

BAB 9

TEORI KINETIK GAS DAN TERMODINAMIKA

Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari materi pada bab ini, diharapkan Anda mampu mendeskripsikan, menganalisis, dan menyelesaikan permasalahan yang terkait dengan sifat-sifat gas ideal monoatomik serta perubahan keadaan gas ideal dengan menerapkan hukum termodinamika.

Kata Kunci

- Energi Dalam
- Gas Ideal
- Entropi
- Ekipartisi
- Kapasitas Kalor
- Siklus Carnot

Pernahkah Anda bermain tenis meja? Mungkin Anda pernah menginjak bola tenis meja dan bola menjadi penyok. Jika tidak ada gantinya dan permainan ingin dilanjutkan, maka apa yang harus Anda dilakukan? Anda dapat menggunakan air panas untuk mengembalikan bola seperti semula. Caranya sederhana, Anda tinggal memasukkan bola ke dalam air panas tersebut. Sesaat setelah itu bola akan kembali ke bentuk semula dan permainan bisa dilanjutkan.

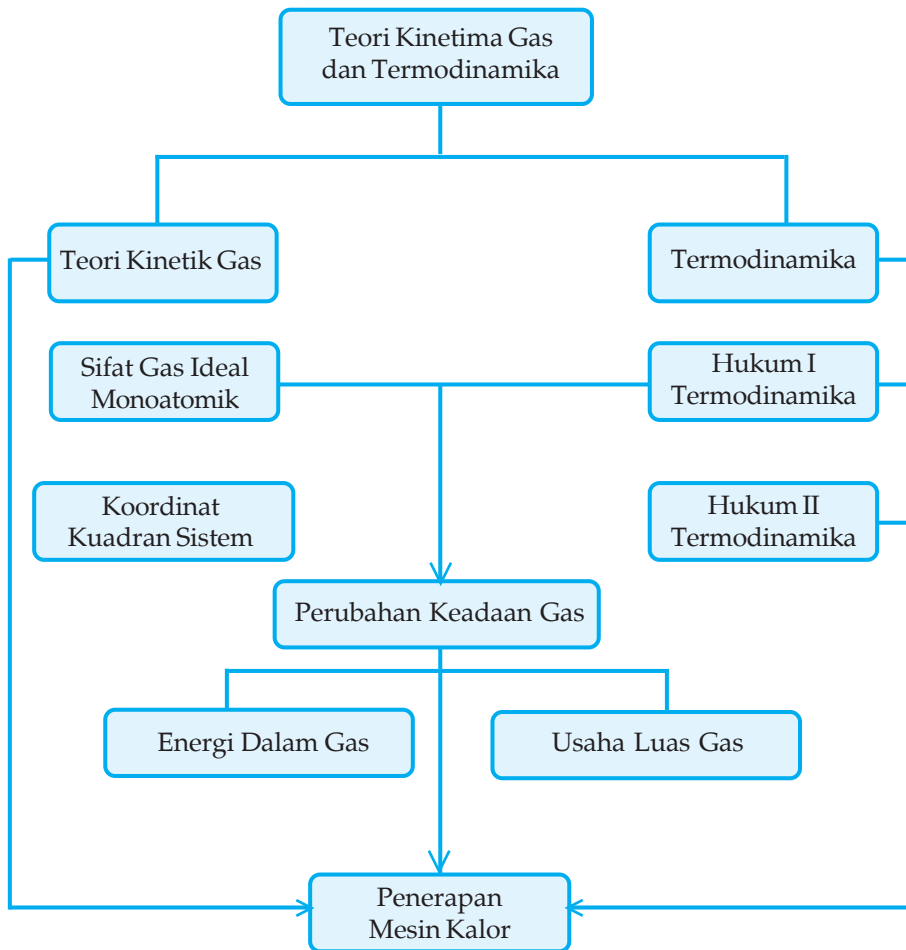
Mengapa bola bisa mengembang lagi? Apa yang terjadi dengan gas yang ada di dalam bola pada saat dipanaskan? Pada bab ini Anda akan mempelajari tentang gas ideal dan termodinamika. Gas ideal merupakan gas yang secara tepat memenuhi hukum-hukum gas. Sedangkan termodinamika merupakan cabang ilmu fisika yang mempelajari energi (terutama energi panas) dan transformasinya.



Sumber: Encarta Encyclopedia, 2006.

Gambar 9.1 Pemahaman fisika dapat dimanfaatkan untuk mengatasi masalah tentang penyoknya bola ping-pong.

Untuk mempermudah mempelajari materi pada bab ini, coba Anda perhatikan peta konsep berikut!



A. Teori Kinetik Gas

Teori kinetik gas memberikan jembatan antara tinjauan gas secara mikroskopik dan makroskopik. Hukum-hukum gas seperti hukum Boyle, Charles, dan Gay Lussac, menunjukkan hubungan antara besaran-besaran mikroskopik dari berbagai macam proses serta perumusannya. Kata kinetik berasal dari adanya anggapan bahwa molekul-molekul gas selalu bergerak.

Dalam teori kinetik gas, kita akan membahas tentang perilaku partikel-partikel gas dalam ruang yang terbatas. Partikel-partikel gas ini kita anggap sebagai sebuah bola yang selalu bergerak. Tiap-tiap partikel bergerak dengan arah sembarang dan dimungkinkan terjadi tumbukan antarmasing-masing partikel atau antara partikel dengan dinding ruang. Tumbukan yang terjadi tersebut berupa tumbukan lenting sempurna. Dengan sifat tumbukan yang demikian, maka tidak ada proses kehilangan energi yang dimiliki partikel gas pada saat terjadi tumbukan.

Gas yang tersusun atas partikel-partikel dengan perilaku seperti anggapan di atas pada kenyataannya tidak ada. Dalam bahasan teoritik, diperlukan objek gas yang sesuai dengan anggapan tersebut. Objek gas ini disebut sebagai gas ideal. Sifat-sifat gas ideal, antara lain, sebagai berikut.

1. Gas terdiri atas partikel-partikel padat kecil yang bergerak dengan kecepatan tetap dan dengan arah sembarang.
2. Masing-masing partikel bergerak dalam garis lurus, gerakan partikel hanya dipengaruhi oleh tumbukan antara masing-masing partikel atau antara partikel dan dinding. Gaya tarik-menarik antarpartikel sangat kecil sekali dan dianggap tidak ada (diabaikan).
3. Tumbukan antara masing-masing partikel atau antara partikel dengan dinding adalah tumbukan lenting sempurna.
4. Waktu terjadinya tumbukan antarpartikel atau antara partikel dengan dinding sangat singkat dan bisa diabaikan.
5. Ukuran volume partikel sangat kecil dibandingkan ukuran volume ruang tempat partikel tersebut bergerak.
6. Berlaku hukum Newton tentang gerak.

B. Persamaan Gas Ideal

Sebuah balon yang dikembangkan maksimal dan diikat ujungnya, jika ditempatkan diterik matahari akan meletus. Demikian juga dengan ban kendaraan. Ban kendaraan dapat meletus jika diparkir diterik matahari dalam waktu lama. Apa yang dapat Anda pelajari dari peristiwa-peristiwa tersebut?

Hukum Boyle-Gay Lussac berlaku untuk gas ideal dalam keadaan bejana tertutup (balon yang diikat dan ban kendaraan). Persamaan hukum Boyle-Gay Lussac dapat dituliskan $\frac{PV}{T} = \text{tetapan (konstan)}$. Para ahli kimia menemukan bahwa tetapan (konstan) itu sebanding dengan jumlah mol (n R). Oleh karena itu, persamaannya menjadi sebagai berikut.

$$\frac{PV}{T} = nR \text{ atau } PV = nRT$$

Simbol R selanjutnya disebut konstanta gas umum yang nilainya 8,31 J/mol K atau 0,082 L atm/mol K. Persamaan ini disebut persamaan gas ideal. Jika $n = \frac{N}{N_a}$, maka persamaan gas ideal di atas dapat ditulis

$$PV = \frac{N}{N_a}RT = N\left(\frac{R}{N_a}\right)T.$$

Jika $\frac{R}{N_a} = k$, maka persamaannya menjadi $PV = NkT$. Nilai k merupakan tetapan Boltzman yang nilainya $1,38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$.

