

# TEORI KINETIK GAS

Bahan Ajar Fisika SMA Kelas XI Semester II



Nama :

Kelas :

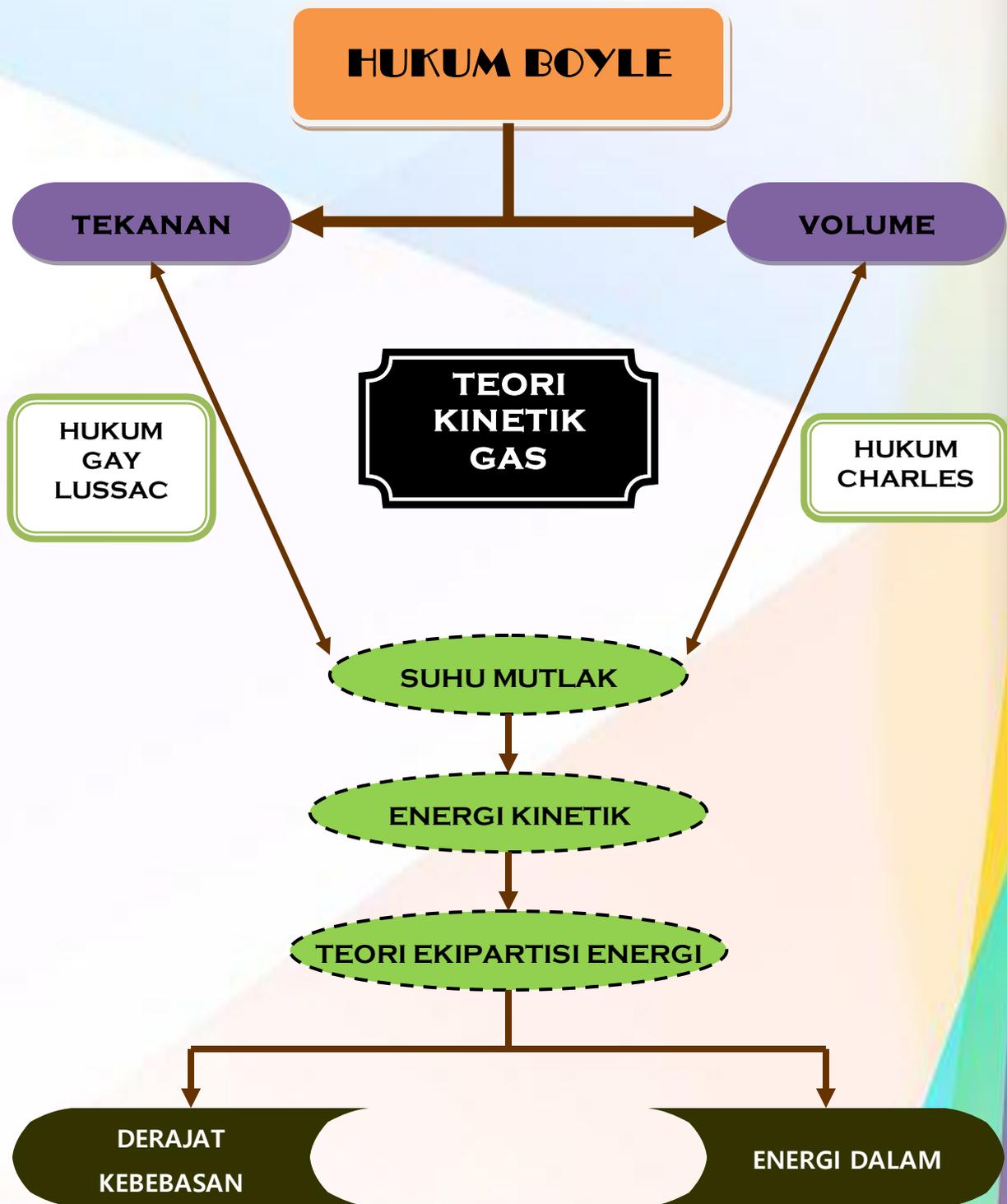
Bahan ajar Teori Kinetik Gas

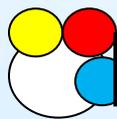
**Satuan Pendidikan** : SMAN 9 PADANG  
**Kelas** : XMIA 1  
**Mata Pelajaran** : FISIKA  
**Materi** : Teori Kinetik Gas  
**Jumlah Pertemuan** : 4 kali (4x 35 menit)

## PETUNJUK BELAJAR

- 1) Pelajarilah secara cermat dan pahami materi yang terdapat didalam bahan ajar, kemudian kerjakan soal-soal yang ada didalam bahan ajar ini
- 2) Baca buku-buku FISIKA SMA KELAS XI dan buku-buku lain yang relevan dan berkaitan dengan materi Fluida Dinamik sebagai pendukung
- 3) Tanyakan kepada guru jika ada hal-hal yang kurang jelas

