adalah 4,003 gram/mol. (jawab : 15,9 Kg ; $1,5 \cdot 10^7 \text{ J}$)
10. Hitunglah kalor jenis gas-gas berikut ini pada volume dan tekanan tetap.
 - a. Gas Neon monoatomik, bila masa molekulnya 2,018 gram/mol (jawab : $6,2 \cdot 10^2 \text{ J/Kg K}$; $1,03 \cdot 10^2 \text{ J/Kg K}$)

- b. Gas Hidrogen diatomik, bila massa molekulnya 2,016 gram/mol
(jawab : $1,03 \cdot 10^4 \text{ J/Kg K}$; $1,44 \cdot 10^4 \text{ J/Kg K}$)
11. Hitunglah kalor jenis pada tekanan tetap dari gas Oksida zat lemas berat atom dua bila kalor jenisnya pada volume tetap adalah $6,95 \times 10^2 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{K}$ dan $\gamma = 1,4$
(jawab : $9,73 \cdot 10^2 \text{ J/Kg K}$)
12. 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 $2,26 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$.
(jawab : $W = 68,3 \text{ J}$; $\Delta U = 2,259932 \times 10^6 \text{ J}$)
13. Gas Nitrogen yang massanya 5 kg suhunya dinaikkan dari 10°C menjadi 130°C pada tekanan tetap. Tentukanlah :
- Panas yang ditambahkan (jawab : $Q = 6,23775 \times 10^5 \text{ J}$)
 - Penambahan energi dalam (jawab : $\Delta U = 4,45554 \times 10^5 \text{ J}$)
 - Usaha luar yang dilakukan. (jawab : $W = 1,78221 \times 10^5 \text{ J}$)
14. Temperatur 5 kg gas Nitrogen dinaikkan dari 10°C menjadi 130°C pada volume tetap. Bila $c_v = 7,41 \times 10^2 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{K}$, $c_p = 1,04 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{K}$, carilah :
- Usaha luar yang dilakukan. (jawab : $W = 0$)
 - Penambahan energi dalam. (jawab : $\Delta U = 444.600 \text{ J}$)
 - Panas Yang ditambahkan. (jawab : $Q = 444.600 \text{ J}$)
15. Gas Ideal sebanyak 2 mol dengan tekanan 4 atmosfer volumenya sebesar 8,2 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 :
- Usaha yang dilakukan. (jawab : $W=0$)
 - Panas yang ditambahkan. (jawab : $Q = 1198,98 \text{ kalori}$)
16. Suatu volume gas Nitrogen sebesar 22,4 liter pada tekanan 10^5 N/m^2 dan suhu 0°C dimampatkan secara adiabatik sehingga volumenya menjadi 1/10 volume mula-mula. Carilah :
- Tekanan akhirnya.
 - Suhu akhirnya. (jawab : $2,5 \times 10^6 \text{ N/m}^2$)
 - Usaha luar yang dilakukan. (jawab : 686°K)
- Diketahui pula bahwa $M_r = 28 \text{ gram/mol}$ $\gamma = 1,4$ $c_v = 741 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{K}$.
(jawab : $8,57 \times 10^3 \text{ Joule}$)
17. 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 $R = 8,317 \text{ J/mol} \cdot ^\circ\text{K}$; Tentukanlah tekanan akhir gas tersebut.
(jawab : $134,07 \text{ cmHg}$)

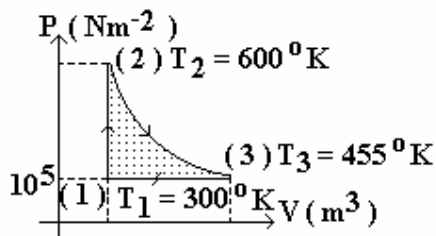
18. Volume gas pada suhu 20°C mengembang secara adiabatik sehingga volumenya menjadi 2 kali volume mula-mula. Tentukanlah temperatur akhirnya bila $\gamma=1,4$.
(jawab : 51°C)
19. Gas sebanyak 2mol dengan $c_v = 12,6 \text{ J/mol}^{\circ}\text{K}$ menjalani garis tertutup (1), (2) dan (3). Proses 2-3 berupa pemampatan isotermik. Hitunglah untuk tiap-tiap bagian garis tertutup itu :



- a. Usaha oleh gas.
(jawab : $W_{1-2} = 3,28 \times 10^6 \text{ joule}$
 $W_{2-3} = -1,97 \times 10^6 \text{ joule}$
 $W_{3-1} = 0$)
- b. Panas yang ditambahkan pada gas.
(jawab : $Q_{1-2} = 8,23 \times 10^6 \text{ joule}$
 $Q_{2-3} = 0$
 $Q_{3-1} = 4,96 \times 10^6 \text{ joule}$)
- c. Perubahan energi dalamnya.
(jawab : $U_{1-2} = 4,96 \times 10^6 \text{ joule}$
 $U_{2-3} = 0$
 $U_{3-1} = 4,96 \times 10^6 \text{ joule}$)

20. Pada suatu proses 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 ? (jawab : $2 \cdot 10^3 \text{ joule}$)

21. 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.



- a. Tentukanlah suhu dan tekanan pada titik 1,2 dan 3.
Jawab : $T_1 = 300^0 \text{ K}$; $P_1 = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$
 $T_2 = 600^0 \text{ K}$; $P_2 = 2 \times 10^5 \text{ Nm}^{-2}$
 $T_3 = 455^0 \text{ K}$; $P_3 = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$
- b. Tentukanlah usaha total yang dilakukan gas. (jawab : 52,34 Joule.)
22. Berapakah efisiensi suatu mesin yang menerima 200 kalori dari sebuah reservoir bersuhu 400^0 K dan melepaskan 175 kalori ke sebuah reservoir lain yang bersuhu 320^0 K . Jika mesin tersebut merupakan mesin carnot berapakah effisiensinya. (jawab : 12,5 %; 20 %)
23. Hitunglah efisiensi ideal dari suatu mesin Carnot yang bekerja antara 100^0 C dan 400^0 C . (jawab : 44,6 %)
24. Sebuah mesin carnot yang menggunakan reservoir suhu rendah pada 7^0 C , daya gunanya 40 %. Kemudian daya gunanya diperbesar 50 %. Berapakah reservoir suhu tingginya harus dinaikkan. (jawab : 93,1 %)
25. Mesin Carnot bekerja di antara dua reservoir panas yang bersuhu 400^0 K dan 300^0 K . Jika dalam tiap siklus, mesin menyerap panas sebanyak 1.200 kalori dari reservoir yang bersuhu 400^0 K , maka berapakah panas yang dikeluarkan ke reservoir yang bersuhu 300^0 K . (jawab : 900 kalori)

-----o0o-----