Jika $n = \frac{m}{M}$ dengan n merupakan jumlah mol, m merupakan massa total gas, dan M merupakan massa molekul gas, maka persamaan gas ideal menjadi $PV = \frac{m}{M}RT = \frac{m}{V} \frac{RT}{M}$. Dan jika $\frac{m}{V} = \rho$, maka persamaannya menjadi $P = \frac{\rho RT}{M}$. Konstanta ρ merupakan massa jenis benda.



CONTOH SOAL

Gas dalam ruang tertutup yang bervolume 20.000 liter dan suhu 27° C memiliki tekanan 10 atm. Tentukan jumlah mol gas yang berada dalam ruang tersebut!

Diketahui : $V = 20.000$ liter

$$t = 27^\circ \text{ C} = 27 + 273 = 300 \text{ K}$$

$$P = 10 \text{ atm}$$

Ditanyakan: $n = \dots?$

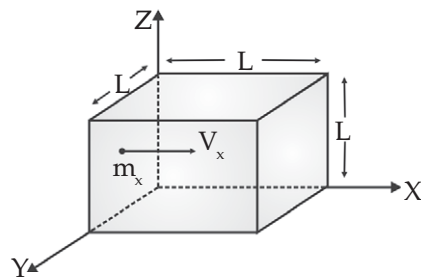
Jawab :

$$\begin{aligned} PV = nRT \Rightarrow n &= \frac{PV}{RT} \\ &= \frac{10 \times 20.000}{0,082 \times 300} \\ &= 8.130,081 \text{ mol} \end{aligned}$$

Jadi, banyaknya mol gas adalah 8.130,081 mol.

C. Tekanan dan Ketetapan Gas Ideal

Tekanan gas pada dinding bejana sama dengan besarnya momentum yang diberikan oleh molekul gas pada tiap satuan luas tiap satuan waktu. Perhatikan Gambar 9.2 berikut! Misalnya terdapat suatu molekul gas ideal yang berada dalam sebuah bejana berbentuk kubus dengan panjang sisi L . Molekul gas tersebut memiliki massa m , dan kecepatan terhadap sumbu X sebesar v_x .



Gambar 9.2 Molekul gas dalam dinding bejana berbentuk kubus.

Sebelum molekul menumbuk dinding momentumnya $m \times v_x$. Setelah menumbuk dinding molekul berubah arahnya sehingga momentumnya menjadi $-m \times v_x$. Jadi, setiap kali molekul menumbuk dinding, molekul tersebut mengalami perubahan momentum sebesar selisih antara momentum sebelum tumbukan dan momentum setelah tumbukan $\Delta p = p_1 - p_2 = (m \times v_x) - (-m \times v_x) = 2 m v_x$. Molekul tersebut akan

menumbuk dinding untuk kedua kalinya setelah selang waktu $\Delta t = \frac{2L}{v_x}$.

Sehingga momentum per satuan waktu yang diberikan oleh molekul ke dinding bejana adalah sebagai berikut.

$$p_x = \frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2 m v_x}{2L/v_x} = \frac{2 m v_x^2}{2L}$$

Sebaliknya, dinding akan mengalami momentum per satuan waktu yang sama besarnya tetapi berlawanan arahnya. Jika dalam bejana terdapat N molekul gas dengan kecepatan rata-rata v_x , maka besar momentum persatuan waktu yang diterima dinding adalah $p_x = \frac{Nm v_x^2}{L_x}$.

Diketahui bahwa molekul gas bergerak dalam tiga dimensi (ke segala arah). Sesuai dengan anggapan tersebut, maka rata-rata kecepatan kuadrat kelajuan pada arah sumbu X, Y , dan Z adalah sama besar ($\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$). Jadi, resultan rata-rata kuadrat kecepatan (v^2) adalah

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} = 3\overline{v_x^2} \text{ atau } \overline{v^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}.$$

Oleh karena itu, besar momentum per satuan waktu yang diterima

dinding bejana kubus adalah $p = \frac{Nm \left(\frac{1}{3}\overline{v^2} \right)}{L^3} = \frac{1}{3} \frac{Nm \overline{v^2}}{L^3}$. Karena L^3

merupakan volume kubus (V), maka persamannya $p = \frac{1}{3} \frac{Nm \overline{v^2}}{V}$ atau

$p = \frac{1}{3} m \overline{v^2} \left(\frac{N}{V} \right)$ atau $pV = \frac{1}{3} m \overline{v^2} N$. Jika dihubungkan dengan $PV = N k T$,

maka persamaan berubah menjadi $v = \sqrt{\frac{3NkT}{Nm}} = \sqrt{\frac{3kT}{m}}$ atau $v = \sqrt{\frac{3PV}{Nm}}$.

Dan jika dihubungkan dengan energi kinetik rata-rata ($E_k = \frac{1}{2}mv^2$), maka persamaan menjadi sebagai berikut.

$$P = \frac{2}{3} E_k \left(\frac{N}{V} \right) \text{ atau } P V = \frac{2}{3} E_k N$$

Keterangan:

- P : tekanan gas (Nm^{-2})
- N : jumlah molekul
- v : kecepatan (m/s)
- m : massa molekul (kg)
- V : volume gas (m^3)
- E_k : energi kinetik (J)



CONTOH SOAL

Pada sebuah tabung tertutup yang bervolume 10 liter terdapat 20 mol gas ideal dan tekanan sebesar 2 atm. Jika banyaknya molekul gas dalam tabung tersebut 10×10^{21} , maka tentukan energi kinetik total gas dalam tabung!

Diketahui : $V = 10$ liter

$N = 10 \times 10^{21}$ partikel

$P = 2$ atm

$n = 20$ mol

Ditanyakan: $E_k = \dots?$

Jawab :

$$P = \frac{\frac{3}{2} P V}{N} \Rightarrow E_k = \frac{\frac{3}{2} \times 2 \times 10}{10 \times 10^{21}}$$

$$= \frac{\frac{3}{2} \times 2 \times 10}{10 \times 10^{21}}$$

$$= 3 \times 10^{-21} \text{ J}$$

Jadi, energi kinetik total dalam tabung sebesar 3×10^{-21} J.



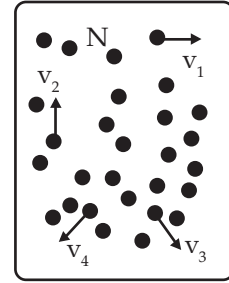
UJI PEMAHAMAN

Kerjakan latihan soal-soal berikut di dalam buku tugas Anda!

1. Sebuah partikel yang massanya $1,35 \times 10^{-4}$ g menumbuk dinding dengan kelajuan 36 km/jam. Jika tumbukkan antara partikel dan dinding dianggap lenting sempurna, maka berapa besar perubahan momentumnya?
2. Dua belas partikel yang massanya sama, yaitu $4,7 \times 10^{-3}$ gram menumbuk dinding secara lenting sempurna dengan kelajuan 54 km/jam. Hitunglah besarnya perubahan momentum totalnya!
3. Dalam selang waktu 0,75 sekon sebanyak 18 partikel yang massanya sama, yaitu $2,8 \times 10^{-5}$ g menumbuk dinding kaca secara lenting sempurna dengan kelajuan 24 km/jam. Berapa besar gaya rata-rata yang dikerjakan gas dalam selang waktu tersebut ?

D. Kecepatan Efektif Gas Ideal

Karena molekul-molekul gas tidak seluruhnya bergerak dalam kecepatan yang sama, maka Anda perlu mendefinisikan arti $\overline{v^2}$. Misalnya, di dalam sebuah bejana tertutup terdapat N_1 molekul yang bergerak dengan kecepatan v_1 , N_2 molekul yang bergerak dengan kecepatan v_2 , dan seterusnya, maka rata-rata kuadrat kecepatan molekul gas ($\overline{v^2}$) dapat dinyatakan melalui persamaan berikut.