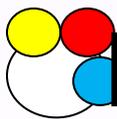
# PETA KONSEP





## A. KOMPETENSI INTI

1. Menghayati dan mengamalkan ajaran agama yang dianutnya.
2. Menghayati dan mengamalkan perilaku jujur, disiplin, tanggungjawab, peduli (gotong royong, kerjasama, toleran, damai), santun, responsif dan pro-aktif dan menunjukkan sikap sebagai bagian dari solusi atas berbagai permasalahan dalam berinteraksi secara efektif dengan lingkungan sosial dan alam serta dalam menempatkan diri sebagai cerminan bangsa dalam pergaulan dunia.
3. Memahami, menerapkan, dan menganalisis pengetahuan faktual, konseptual, prosedural, dan metakognitif berdasarkan rasa ingin tahunya tentang ilmu pengetahuan, teknologi, seni, budaya, dan humaniora dengan wawasan kemanusiaan, kebangsaan, kenegaraan, dan peradaban terkait penyebab fenomena dan kejadian, serta menerapkan pengetahuan prosedural pada bidang kajian yang spesifik sesuai dengan bakat dan minatnya untuk memecahkan masalah.
4. Mengolah, menalar, dan menyaji dalam ranah konkret dan ranah abstrak terkait dengan pengembangan dari yang dipelajarinya di sekolah secara mandiri, bertindak secara efektif dan kreatif, serta mampu menggunakan metoda sesuai kaidah keilmuan.



## B. KOMPETENSI DASAR & INDIKATOR

### 1. KD pada KI-1

Menyadari kebesaran Tuhan yang menciptakan dan mengatur alam jagad raya melalui pengamatan fenomena alam fisis dan pengukurannya.

#### Indikator:

- 1.1 Memelihara hubungan baik dengan sesama umat ciptaan Tuhan Yang Maha Esa
- 1.2 Bersyukur kepada Tuhan Yang Maha Esa sebagai bangsa Indonesia
- 1.3 Berdoa sebelum dan sesudah menjalankan sesuatu
- 1.4 Berserah diri(tawakal) kepada Tuhan setelah berikhtiar atau melakukan usaha.

## 2. KD pada KI-2

Menunjukkan perilaku ilmiah (memiliki rasa ingin tahu; objektif; jujur; teliti; cermat; tekun; hati-hati; bertanggung jawab; terbuka; kritis; kreatif; inovatif dan peduli lingkungan) dalam aktivitas sehari-hari sebagai wujud implementasi sikap dalam melakukan percobaan, melaporkan, dan berdiskusi.

### **Indikator:**

- 2.1 Memiliki rasa ingin tahu, teliti dan peduli lingkungan melalui diskusi dan kerja kelompok
- 2.2 Menunjukkan ketekunan, tanggung jawab, saling menghargai dalam kegiatan belajar dan bekerja baik secara individu maupun berkelompok.

## 3. KD pada KI-3

Memahami teori kinetik gas dalam menjelaskan karakteristik gas pada ruang tertutup

### **Indikator:**

- 3.8.1 Menjelaskan Pengertian Teori Kinetik Gas
- 3.8.2 Menjelaskan Persamaan Gas Ideal
- 3.8.3 Menjelaskan Sifat-sifat Gas Ideal
- 3.8.4 Menjelaskan Hukum Boyle – Gay Lussac
- 3.8.5 Menghitung jumlah mol gas yang terdapat pada persamaan keadaan gas ideal menurut Boyle – Gay Lussac
- 3.8.6 Menjelaskan Pengertian tekanan Gas Ideal
- 3.8.7 Menghitung Jumlah Tekanan Gas Ideal dalam Tabung
- 3.8.8 Menjelaskan Persamaan Energi Kinetik Rata-rata Partikel Gas
- 3.8.9 Menjelaskan Hubungan antara Suhu dengan Energi Kinetik Rata-rata Partikel Gas
- 3.8.10 Menghitung Suhu Mutlak yang Terdapat pada Gas Tertutup
- 3.8.11 Menghitung Jumlah Energy Kinetik dalam Tabung
- 3.8.12 Menjelaskan Pengertian Kecepatan Partikel Gas
- 3.8.13 Menjelaskan Pengertian Kecepatan efektif gas
- 3.8.14 Menjelaskan Persamaan Kecepatan Efektif
- 3.8.15 Menghitung Kecepatan Efektif dari partikel-partikel gas

- 3.8.16 Menjelaskan hubungan antara energy kinetik rata-rata partike gas dengan kecepatan efektif
- 3.8.17 Menjelaskan prinsip ekuipartisi energy
- 3.8.18 Menjelaskan konsep derajat kebebasan
- 3.8.19 Menjelaskan pengertian energi dalam
- 3.8.20 Meninjau persamaan energi dalam
- 3.8.21 Menghitung jumlah energi dalam gas monoatomik
- 3.8.22 Menghitung jumlah energi dalam gas diatomik

#### **4 KD pada KI-4**

Menyajikan ide/gagasan pemecahan masalah gejala pemanasan global dan dampaknya bagi kehidupan dan lingkungan.