Gambar 9.3 Molekul bergerak secara acak

$$\overline{v^2} = \frac{N_1 v_1^2 + N_2 v_2^2 + N_3 v_3^2 + \dots + N_i v_i^2}{N_1 + N_2 + N_3 + \dots + N_i} = \frac{\sum N_i v_i^2}{\sum N_i}$$

Kecepatan efektif gas ideal v_{rms} (rms = root mean square) didefinisikan sebagai akar dari rata-rata kuadrat kecepatan ($v_{\text{rms}} = \sqrt{\overline{v^2}}$ atau $\overline{v^2} = v_{\text{rms}}^2$). Mengingat bahwa $\overline{E_k} = \frac{1}{2} \overline{v^2} = \frac{1}{2} m v_{\text{rms}}^2$, maka persamaan dapat ditulis menjadi sebagai berikut.

$$\frac{1}{2} m v_{\text{rms}}^2 = \frac{3}{2} kT \quad \text{atau} \quad v_{\text{rms}}^2 = \frac{\sqrt{3kT}}{m}$$

Karena $k = \frac{R}{N_a}$ dan $m = \frac{M_r}{N_a}$, maka persamaannya menjadi:

$$v_{\text{rms}}^2 = \frac{\sqrt{3RT}}{M_r}$$

Mengingat bahwa massa jenis $\rho = \frac{m}{V}$, maka persamaan tekanan gas dan kecepatan efektifnya dapat ditulis sebagai berikut.

$$P = \frac{1}{3} \frac{m}{V} v_{\text{rms}}^2 = \frac{1}{3} \rho v_{\text{rms}}^2 \quad \text{atau} \quad v_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$



CONTOH SOAL

Pada sebuah tangki yang bervolume 20 liter terdapat suatu gas yang bermassa $5,32 \times 10^{-26}$ kg. Saat suhunya 27°C , tekanan gas tersebut sebesar 10 atm. Tentukan kecepatan efektif gas tersebut!

Diketahui : $V = 20$ liter

$$T = 27^\circ \text{C} = 300 \text{ K}$$

$$P = 10 \text{ atm}$$

$$m = 5,32 \times 10^{-26} \text{ kg}$$

Ditanyakan: $v_{\text{rms}} = \dots ?$

Jawab :

$$\begin{aligned} v_{\text{rms}} &= \sqrt{\frac{3kT}{m}} = \sqrt{\frac{3 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 300}{5,31 \cdot 10^{-26}}} = \sqrt{\frac{900 \cdot 1,38}{5,31}} 10^3 \\ &= \sqrt{23,39 \cdot 10^4} \\ &= 4,84 \times 10^2 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Jadi kecepatan efektif gas tersebut adalah 484 m/s



UJI PEMAHAMAN

Kerjakan soal-soal di bawah ini di dalam buku tugas Anda!

1. Terdapat 40 mol gas ideal pada kubus kaca yang panjang rusuknya 8 cm. Berapa banyak partikel yang terdapat di dalam kubus kaca tersebut?
2. Sebanyak 40 mol gas ideal berada pada tabung kaca yang diameternya 14 cm dan tingginya 20 cm. Jika tekanan pada tabung 5 atm, maka tentukan jumlah partikel dan energi kinetik gas!
3. Berapa jumlah partikel yang terdapat pada tabung berkapasitas 10 liter dengan suhu 200 K dan tekanan 1,25 atm?
4. Berapakah besar kecepatan efektif yang dimiliki oleh gas yang massa partikelnya $2,6 \times 10^{-26}$ kg dengan suhu 900 K?
5. Berapa besarnya energi kinetik rata-rata yang dimiliki oleh molekul gas pada suhu 400 K?
6. Sebanyak 45 liter gas oksigen (O_2) di dalam tabung besi yang mempunyai suhu 300 K dan tekanan 12 atm. Berapakah massa tiap partikel gas dan kecepatan efektifnya?

E. Suhu dan Energi Kinetik Gas Ideal

Bagaimana suhu gas ideal jika dipandang dari sudut mikroskopiknya?

Telah Anda ketahui bahwa $P V = \frac{2}{3} E_k N$. Jika dihubungkan dengan persamaan $P V = n R T$, maka dapat diperoleh persamaan berikut.

$$n R T = \frac{2}{3} E_k N \text{ atau } T = \frac{2 N E_k}{3 n R}$$

Jika dihubungkan dengan persamaan $pV = NkT$, maka diperoleh persamaan:

$$NkT = \frac{2}{3} E_k N \text{ atau } E_k = \frac{3}{2} kT \text{ atau } T = \frac{2 E_k}{3k} \text{ (untuk } N = 1)$$

Secara fisis persamaan $T = \frac{2 E_k}{3k}$ mempunyai arti bahwa suhu gas hanya berhubungan dengan gerak partikel. Makin cepat gerak partikel gas makin tinggi suhu gas tersebut. Dan persamaan tersebut berlaku untuk gas monoatomik.



CONTOH SOAL

Suatu gas ideal dalam ruang tertutup yang suhunya 27°C memiliki energi kinetik partikel sebesar 150 J. Jika energi kinetiknya 300 J, maka tentukanlah suhu gas sekarang!

Diketahui : $T_1 = 27^\circ \text{C} = 27 + 273 = 300 \text{ K}$

$$E_{k1} = 150 \text{ J}$$

$$E_{k2} = 300 \text{ J}$$

Ditanyakan: $T_2 = \dots ?$

Jawab :

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{E_{k2}}{E_{k1}} \Rightarrow \frac{T_2}{300} = \frac{300}{150}$$

$$T_2 = \frac{300 \times 300}{150}$$

$$= 600 \text{ K}$$

Jadi, suhu gas akhir adalah 600 K



UJI PEMAHAMAN

Kerjakan soal-soal di bawah ini di dalam buku tugas Anda!

1. Tekanan gas dalam tabung tertutup menurun 36% dari semula. Berapa % kelajuan molekul gas tersebut menurun?
2. Sebuah tangki dengan volume 25 L mengandung 2 mol gas monoatomik. Jika setiap molekul gas memiliki energi kinetik rata-rata $2,8 \times 10^{-21}$ J. Tentukanlah tekanan gas dalam tangki!
3. Suatu gas ideal dalam ruang tertutup memiliki energi kinetik $4E_0$. Jika energi kinetiknya dijadikan E_0 dan suhu gas tersebut 27°C maka berapa suhu gas mula-mula?
4. Pada suhu tertentu, kecepatan 10 melekul gas adalah sebagai berikut.

Kecepatan (m/s)	10	20	30	40
Banyak molekul	3	4	2	1

Tentukanlah kecepatan rata-rata dan kecepatan efektif gas!

F. Termodinamika

Setelah Anda mempelajari gas ideal, di mana energi yang dimiliki suatu gas dalam ruang tertutup dapat diidentifikasi dari suhunya (T).

Ingat kembali rumus $E_k = \frac{3}{2} kT$, persamaan ini menunjukkan bahwa energi kinetik yang dimiliki tiap-tiap partikel gas dipengaruhi oleh suhu gas (T). Makin tinggi suhu gas, makin besar pula energi kinetik partikelnya. Artinya, makin tinggi suhu suatu gas, makin besar pula energi yang tersimpan di dalamnya. Kondisi ini menghasilkan pertanyaan "Bagaimana cara menyimpan energi di dalam gas dan memanfaatkan energi tersebut dalam bentuk kerja?". Suatu karakter dari benda gas yang menguntungkan adalah kemampuannya dalam menyerap, menyimpan, dan melepaskan energi yang berupa kalor.

Proses penyerapan, penyimpanan, dan pelepasan kalor serta pemanfaatannya untuk menghasilkan kerja akan dibahas dalam subbab termodinamika. Sebelum menggunakan hukum-hukum termodinamika Anda

perlu mendefinisikan terlebih dahulu sistem dan lingkungan. *Sistem* adalah suatu benda atau keadaan yang menjadi pusat perhatian. Sedangkan *lingkungan* merupakan segala sesuatu di luar sistem yang dapat memengaruhi keadaan sistem secara langsung. Apabila antara sistem dan lingkungan memungkinkan terjadinya pertukaran materi dan energi, maka sistemnya disebut *sistem terbuka*. Jika hanya terbatas pada pertukaran energi disebut *sistem tertutup*. Sedangkan jika pertukaran materi maupun energi tidak mungkin terjadi, maka disebut *sistem terisolasi*. Sistem dan lingkungan dinamakan *semesta*.

1. Proses Termodinamika

Energi selalu berkaitan dengan usaha. Telah Anda ketahui bahwa usaha merupakan hasil perkalian gaya dengan perpindahan ($W = F \times s$). Pada Gambar 9.1 memperlihatkan penampang air silinder yang didalamnya terdapat gas piston (pengisap). Piston ini dapat bergerak bebas naik turun. Jika luas piston A dan tekanan gas P , maka gas akan mendorong piston dengan gaya $F = P \times A$. Oleh karena itu, usaha yang dilakukan gas adalah $W = F \times \Delta s$. Jika $F = P \times A$, maka $W = P \times A \times \Delta s$.

Dan jika $\Delta s = \frac{\Delta V}{A}$, maka persamaannya menjadi seperti berikut.

$$W = P \times \Delta V \quad \text{atau} \quad W = P (V_2 - V_1)$$

Keterangan:

W : usaha (J)

P : tekanan tetap (N/m^2)

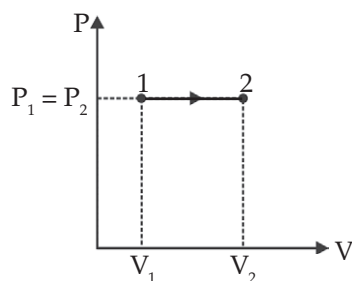
V_1 : volume awal (m^3)

V_2 : volume akhir (m^3)

Gas dalam ruang tertutup dapat mengalami beberapa proses yaitu proses isobarik, proses isokorik, proses isoteremis, dan proses adiabatik.

a. Proses Isobarik

Proses yang berlangsung pada tekanan tetap dinamakan *proses isobarik*. Bila volume gas bertambah, berarti gas melakukan usaha atau usaha gas positif (proses ekspansi). Jika volume gas berkurang, berarti pada gas dilakukan usaha atau usaha gas negatif (proses kompresi). Usaha yang dilakukan oleh gas pada proses isobarik dapat dinyatakan sebagai berikut.



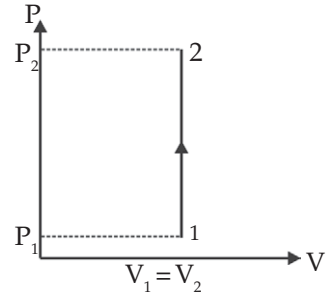
Gambar 9.4 Proses Isobarik

$$W = P \times \Delta V \text{ atau } W = P (V_2 - V_1)$$

Usaha yang dilakukan gas terhadap lingkungannya atau sebaliknya sama dengan luas daerah bawah grafik tekanan terhadap volume (grafik P – V). Perhatikan Gambar 9.4!

b. Proses Isokorik

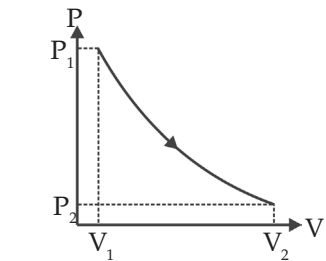
Proses isokorik adalah proses yang dialami oleh gas di mana gas tidak mengalami perubahan volume atau volume tetap ($\Delta V = 0$). Oleh karena itu, usaha yang dilakukan gas pada proses isokorik adalah nol ($W = P \times 0 = 0$). Perhatikan Gambar 9.5!



Gambar 9.5 Proses Isokorik

c. Proses Isotermis

Proses isotermis adalah proses yang dialami gas pada suhu tetap. Usaha yang dilakukan gas pada proses ini tidak dapat dihitung dengan persamaan $W = P \times \Delta V$. Hal ini dikarenakan tekanannya tidak konstan. Namun, dapat diselesaikan dengan melakukan pengintegrasian ($W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$)



Gambar 9.6 Proses Isotermis

galian ($W = \int_{V_1}^{V_2} P dV$)

Ingat, $P = \frac{nRT}{V}$, maka $W = \int_{V_1}^{V_2} \frac{nRT}{V} dV$. Karena n, R, dan T konstan, maka persamaannya menjadi seperti berikut.

$$W = nRT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = nRT [\ln V]_{V_1}^{V_2} = nRT [\ln V_2 - \ln V_1]$$

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

d. Proses Adiabatik

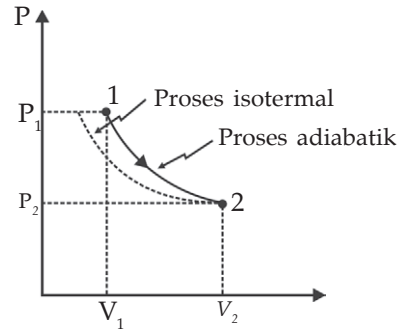
Pada proses isobarik, isotermis, dan isokorik dipengaruhi oleh lingkungan, yaitu menerima atau melepaskan kalor. Proses adiabatik merupakan proses yang tidak ada kalor yang masuk atau keluar dari sistem (gas) ke lingkungan ($\Delta Q = 0$). Hal ini dapat terjadi apabila

terdapat sekat yang tidak menghantarkan kalor atau prosesnya berlangsung cepat. Pada proses adiabatik berlaku rumus Poisson.

$$PV^\gamma = \text{Konstan atau } P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

Dengan γ merupakan perbandingan kalor jenis gas pada tekanan tetap (C_p) dan kalor jenis gas pada volum tetap (C_v). Selanjutnya perbandingan ini dinamakan tetapan Laplace

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v}$$



Gambar 9.7 Proses Adiabatik

Untuk gas ideal ($P = \frac{nRT}{V}$), persamaan adiabatik di atas dapat ditulis dalam bentuk

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$$

$$\frac{nRT_1}{V_1} V_1^\gamma = \frac{nRT_2}{V_2} V_2^\gamma$$

$$T_1 V_1^{\gamma-1} = T_2 V_2^{\gamma-1}$$

Adapun usaha pada proses adiabatik dapat dicari dengan cara sebagai berikut.

$$W = \int_{V_1}^{V_2} p dV$$

Karena $P = CV^{-\gamma}$, maka:

$$W = \int_{V_1}^{V_2} CV^{-\gamma} dV = \frac{C}{1-\gamma} V^{1-\gamma} \Big|_{V_1}^{V_2} = \frac{C}{1-\gamma} V_2^{1-\gamma} - V_1^{1-\gamma}$$

Karena $c = P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma$, maka $W = \frac{1}{1-\gamma} (P_2 V_2^\gamma V_2^{1-\gamma} - P_1 V_1^\gamma V_1^{1-\gamma})$

$$W = \frac{1}{1-\gamma} (P_2 V_2 - P_1 V_1)$$



UJI PEMAHAMAN

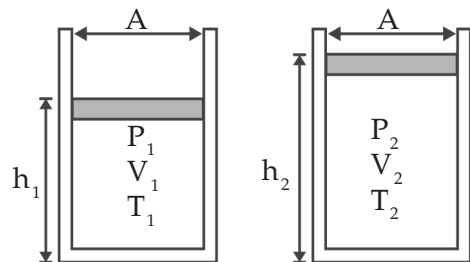
Kerjakan soal-soal di bawah ini di dalam buku tugas Anda!