#### **Indikator:**

- 4.2 Menyajikan data dan informasi tentang satelit buatan yang mengorbit bumi dan permasalahan yang ditimbulkannya.

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.

#### Info Fisika

*Gas ideal adalah gas yang dianggap ideal, memiliki sifat tertentu, sehingga dapat diterapkan pada teori.*

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 antar partikel 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.

# Hukum-Hukum Yang Mendasari Teori Kinetik Gas

A

## 1. Hukum Boyle

Robert Boyle (1627 – 1691) melakukan percobaan untuk menyelidiki hubungan tekanan dengan volume gas dalam suatu wadah tertutup pada suhu konstan.

Hubungan tersebut pertama kali dinyatakan pada tahun 1666, yang dikenal sebagai hukum Boyle, yang berbunyi: ***“jika suhu gas yang berada dalam bejana tertutup dijaga konstan, maka tekanan gas berbanding terbalik dengan volumenya”***. Secara matematis, pernyataan diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$$PV = \text{konstan} \quad P_1V_1 = P_2V_2$$

Di mana

$P$  = tekanan ( $\text{N/m}^2 = \text{Pa}$ )

$V$  = volume ( $\text{m}^3$ )

dengan:

$P_1$  = tekanan gas pada keadaan 1 ( $\text{N/m}^2$ )

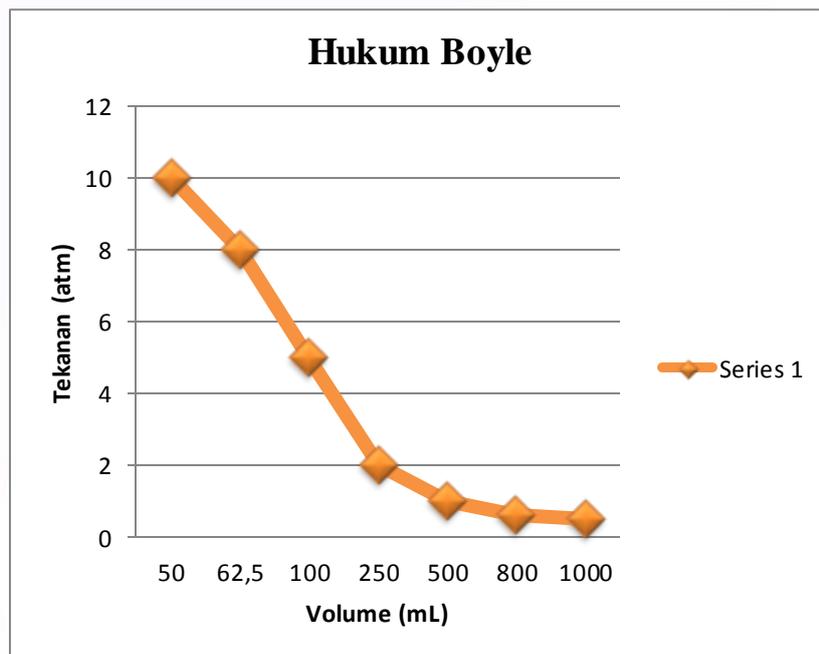
$V_1$  = volume gas pada keadaan 1 ( $\text{m}^3$ )

$P_2$  = tekanan gas pada keadaan 2 ( $\text{N/m}^2$ )

$V_2$  = volume gas pada keadaan 2 ( $\text{m}^3$ )

Tabel di bawah menunjukkan tekanan dan volume data untuk mencari tetapan jumlah gas pada suhu konstan. Kolom ketiga merupakan nilai konstanta ( $k$ ) untuk data ini dan selalu sama dengan tekanan dikalikan dengan volume. Saat salah satu variabel mengalami perubahan, perubahan lain sedemikian rupa sehingga hasil dari  $P \cdot V$  selalu tetap sama. Dalam kasus ini, konstantanya yaitu  $500 \text{ atm} \cdot \text{ml}$ .

Tekanan (atm)	Volume (mL)	$P \times V$ = k (atm . mL)
0,5	1000	500
0,625	800	500
1,0	500	500
2,0	250	500
5,0	100	500
8,0	62,5	500
10,0	50	500



Gambar 1. Grafik Hubungan  $P - V$  Pada  $T$  Konstan

Hubungan antara tekanan dan volume gas pada suhu konstan dapat dilukiskan dengan grafik seperti yang tampak pada Gambar 1 disamping. Grafik tersebut menunjukkan bahwa pada saat volumenya bertambah, tekanan gas akan berkurang. Proses pada suhu konstan disebut proses isotermis.

## Contoh Penerapan Hukum Boyle Pada Kehidupan Sehari-Hari

### a. Cat Semprot



Gambar 2. Cat Semprot

Kita tahu bahwa sebelum Kita semprot kaleng, kita harus mengkokok beberapa saat untuk mencampur dua bagian yang ada di dalam kaleng, yang kemudian akan terdengar bantalan bola bergetar dibagian dalam kaleng. Ada 2 zat yang tinggal di dalam kaleng, salah satunya adalah cat, yang lainnya adalah gas yang memiliki tekanan tinggi, yang berada dalam keadaan cair. Gas cair ini memiliki titik didih jauh di bawah suhu kamar. Kaleng ditutup

rapat yang akan mencegah gas ini tidak mendidih dan berubah menjadi bentuk gas. Artinya, sampai kita menekan nosel. Saat nosel ditekan, dan penutup terbuka, sekarang ada jalan keluar untuk gas. Gas cair yang ada di dalam kaleng langsung mendidih dan mengembang menjadi gas dan mendorong keluar bersama dengan cat yang mencoba untuk melepaskan diri dari tekanan tinggi ke udara luar yang memiliki tekanan lebih rendah. Proses ini akan memaksa cat juga ikut tersembur keluar dari nosel.

### b. Jarum Suntik

Jauh lebih sederhana daripada kaleng cat semprot. Jarum suntik semuanya memanfaatkan Hukum Boyle pada tingkat yang sangat dasar. Ketika kita menarik batang penutup pada jarum suntik itu menyebabkan volume dalam ruangan meningkat. Seperti yang kita ketahui, ini menyebabkan tekanan melakukan hal yang sebaliknya, yang menciptakan ruang vakum dengan tekanan rendah di banding tekanan atmosfer. Kemudian cairan yang tersedia di sisi lain dari jarum seperti darah, akan tersedot ke dalam ruang dalam jarum suntik, yang kemudian mengurangi volume dan meningkatkan tekanan kembali di tempat itu.

### c. Kaleng Soda

Biasanya Kita pernah mengambil sebotol soda, perlahan-lahan memutar tutup memungkinkan udara untuk secara bertahap melepaskan diri sebelum melepas tutup. Kita melakukan ini karena telah belajar dari waktu ke waktu bahwa jika membuka tutup terlalu cepat menyebabkan semburan isi kaleng soda di sekitar Anda. Peristiwa ini disebabkan udara penuh karbon dioksida (karbonasi) terpompa yang menyebabkan gelembung  $\text{CO}_2$  cepat keluar.

## 2. Hukum Charles

Jacques Charles (1746 – 1823) menyelidiki hubungan volume dengan suhu dalam suatu wadah tertutup pada tekanan konstan, yang berbunyi: ” ***jika tekanan gas yang berada dalam bejana tertutup (tidak bocor) dijaga tetap, maka volume gas sebanding dengan suhu mutlaknya***”. Secara matematis pernyataan diatas dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{V}{T} = \text{konstan} \quad \frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

Di mana:

$V$  : Volume ( $\text{m}^3$ )       $T$  : Suhu mutlak (K)

dengan:

$V_1$  = volume gas pada keadaan 1 ( $\text{m}^3$ )

$T_1$  = suhu mutlak gas pada keadaan 1 (K)

$V_2$  = volume gas pada keadaan 2 ( $\text{m}^3$ )

$T_2$  = suhu mutlak gas pada keadaan 2 (K)

*Gambar2. Grafik Hubungan  $V - T$  Pada  $T$  Konstan*

Hubungan antara volume gas dan suhu pada tekanan konstan dapat dilukiskan dengan grafik seperti yang tampak pada Gambar 2 disamping. Proses yang terjadi pada tekanan tetap disebut proses isobaris.