1. Jelaskan jika pada proses isobarik, isotermais, dan isokorik berlaku hukum Gay Lussac!
2. Suatu tabung tertutup yang volumenya 600 liter berisi gas bertekanan 6 atm. Hitunglah usaha yang dilakukan oleh gas jika gas memuai pada tekanan tetap sehingga volumenya 3 kali volum semula dan jika gas dimampatkan pada tekanan tetap sehingga volumenya menjadi setengah kali semula ($1 \text{ atm} = 10^5 \text{ pa}$)!
3. Apakah yang dimaksud dengan proses irreversibel dan apa pula yang dimaksud dengan proses reversibel?
4. Sebuah tabung berisi 16 liter gas dengan tekanan 0,8 atm dan suhu 50 K. Jika gas dipanaskan sehingga volumenya menjadi 24 liter dengan mempertahankan tekanannya (isobarik). Berapa suhu akhir yang dimiliki gas tersebut?
6. Perbandingan volume gas yang dipanaskan secara isobarik adalah 2 : 5. Berapakah perbandingan suhu awal dan suhu akhirnya?
7. Sejumlah gas mula-mula volumenya 12,5 liter, tekanannya 1,5 atm dan suhunya 150 K. Jika gas mengalami proses isokorik sehingga tekanannya menjadi 2 atm, maka bagaimana dengan suhunya?

2. Usaha Luar (W) dan Energi Dalam (U)

a. Usaha Luar (W)

Sistem gas melakukan usaha luar apabila volume sistem bertambah. Dengan bertambahnya volume ini, sistem melakukan usaha untuk melawan tekanan udara di luar sistem. Perhatikan Gambar 9.8! Sistem gas mula-mula berada dalam kondisi P_1 , V_1 , dan T_1 berada dalam ruang yang salah satu sisinya dibatasi torak. Pada kasus ini dinding berupa dinding diatermal. Ketika sistem menyerap kalor secara isobarik, maka akan terjadi perubahan volume sistem menjadi V_2 dimana $V_2 > V_1$. Usaha luar yang dilakukan oleh sistem gas dapat dijabarkan sebagai berikut.



Gambar 9.8 Gas melakukan usaha luar.

$$W = F \cdot s$$

Karena $F = p A$, maka:

$$\begin{aligned} W &= (PA)s \\ &= (PA) \times (h_2 - h_1) \\ &= P (A h_2 - A h_1) \\ &= P (V_2 - V_1) \end{aligned}$$

$$W = P \times \Delta V$$

Keterangan:

W : usaha luar

P : tekanan sistem

ΔV : perubahan volume



CONTOH SOAL

Suatu sistem gas berada dalam ruang yang fleksibel. Pada awalnya gas berada pada kondisi $P_1 = 1,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, $T_1 = 27^\circ \text{ C}$, dan $V_1 = 12 \text{ liter}$. Ketika gas menyerap kalor dari lingkungan secara isobarik suhunya berubah menjadi 127° C . Hitunglah volume gas sekarang dan besar usaha luar yang dilakukan oleh gas!

$$\begin{aligned} \text{Diketahui} : P_1 &= 1,5 \times 10^5 \text{ N/m}^2 \\ T_1 &= 27 + 273 = 300 \text{ K} \\ V_1 &= 12 \text{ liter} = 1,2 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \\ T_2 &= 127 + 273 = 400 \text{ K} \\ P_2 &= P_1 \text{ (isobarik)} \end{aligned}$$

Ditanyakan: a. $V_2 = \dots ?$
b. $W = \dots ?$

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{a. } \frac{V_1}{T_1} &= \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{T_2}{T_1} V_1 = \frac{400}{300} \times 1,2 \cdot 10^{-2} \\ &= 1,6 \times 10^{-2} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Jadi, volume gas akhir sebesar $1,6 \times 10^{-2} \text{ m}^3$.

$$\begin{aligned} \text{b. } W &= P \times \Delta V = P \times (V_2 - V_1) \\ &= 1,5 \times 10^5 (1,6 \times 10^{-2} - 1,2 \times 10^{-2}) \\ &= (1,5 \times 10^5) \times (0,4 \times 10^{-2}) \\ &= 0,6 \times 10^3 \\ &= 6 \times 10^2 \text{ J} \end{aligned}$$

Jadi usaha luar yang dilakukan oleh gas sebesar $W = 6 \times 10^2 \text{ J}$

b. Energi Dalam (U) Gas Monoatomik

Coba Anda ingat lagi pada pembahasan sebelumnya tentang teori kinetik gas. Berapa energi kinetik total yang dimiliki oleh sistem yang terdiri atas N buah partikel gas? Besarnya energi total ini disebut sebagai "energi dalam" sistem, yaitu $U = N \cdot E_k$.

Karena $N \times E_k = \frac{3}{2} PV$, maka $U = \frac{3}{2} PV$ dan dengan melihat lagi persamaan gas ideal $pV = nRT$, maka akan diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$U = \frac{3}{2} nRT$$

Berdasarkan persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa suatu sistem gas akan mengalami perubahan energi dalamnya jika mengalami perubahan suhu.



CONTOH SOAL

Suatu gas yang berada dalam ruang yang fleksibel memiliki tekanan $1,5 \times 10^5$ Pa, suhu 27° C, dan volume 12 liter. Ketika gas menyerap kalor suhunya menjadi 127° C. Hitunglah energi gas mula-mula, volume gas sekarang, energi dalam sistem gas sekarang!

Diketahui : $P_1 = 1,5 \times 10^5$ Pa $T_1 = 27 + 273 = 300$ K
 $V_1 = 12$ liter = $1,2 \times 10^{-2}$ m³ $T_2 = 127 + 273 = 400$ K

Ditanyakan: a. $U_1 = \dots?$
b. $V_2 = \dots?$
c. $U_2 = \dots?$

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{a. } U_1 &= n R T_1 = \frac{3}{2} P_1 V_1 = \frac{3}{2} (1,5 \times 10^5) \times (1,2 \cdot 10^{-2}) \\ &= 2,7 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } \frac{V_1}{T_1} &= \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{T_2}{T_1} V_1 = \frac{400}{300} \times (1,2 \times 10^{-2}) \\ &= 1,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{c. } U_2 &= n R T_2 = \frac{3}{2} P_2 V_2 = \frac{3}{2} \times (1,5 \times 10^5) \times (1,6 \times 10^{-2}) \\ &= 3,6 \times 10^3 \text{ J} \end{aligned}$$



UJI PEMAHAMAN

Kerjakan soal-soal di bawah ini di dalam buku tugas Anda!

1. Jika sejumlah gas berada di dalam ruang tertutup suhu, maka tekanan dan volumenya berubah. Bagaimana pengaruhnya antara besaran yang satu dengan besaran yang lain?
2. Gas dalam ruang tertutup yang semula volumenya 24 liter, tekanannya 1,5 atm dan suhunya 200 K ditekan secara ideal dengan volume tetap. Jika tekanannya berubah menjadi 3 atm, maka bagaimana dengan suhunya?
3. Dengan mengusahakan tekanannya tetap, gas dari 36 liter, suhu 140 K dan tekanan $1,5 \times 10^3 \text{ N/m}^2$ volumenya diubah menjadi 9 liter. Berapa suhu yang dimiliki gas ?
4. Sejumlah gas sebanyak 20 liter, dengan tekanan $1,25 \times 10^4 \text{ N/m}^2$ serta suhunya 100 K mengalami proses isotermik. Jika tekanannya berubah menjadi $5 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, maka bagaimana dengan volumenya?
5. Gas yang volumenya 35 liter dipanaskan dengan tekanan tetap sehingga volumenya menjadi 50 liter. Jika tekanan mula-mula $1,75 \times 10^5 \text{ Pa}$, maka berapa besar usaha yang dilakukan gas tersebut?
6. Pada suatu ruang tertutup terdapat 15 liter gas dengan suhu 27°C dan tekanan 90.000 N/m^2 . Karena menyerap kalor dari lingkungannya isobarik, maka suhu gas berubah menjadi 227°C . Berapakah volume gas pada akhir proses ini?
7. Sebanyak 10 liter gas suhunya 27°C tekanannya $1,2 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Jika gas menyerap kalor dengan proses isobarik sampai suhu 127°C , maka berapakah energi dalam gas mula-mula dan volume akhir gas?
8. Pada suatu ruangan ideal terdapat 18 liter gas yang suhunya 27°C dengan tekanan $2,4 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Karena gas menyerap kalor suhunya meningkat menjadi 327°C . Hitunglah:
 - a. energi dalam mula-mula,
 - b. volume akhir gas,
 - c. energi dalam akhir, dan
 - d. perubahan energi dalamnya!
9. Sebuah gas memiliki volume 20 liter, suhu 127°C , dan tekanan $3 \times 10^5 \text{ N/m}^2$. Tentukanlah jumlah molekul gasnya dan energi dalam gas!

3. Hukum I Termodinamika

Apabila sistem gas menyerap kalor dari lingkungan sebesar Q_1 , maka oleh sistem mungkin akan diubah menjadi:

- usaha luar (W) dan perubahan energi dalam (ΔU),
- energi dalam saja (U), dan
- usaha luar saja (W).

Secara sistematis, peristiwa di atas dapat dinyatakan sebagai:

$$Q = W + U$$

Persamaan ini dikenal sebagai persamaan untuk hukum I Termodinamika. Bunyi hukum I Termodinamika adalah "Energi tidak dapat diciptakan ataupun dimusnahkan, melainkan hanya bisa diubah bentuknya saja." Berdasarkan uraian tersebut terbukti bahwa kalor (Q) yang diserap sistem tidak hilang. Oleh sistem, kalor ini akan diubah menjadi usaha luar (W) dan atau penambahan energi dalam (ΔU).



CONTOH SOAL

Suatu sistem gas monoatomik pada suhu 27°C memiliki tekanan sebesar $1,5 \times 10^5\text{ Pa}$ dan bervolume 15 liter. Sistem menyerap kalor dari lingkungan secara isobarik sehingga suhunya naik menjadi 127°C . Tentukan volume gas sekarang, usaha luar yang dilakukan gas, penambahan energi dalam gas, dan besarnya kalor yang diserap gas!

Diketahui : $T_1 = 27 + 273 = 300\text{ K}$

$$P_1 = 1,5 \times 10^5\text{ N/m}^2$$

$$V_1 = 15\text{ liter} = 15 \times 10^{-3}\text{ m}^3$$

$$T_2 = 127 + 273 = 400\text{ K}$$

Ditanyakan: a. $V_2 = \dots?$

b. $W = \dots?$

c. $\Delta U = \dots?$

d. $Q = \dots?$

Jawab :

$$\begin{aligned} \text{a. } \frac{V_1}{T_1} &= \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{T_2}{T_1} V_1 = \frac{400}{300} \times (1,5 \times 10^{-3}) \\ &= 20 \times 10^{-3}\text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } W = PV &= P(V_2 - V_1) = (1,5 \times 10^5) \times (20 \times 10^{-3}) - (15 \times 10^{-3}) \\ &= (1,5 \times 10^5) \times (5 \times 10^{-3}) \\ &= 7,5 \times 10^2\text{ J} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{c. } U &= (P_2V_2 - P_1V_1) = \frac{3}{2}P (V_2 - V_1) \\
 &= \frac{3}{2} \times (1,5 \times 10^5) \times (5 \times 10^{-3}) \\
 &= \frac{3}{2} \times (7,5 \times 10^2) \\
 &= 11,25 \times 10^2 \text{ J} \\
 \text{d. } Q &= W + U = (7,5 \times 10^2) + (11,25 \times 10^2) \\
 &= 18,75 \times 10^2 \text{ J}
 \end{aligned}$$



UJI PEMAHAMAN

Kerjakan soal-soal di bawah ini di dalam buku tugas Anda!

1. Tuliskan 3 kemungkinan yang akan terjadi jika sejumlah gas menyerap kalor dari lingkungan tempatnya berada ?
2. Bagaimana pernyataan hukum I termodinamika tentang energi?
3. Apakah yang dimaksud proses isotermal pada termodinamika ?
4. Sejumlah gas ideal volumenya $0,8 \text{ m}^3$ dengan tekanan 200 N/m^2 . Jika jumlah gas adalah $0,4 \text{ mol}$, maka berapakah suhu mutlak yang dimiliki oleh gas tersebut?
5. Dalam sebuah silinder kaca yang volumenya 5 liter terdapat $0,6 \text{ mol}$ gas dengan suhu 27° C . Jika gas ditekan dengan suhu tetap sampai volumenya 4 liter dengan tekanan awal 5.000 N/m^2 , maka tentukan usaha yang diterima gas dari lingkungannya?

4. Hukum II Termodinamika

Hukum I termodinamika menyatakan bahwa energi adalah kekal, tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan. Energi hanya dapat berubah dari satu bentuk ke bentuk lainnya. Berdasarkan teori ini, Anda dapat mengubah energi kalor ke bentuk lain sesuka Anda asalkan memenuhi hukum kekekalan energi.

Namun, kenyataannya tidak demikian. Energi tidak dapat diubah sekehendak Anda. Misalnya, Anda menjatuhkan sebuah bola besi dari suatu ketinggian tertentu. Pada saat bola besi jatuh, energi potensialnya berubah menjadi energi kinetik. Saat bola besi menumbuk tanah,

sebagian besar energi kinetiknya berubah menjadi energi panas dan sebagian kecil berubah menjadi energi bunyi. Sekarang, jika prosesnya Anda balik, yaitu bola besi Anda panaskan sehingga memiliki energi panas sebesar energi panas ketika bola besi menumbuk tanah, mungkinkah energi ini akan berubah menjadi energi kinetik, dan kemudian berubah menjadi energi potensial sehingga bola besi dapat naik? Peristiwa ini tidak mungkin terjadi walau bola besi Anda panaskan sampai meleleh sekalipun.

Hal ini menunjukkan proses perubahan bentuk energi di atas hanya dapat berlangsung dalam satu arah dan tidak dapat dibalik. Proses yang tidak dapat dibalik arahnya dinamakan *proses irreversibel*. Proses yang dapat dibalik arahnya dinamakan *proses reversibel*.

Peristiwa di atas mengilhami terbentuknya hukum II termodinamika. Hukum II termodinamika membatasi perubahan energi mana yang dapat terjadi dan yang tidak dapat terjadi. Pembatasan ini dapat dinyatakan dengan berbagai cara, antara lain, hukum II termodinamika dalam pernyataan aliran kalor: “Kalor mengalir secara spontan dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah dan tidak mengalir secara spontan dalam arah kebalikannya”; hukum II termodinamika dalam pernyataan tentang mesin kalor: “Tidak mungkin membuat suatu mesin kalor yang bekerja dalam suatu siklus yang semata-mata menyerap kalor dari sebuah reservoir dan mengubah seluruhnya menjadi usaha luar”; hukum II termodinamika dalam pernyataan entropi: “Total entropi semesta tidak berubah ketika proses reversibel terjadi dan bertambah ketika proses ireversibel terjadi”.

a. Entropi

Entropi adalah ukuran banyaknya energi atau kalor yang tidak dapat diubah menjadi usaha. Besarnya entropi suatu sistem yang mengalami proses reversibel sama dengan kalor yang diserap sistem dan lingkungannya (ΔQ) dibagi suhu mutlak sistem tersebut (T). Perubahan entropi diberi tanda ΔS dan dinyatakan sebagai berikut.

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Ciri proses reversibel adalah perubahan total entropi ($\Delta S = 0$) baik bagi sistem maupun lingkungannya. Pada proses irreversibel perubahan entropi $\Delta S_{\text{semesta}} > 0$. Proses irreversibel selalu menaikkan entropi semesta.

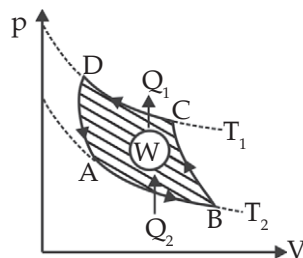
$$\Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{lingkungan}} = \Delta S_{\text{seluruhnya}} \geq 0$$

b. Mesin Pendingin

Mesin yang menyerap kalor dari suhu rendah dan mengalirkannya pada suhu tinggi dinamakan mesin pendingin (refrigerator). Misalnya pendingin ruangan (AC) dan almari es (kulkas).