### 3. Hukum Gay-Lussac

Joseph Gay Lussac (1778-1805) menyelidiki hubungan suhu dengan tekanan dalam suatu wadah tertutup pada volume konstan yang berbunyi: “ jika volume gas yang berada dalam bejana tertutup dijaga konstan, maka tekanan gas sebanding dengan suhu mutlaknya”. Secara matematis pernyataan di atas dapat ditulis sebagai berikut:

$$\frac{P}{T} = \text{konstan} \quad \frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} :$$

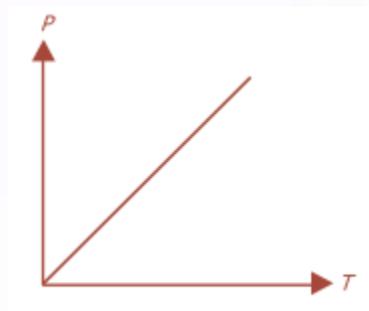
dengan:

P 1 = tekanan gas pada keadaan 1 (N/m<sup>2</sup>)

T 1 = suhu mutlak gas pada keadaan 1 (K)

P 2 = tekanan gas pada keadaan 2 (N/m<sup>2</sup>)

T 2 = suhu mutlak gas pada keadaan 2 (K)



Gambar 3. Grafik Hubungan P – T Pada V Konstan

Hubungan antara tekanan dan suhu gas pada volume konstan dapat dilukiskan dengan grafik seperti yang tampak pada Gambar 3 di samping. Proses yang terjadi pada volume konstan disebut proses isokhoris.

## 4. Hukum Boyle–Gay Lussac

Persamaan hukum Boyle – Gay Lussac merupakan gabungan dari ketiga hukum diatas dimana:

$$\frac{PV}{T} = \text{konstan}$$
$$\frac{P_1V_1}{T_1} = \frac{P_2V_2}{T_2}$$

Persamaan ini dikenal dengan persamaan Boyle-Gay Lussac. Persamaan ini sebaiknya digunakan untuk menyelesaikan soal-soal suatu gas yang jumlahnya tetap (massanya tetap) yang mengalami dua keadaan (keadaan 1 dan keadaan 2). Massa suatu gas adalah tetap jika ditaruh dalam wadah yang tidak bocor.

Jika suhu  $T$  tetap, dihasilkan  $Pv = \text{tetap}$ ; jika tekanan  $P$  tetap, dihasilkan  $\frac{P}{T}$  tetap.

Persamaan (6.4) berlaku untuk percobaan gas ideal dalam bejana tertutup (tidak ada kebocoran) sehingga massa gas tetap selama percobaan. Jika massa atau mol gas diubah, misal kita menggandakan mol gas  $n$ , dengan menjaga tekanan dan suhu tetap, ternyata hasil volum  $V$  yang ganda (lipat dua) juga. karena itu, boleh ditulis bilangan tetap diruas kanan persamaan (6.4) dengan  $nR$ , dengan  $R$  diperoleh dari percobaan, dan diperoleh persamaan umum gas ideal :

$$pV = nRT$$

Dengan

$P$  : tekanan (Pa atau atm) dengan  $1 \text{ atm} = 1 \times 10^5 \text{ Pa}$

$T$  : suhu (K)

$R$  : konstanta umum gas :  $8314 \text{ J kmol}^{-1}\text{K}^{-1}$

$V$  : volume ( $\text{m}^3$ )

## 5. Persamaan Umum Gas Ideal

Sebelum membahas lebih lanjut mengenai persamaan umum gas ideal, kita akan mendefinisikan dahulu beberapa istilah kimia yang berkaitan dengan gas ideal.

- a. Massa atom relatif ( $A_r$ ), adalah perbandingan massa rata-rata sebuah atom suatu unsur terhadap  $1/12$  kalimassa sebuah atom  $^{12}\text{C}$ . Harga massa atom relative bukanlah massa yang sebenarnya dari suatu atom, tetapi hanya merupakan harga perbandingan.

Contoh:

$$A_r \text{ H} = 1$$

$$A_r \text{ Ne} = 20$$

$A_r \text{ Ar} = 4$  Massa molekul relatif ( $M_r$ ), adalah jumlah keseluruhan massa atom relatif ( $A_r$ ) unsur-unsur penyusun senyawa.

- b. Mol ( $n$ ), adalah satuan banyaknya partikel yang besarnya merupakan hasil bagi massa suatu unsur (senyawa) dengan massa relatifnya ( $A_r$  atau  $M_r$ ).

$$n \text{ (mol)} = \frac{\text{massa unsur atau senyawa (gram)}}{A_r (M_r)}$$

- c. Bilangan Avogadro, adalah bilangan yang menyatakan jumlah partikel dalam satu mol.

$$\text{partikel/mol} = N_A = 6,023 \times 10^{23}$$

$$N = n N_A$$

$N$  adalah jumlah total partikel.

Hukum-hukum tentang gas dari Boyle, Charles, Gay Lussac, dan Boyle-Gay Lussac diperoleh dengan menjagasi satu atau lebih variabel dalam keadaan konstan untuk mengetahui akibat dari perubahan satu variabel. Berdasarkan Hukum Boyle-Gay Lussac diperoleh:

$$\frac{PV}{T} = \text{konstan atau } PV = k.$$

Apabila jumlah partikel berubah, maka volume gas juga akan berubah. Hal ini berarti bahwa harga  $PV/T =$  tetap. bergantung pada banyaknya partikel ( $N$ ) yang terkandung dalam gas. Persamaan di atas dapat dituliskan:

$$P.V = N.k.T \dots\dots\dots (i)$$

$k =$  konstanta Boltzmann, ( $k = 1,3810 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$ )

Karena  $N = n.N_A$ , maka:

$$P.V = n.N_A.k.T \dots\dots\dots (ii)$$

$N_A \cdot k = R$ , yang merupakan konstanta gas umum yang besarnya sama untuk semua gas, maka persamaan (ii) menjadi:

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

..... (8.5)

dengan:

$P$  = tekanan gas ( $N/m^2$ )

$V$  = volume gas ( $m^3$ )

$n$  = jumlah mol

$T$  = suhu mutlak (K)

$R$  = konstanta gas umum ( $J/mol \cdot K$ )

$R = 8,31 J/mol \cdot K = 0,082 L \cdot atm/mol \cdot K$

Persamaan (8.5) disebut **persamaan umum gas ideal**.

### Contoh 1

Suatu gas ideal sebanyak 4 liter memiliki tekanan 1,5 atmosfer dan suhu  $27^\circ C$ . Tentukan tekanan gas tersebut jika suhunya  $47^\circ C$  dan volumenya 3,2 liter!

Penyelesaian: Diketahui:  $V_1 = 4$  liter

$$V_2 = 3,2 \text{ liter}$$

$$P_1 = 1,5 \text{ atm}$$

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

$$T_2 = 47^\circ C = 47 + 273 = 320 \text{ K}$$

Ditanya:  $P_2 = \dots ?$

Jawab:

$$P_1 \cdot V_1 = P_2 \cdot V_2$$

$$T_1 \quad T_2$$

$$1,5 \cdot 4 = P_2 \cdot 3,2$$

$$300 \quad 320$$

$$P_2 = 2 \text{ atm}$$

## Penyebab Pemanasan Global

### B.

Digunakan teori kinetika gas untuk menunjukkan bahwa tekanan suatu gas yang dikerjakan pada suatu dinding-dinding wadahnya merupakan kosekuensi dari tumbukan molekul-molekul gas dengan dinding-dinding.

#### a. Anggapan Dasar Gas untuk gas ideal:

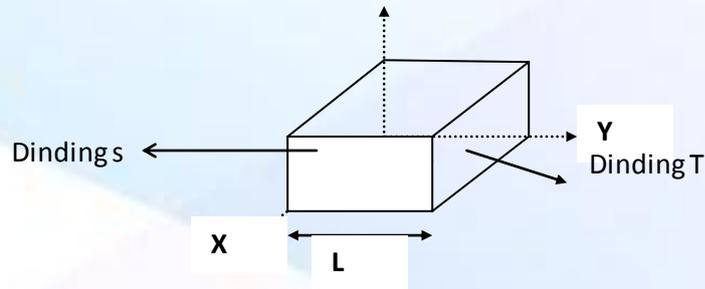
1. Gas terdiri dari molekul-molekul yang sangat banyak dan jarak pisah antar molekul jauh lebih besar daripada ukurannya. Ini berarti bahwa molekul-molekul menempati volume yang dapat diabaikan terhadap wadahnya.
2. Molekul-molekul memenuhi hukum gerak newton, tetapi secara keseluruhan mereka bergerak lurus secara acak dengan kecepatan tetap.
3. Molekul-molekul mengalami tumbukan lenting sempurna satu sama lain dengan dinding wadahnya. Jadi, dalam tumbukan energi kinetik adalah konstan.
4. Gaya-gaya antar molekul dapat diabaikan kecuali selama satu tumbukan yang berlangsung sangat singkat.
5. Gas yang dipertimbangkan adalah suatu zat tunggal, sehingga semua molekul adalah identik.

#### b. Penurunan Rumus Tekanan Gas dalam Ruang Tertutup

Teori kinetik menggunakan asumsi bahwa gerak molekul-molekul dalam gas adalah penyebab timbulnya tekanan. Beberapa asumsi dasar untuk gas ideal adalah sebagai berikut:

1. Gas terdiri dari partikel-partikel yang disebut atom.
2. Partikel-partikel gas bergerak dalam lintasan lurus dengan kelajuan tetap dan geraknya adalah acak.
3. Semua tumbukan partikel-partikel gas, baik antar partikel ataupun dengan dinding pembatasnya bersifat lenting sempurna
4. Selang waktu tumbukan antara satu partikel dengan partikel yang lain berlangsung sangat singkat
5. Volum partike-partikel gas sangat kecil dibandingkan dengan ruang yang ditempatinya sehingga dapat diabaikan
6. Untuk semua partikel-partikel gas berlaku hukum Newton tentang gerak

Untuk mempelajari keadaan molekul atau (partikel) gas, digunakan prinsip mekanika Newton dimana suatu gas ideal terkandung di dalam sebuah ruang kubus dengan rusuk  $L$ .