Perhatikan Gambar 9.9! Kalor diserap dari suhu rendah T_2 dan kemudian diberikan pada suhu tinggi T_1 . Berdasarkan hukum II termodinamika, kalor yang dilepaskan ke suhu tinggi sama dengan kerja yang ditambah kalor yang diserap ($Q_1 = Q_2 + W$)

Hasil bagi antara kalor yang masuk (Q_1) dengan usaha yang diperlukan (W) dinamakan koefisien daya guna (performansi) yang diberi simbol K_p . Secara umum, kulkas dan pendingin ruangan memiliki koefisien daya guna dalam jangkauan 2 sampai 6. Makin tinggi nilai K_p , makin baik kerja mesin tersebut.



Gambar 9.9 Siklus mesin pendingin.

$$K_p = \frac{Q_2}{W}$$

Untuk gas ideal berlaku:

$$K_p = \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

Keterangan

K_p : koefisien daya guna

Q_1 : kalor yang diberikan pada reservoir suhu tinggi (J)

Q_2 : kalor yang diserap pada reservoir suhu rendah (J)

W : usaha yang diperlukan (J)

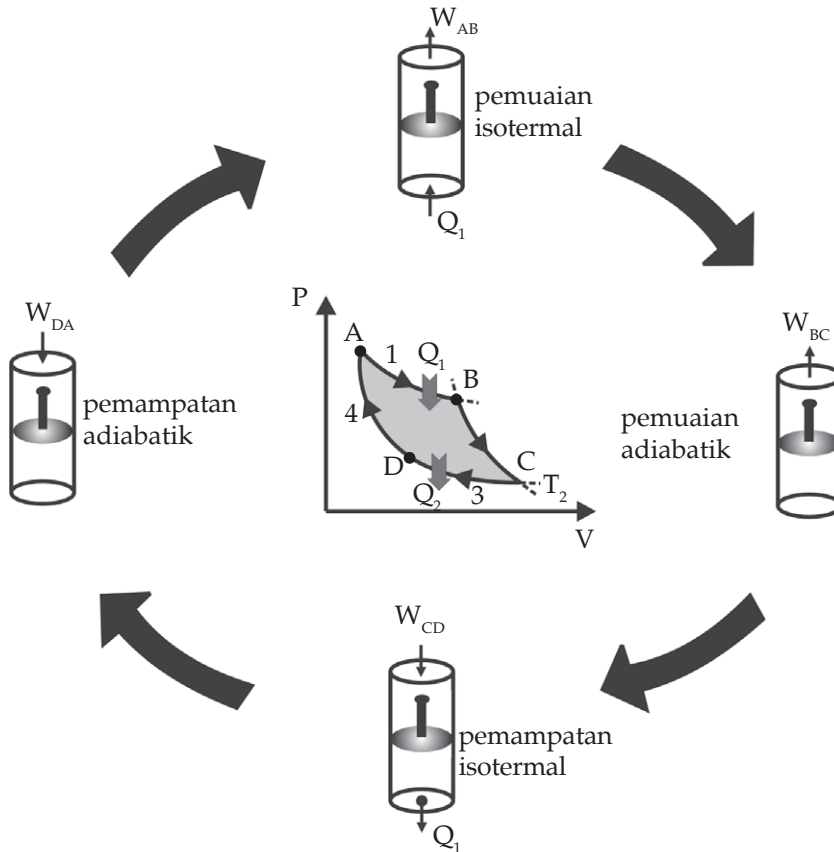
T_1 : suhu reservoir suhu tinggi (K)

T_2 : suhu reservoir suhu rendah (K)

G. Mesin Carnot

Siklus adalah suatu rangkaian sedemikian rupa sehingga akhirnya kembali kepada keadaan semula. Berdasarkan percobaan joule diketahui bahwa tenaga mekanik dapat seluruhnya diubah menjadi energi kalor. Namun, apakah energi kalor dapat seluruhnya diubah menjadi energi mekanik? Adakah mesin yang dapat mengubah kalor seluruhnya

menjadi usaha? Pada tahun 1824, seorang insinyur berkebangsaan Prancis, Nicolas Leonardi Sadi Carnot, memperkenalkan metode baru untuk meningkatkan efisiensi suatu mesin berdasarkan siklus usaha. Metode efisiensi Sadi Carnot ini selanjutnya dikenal sebagai *siklus Carnot*. Siklus Carnot terdiri atas empat proses, yaitu dua proses isotermal dan dua proses adiabatik. Perhatikan Gambar 9.10!



Gambar 9.10 Siklus Carnot.

Berdasarkan Gambar 9.10 dijelaskan siklus Carnot sebagai berikut.

1. Proses AB adalah pemuaihan isotermal pada suhu T_1 . Pada proses ini sistem menyerap kalor Q_1 dari reservoir bersuhu tinggi T_1 dan melakukan usaha W_{AB} .
2. Proses BC adalah pemuaihan adiabatik. Selama proses ini berlangsung suhu sistem turun dari T_1 menjadi T_2 sambil melakukan usaha W_{BC} .
3. Proses CD adalah pemampatan isothermal pada suhu T_2 . Pada proses ini sistem menerima usaha W_{CD} dan melepas kalor Q_2 ke reservoir bersuhu rendah T_2 .
4. Proses DA adalah pemampatan adiabatik. Selama proses ini suhu sistem naik dari T_2 menjadi T_1 akibat menerima usaha W_{DA} .

Siklus Carnot merupakan dasar dari mesin ideal yaitu mesin yang memiliki efisiensi tertinggi yang selanjutnya disebut *Mesin Carnot*. Usaha total yang dilakukan oleh sistem untuk satu siklus sama dengan luas daerah di dalam siklus pada diagram P - V. Mengingat selama proses siklus Carnot sistem menerima kalor Q_1 dari reservoir bersuhu tinggi T_1 dan melepas kalor Q_2 ke reservoir bersuhu rendah T_2 , maka usaha yang dilakukan oleh sistem menurut hukum I termodinamika adalah sebagai berikut.

$$Q = \Delta U + W \Rightarrow Q_1 - Q_2 = 0 + W \Rightarrow W = Q_1 - Q_2$$

Dalam menilai kinerja suatu mesin, efisiensi merupakan suatu faktor yang penting. Untuk mesin kalor, efisiensi mesin (η) ditentukan dari perbandingan usaha yang dilakukan terhadap kalor masukan yang diberikan. Secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\eta = \frac{W}{Q_1} \times 100\% = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \times 100\% = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \times 100\%$$

Untuk siklus Carnot berlaku hubungan $\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{T_2}{T_1}$, sehingga efisiensi mesin Carnot dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1} \times 100\%$$

Keterangan:

η : efisiensi mesin Carnot

T_1 : suhu reservoir bersuhu tinggi (K)

T_2 : suhu reservoir bersuhu rendah (K)

Efisiensi mesin Carnot merupakan efisiensi yang paling besar karena merupakan mesin ideal yang hanya ada di dalam teori. Artinya, tidak ada mesin yang mempunyai efisien melebihi efisiensi mesin kalor Carnot. Berdasarkan persamaan di atas terlihat efisiensi mesin kalor Carnot hanya tergantung pada suhu kedua tandon atau reservoir. Untuk mendapatkan efisiensi sebesar 100%, suhu tandon T_2 harus = 0 K. Hal ini dalam praktik tidak mungkin terjadi. Oleh karena itu, mesin kalor Carnot adalah mesin yang sangat ideal. Hal ini disebabkan proses kalor Carnot merupakan proses reversibel. Sedangkan kebanyakan mesin biasanya mengalami proses irreversibel (tak terbalikkan).



CONTOH SOAL

Sebuah mesin Carnot menyerap kalor sebesar 1.000 kJ. Mesin ini bekerja pada reservoir bersuhu 300 K dan 100 K. Berapa kalor yang terbuang oleh mesin?