Gambar 4. Kubus tertutup berisi gas ideal

Beberapa buah partikel gas terkandung dalam ruang yang berbentuk kubus dengan panjang rusuk  $L$ . Dengan meninjau sebuah molekul gas bermassa  $m_0$  yang bergerak menuju dinding  $X$  dengan kecepatan terhadap sumbu  $X$  adalah  $v_{1x}$ . Molekul ini mempunyai komponen momentum terhadap  $X$  sebesar  $m_0 v_{1x}$  ke arah dinding. Karena tumbukan bersifat lenting sempurna, maka setelah terjadi tumbukan kecepatan molekul menjadi  $-v_{1x}$  dan momentumnya  $-m_0 v_{1x}$ . Sehingga perubahan momentum gas:

$\Delta p = \text{momentum akhir} - \text{momentum awal}$

$$= (-m_0 v_{1x}) - (m_0 v_{1x})$$

$$= -2m_0 v_{1x}$$

Selang waktu untuk perjalanan bolak balik sebuah molekul tanpa bertumbukan dari  $X$ - $Y$ - $X$  adalah:

$$\Delta t = \frac{2L}{v_{1x}}$$

Laju perubahan momentum molekul dituliskan sebagai:

$$\frac{\Delta p}{\Delta t} = \frac{2m_0 v_{1x}}{2L/v_{1x}} = \frac{m_0 v_{1x}^2}{L}$$

Dalam hukum II Newton, laju perubahan momentum molekul ini sama dengan gaya yang dikerjakan molekul pada dinding sehingga

$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

$$F = \frac{m_0 v_{1x}^2}{L}$$

Jika luas dinding batas  $A$  adalah  $L^2$  maka tekanan gas  $P$  adalah gaya per satuan luas, sehingga:

$$P = \frac{F}{A} = \frac{m_0 v_{1x}^2 / L}{L^2}$$

$$= \frac{m_0 v_{1x}^2}{L^3}$$

Jika ada sejumlah  $N$  molekul gas dalam ruang tertutup dan komponen  $X$  nya adalah  $v_{1x}, v_{2x}, v_{3x}, \dots, v_{Nx}$ , maka tekanan total gas pada dinding  $X$  menjadi

$$P = \frac{m_0}{L^3} (v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + v_{3x}^2 + \dots + v_{Nx}^2)$$

Dengan mengetahui bahwa nilai kuadrat rata-rata komponen  $X$  dari kecepatan diberikan oleh

$$\overline{v_x^2} = \frac{v_{1x}^2 + v_{2x}^2 + v_{3x}^2 + \dots + v_{Nx}^2}{N}$$

maka persamaan (6.10) menjadi

$$P = \frac{m_0}{L^3} N \overline{v_x^2}$$

Dalam gas, molekul-molekul bergerak ke segala arah dalam ruang tiga dimensi. Sesuai dengan asumsi gas ideal, setiap molekul gas bergerak acak dengan kecepatan yang tetap, maka nilai kuadrat rata-rata kecepatan pada arah  $X$ ,  $Y$ , dan  $Z$  adalah sama besar, yaitu

$$\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2}$$

sehingga kuadrat rata-rata kecepatan  $\overline{v^2}$  adalah resultan dari kuadrat rata-rata  $\overline{v_x^2}$ ,

$$\overline{v_y^2}, \overline{v_z^2}$$

yaitu

$$\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2}$$

$$\overline{v^2} = 3\overline{v_x^2}$$

$$\overline{v_x^2} = \frac{1}{3}\overline{v^2}$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (6.13) ke persamaan (6.15) diperoleh:

$$p = \frac{m_0}{L^3} N \left( \frac{1}{3} \overline{v^2} \right) = \frac{1}{3} \frac{m_0 N \overline{v^2}}{L^3} \quad (6.16)$$

Jika  $L^3$  adalah volume gas  $V$  sehingga persamaan (6.16) menjadi:

$$P = \frac{1}{3} m_0 \overline{v^2} \left( \frac{N}{V} \right) \quad (6.17)$$

Keterangan:

$P$  = tekanan gas (Pa)

$N$  = banyak molekul ( partikel )

$m_0$  = masa sebuah molekul (kg)

$V$  = Volume gas ( $m^3$ )