Diketahui : $T_1 = 300 \text{ K}$
 $T_2 = 200 \text{ K}$
 $Q_1 = 1.000 \text{ kJ}$

Ditanyakan: $Q_2 = \dots?$

Jawab :

$$\begin{aligned}\eta &= 1 - \frac{T_2}{T_1} \times 100\% = 1 - \frac{200}{300} \times 100\% \\ &= 33,33\% = \frac{1}{3}\end{aligned}$$

Untuk menghitung Q_2 , dapat Anda gunakan persamaan efisiensi:

$$\eta = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} \times 100\%$$

$$\frac{1}{3} = 1 - \frac{Q_2}{1.000} \Rightarrow Q_2 = 333,3 \text{ kJ}$$

Jadi, kalor yang terbuang oleh mesin sebesar 333,3 kJ.



UJI PEMAHAMAN

Kerjakan soal-soal di bawah ini di dalam buku tugas Anda!

1. Reservoir suhu rendah suatu mesin Carnot mempunyai energi 120.000 joule. Apakah artinya jika mesin tersebut mempunyai efisiensi 80%?
2. Sebuah mesin Carnot mempunyai suhu pada reservoir rendah dan tingginya adalah 27°C dan 227°C . Berapakah perbandingan usaha yang telah terjadi?
3. Jika perbandingan antara energi pada suhu rendah dan suhu tinggi suatu mesin Carnot adalah 3 : 4, maka berapakah efisiensi yang dimiliki mesin tersebut?

UJI KOMPETENSI

1. Sejumlah gas ideal menjalani proses isobarik sehingga volumenya menjadi 3 kali semula. Hitunglahnya suhu gas tersebut sekarang!
2. Dalam ruang tertutup suatu gas dipanaskan dari suhu 27°C menjadi 127°C . Jika tekanannya tetap, maka hitung perubahan volumenya!
3. Suatu gas pada suhu 127°C mempunyai volume 200 liter. Berapakah tekanan gas tersebut?
4. Dalam ruang tertutup sejumlah gas memperoleh tekanan 1,5 atm dan suhu 27°C . Jika dipanaskan hingga volumenya menjadi 2 kali semula, maka berapa Celsius kenaikan suhunya?
5. Sejumlah gas yang mula-mula volumenya 15 liter tekanannya 14×10^5 Pa pada suhu 27°C . Jika suhunya dinaikkan menjadi 350 K dan volumenya menjadi 10 liter, maka berapa tekanannya?
6. Pada temperatur tertentu, kecepatan "rms" suatu gas ideal adalah v . Jika pada tekanan konstan volume gas diekspansikan menjadi 3 kali semula, maka hitung kecepatan "rms" molekul gas ideal tersebut!
7. Suatu gas monoatomik suhunya 400 K. Berapakah energi kinetik rata-rata tiap molekul tersebut?
8. Mesin Carnot dioperasikan antara 2 reservoir kalor masing-masing suhunya T_1 dan T_2 , dengan $T_2 > T_1$. Diketahui efisiensi mesin tersebut 40%, dan besarnya $T_1 = 27^{\circ}\text{C}$. Agar efisiensinya naik menjadi 60%, maka tentukan besarnya perubahan T_2 !
9. Sebuah mesin Carnot yang bekerja antara reservoir kalor bersuhu rendah 27°C dan reservoir kalor bersuhu tinggi $T_2^{\circ}\text{C}$, ditingkatkan efisiensi maksimumnya dari 25% hingga menjadi 50% dengan menaikkan suhu $T_2^{\circ}\text{C}$ menjadi $T_3^{\circ}\text{C}$. Hitunglah suhu T_2 dan T_3 !
10. Sebuah mesin Carnot yang menggunakan reservoir suhu tinggi 800 K mempunyai efisiensi sebesar 40%. Agar efisiensinya naik menjadi 50%, maka hitunglah suhu reservoir suhu tingginya!



REFLEKSI

Setelah Anda mempelajari keseluruhan materi pada bab ini, buatlah sebuah peta konsep versi Anda. Anda bebas membuat model, bentuk, dan isinya. Bandingkan peta konsep Anda dengan teman sekelas. Diskusikan bersama peta konsep mana yang paling lengkap dan mudah dipahami. Jika kesulitan, maka mintalah pendapat guru atau orang yang berkompeten di bidang ini!

ULANGAN BLOK SEMESTER GENAP

Kerjakanlah soal-soal di bawah ini di buku tugas Anda!

1. Bongkahan es yang volumenya $5 \times 10^6 \text{ m}^3$ terapung di air yang mempunyai massa jenis 1 g/cm^3 . Jika bagian dari bongkahan es yang berada di atas permukaan air adalah 10^6 m^3 , maka berapakah besar gaya ke atas yang dirasakan bongkahan es tersebut?
2. Berapakah besarnya energi dalam yang dimiliki oleh mol gas yang suhunya 127° C ?
3. Melalui sebuah kran sebuah bak penampung diisi air bersih dengan debit kran $600 \text{ cm}^3/\text{s}$. Jika percepatan gravitasi 10 m/s^2 dan pembuangan air bersih bocor seluas 3 cm^2 , maka berapakah ketinggian maksimum yang dicapai air di dalam bak penampung air bersih tersebut!
4. Pada suhu berapakah terjadi energi kinetik yang dimiliki molekul gas menjadi dua kali semula jika suhu awalnya 400 K ?
5. Sebuah silinder berongga yang tipis memiliki diameter 400 cm dan berotasi melalui sumbunya dalam waktu 1 menit dapat berputar 20 kali. Jika massa silinder berongga tersebut 9 kg , maka tentukan momen kelembamannya dan energi kinetik rotasinya!
6. Sejumlah gas dengan massa jenis $2,14$ mengalir di dalam sebuah pipa. Untuk mengukur kelajuan aliran gas tersebut digunakan sebuah tabung pitot. Jika ketinggian raksa pada kedua kaki manometer tabung pitot adalah 2 cm , maka berapakah kelajuan aliran gas tersebut?
7. Berapa besarnya energi kinetik sebuah atom gas Helium pada suhu 327° C jika diketahui konstanta Boltzman $1,38 \times 10^{-23}$?
8. Satu mol gas ideal menempati suatu silinder berpengisap tanpa gesekan, mula-mula mempunyai suhu T . Gas tersebut kemudian dipanaskan pada tekanan konstan sehingga volumenya menjadi 4 kali lebih besar. Bila R adalah tetapan gas universal, maka tentukan besarnya usaha yang telah dilakukan oleh gas untuk menaikkan volumenya!

9. Pada suhu 21°C satu molekul gas nitrogen mempunyai massa sebesar empat kali dari yang dimiliki satu molekul gas Hidrogen. Dengan suhu berapakah gas Nitrogen akan mempunyai kecepatan sama dengan gas Hidrogen?
10. Sebuah mesin kalor Carnot bekerja di antara dua reservoir bersuhu 527°C dan 127°C . Tentukan efisiensi mula-mula dan terakhir mesin tersebut!!

KUNCI JAWABAN

Uji Kompetensi

BAB 1

4. 5,5 m
6. $y = 36 \text{ m}$; $v = 16 \text{ m/s}$;
 $a = -2 \text{ ms}^{-2}$
8. a. $2 \text{ rad} + 50.t \text{ rad}$
b. 2.502 rad

BAB 2

1. b. 57,81 juta km
2. $2,555 \times 10^{26} \text{ N}$
3. a. $1,3549 \times 10^{12} \text{ s}$

BAB 3

2. a. salah b. 40 kg
4. 90 J
6. 0,8 m
8. 0,75 m
10. 0,1 m

BAB 4

2. $v = 2\pi \text{ m/s}$; $a = 0 \text{ m/s}^2$
4. 0,2 kg
8. 0,144 m
10. 500 N/m

BAB 5

2. $700\sqrt{3}$
4. $10\sqrt{2} \text{ m/s}$
6. 0,8 m

BAB 6

1. 0,1 m/s
2. 14 m/s
3. 25.000 N
4. a. 4.000 kg.m/s

BAB 7

1. $1,25 \text{ kg.m}^2/\text{s}$
5. a. 100 N
b. 50 ctg α
c. 0,5 ctg

BAB 8

1. terapung di air
2. 3 cm
3. $0,8 \text{ gr/cm}^3$
4. 0,75 bagian
5. $5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$

BAB 9

2. 4/3 dari semula
4. 327°C
5. $2,45 \times 10^6 \text{ Pa}$