$\overline{v^2}$  = rata-rata kuadrat kecepatan ( $\frac{m}{s}$ )<sup>2</sup>

### c. Hubungan Tekanan Gas dan Energi Kinetik

Energi kinetik rata-rata  $\overline{E_k}$  berhubungan dengan rata-rata kuadrat kecepatan,  $\overline{v^2}$  yaitu,  $\overline{E_k} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2}$  Oleh karena itu dapat dinyatakan bahwa tekanan gas pada persamaan

(6.16) dalam energi kinetik rata-rata:

$$\frac{1}{3} m_0 \overline{v^2} = \frac{2}{3} \left( \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} \right) = \frac{2}{3} \overline{E_k}$$

dan persamaan (6.16) dapat diubah menjadi

$$p = \frac{1}{3} m_0 \overline{v^2} \left( \frac{N}{V} \right)$$

$$p = \frac{2}{3} \overline{E_k} \left( \frac{N}{V} \right)$$

C

## Suhu dan Energi Kinetik Rata-Rata

### Persamaan Hubungan Suhu Dan Energi Kinetik Rata-Rata Molekul Gas

Kita akan menurunkan hubungan suhu mutlak  $T$  dan energi kinetik rata-rata partikel gas,  $\overline{E_k}$ , dari dua persamaan yaitu persamaan (6.5) dan (6.18).

Persamaan (6.5) dapat kita tulis dalam bentuk

$$pV = NkT \text{ atau } p = \frac{N}{V} kT \quad (6.19)$$

Ruas kiri persamaan(6-17)sama dengan ruas kiri persamaan (6-19), sehingga:

$$\frac{2}{3} \overline{E_k} \left( \frac{N}{V} \right) = \frac{N}{V} kT$$

$$\frac{2}{3} \overline{E_k} = kT$$

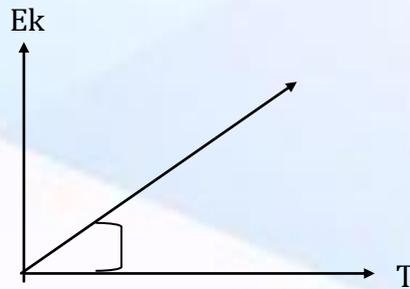
$$T = \frac{2}{3k} \overline{E_k} \text{ atau } \overline{E_k} = \frac{3}{2} kT \quad (6.20)$$

dengan  $k = 1,38 \times 10^{-23} \text{ JK}^{-1}$  disebut tetapan Boltzman. Dapatlah kita nyatakan kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Suhu gas pada persamaan (6.20) tidak mengandung besaran  $\left( \frac{N}{V} \right)$  ini berarti banyak molekul persatuan volum  $\frac{N}{V}$  tidak mempengaruhi suhu gas.
- 2) Persamaan (6.20) menyatakan bahwa suhu gas hanya berhubungan dengan gerak molekul (energi kinetik atau kecepatan molekul). Makin cepat gerak molekul gas, makin tinggi suhu gas.

Perhatikan energi kinetik rata-rata molekul gas pada persamaan (6-20) hanya berlaku jika jenis gas adalah gas mono atomik. Untuk jenis gas diatomik atau poliatomik persamaan (6-20) tidak berlaku. Jika tidak disebut dalam soal, maka yang dimaksud

adalah gas monoatomik.  $\overline{Ek} = \frac{3}{2}kT$ . Dari persamaan (6-20),  $\overline{Ek} = \frac{3}{2}kT$ , jika grafik energi kinetik terhadap suhu mutlak gas (gradien  $E_k$ -T) diberikan, maka dari gradien grafik dapat ditentukan nilai tetapan Boltzman k: gradien =  $\tan \theta = \frac{3}{2}k$



Gambar 5. Grafik energi kinetik terhadap suhu mutlak

## D Kelajuan Efektif gas

Dari persamaan (6-16) diperoleh bahwa tekanan gas berhubungan dengan rata-rata dari kuadrat kelajuan  $\overline{v^2}$ . Karena molekul-molekul gas tidak seluruhnya bergerak dengan kecepatan yang sama maka perlu didefinisikan arti  $\overline{v^2}$ . Misalkan di dalam wadah tertutup ada  $N_1$  molekul bergerak dengan kecepatan  $v_1$ ,  $N_2$  molekul bergerak dengan kecepatan  $v_2$ , dan seterusnya. Maka rata-rata kuadrat kelajuan partikel gas,  $\overline{v^2}$ , dapat dinyatakan dengan persamaan berikut:

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

(6.21)

dengan  $N = N_1 + N_2 + N_3 + \dots = \sum N_i$

(6.22)

kelajuan efektif  $v_{RMS}$  (RMS=root mean square) didefinisikan sebagai akar rata-rata kuadrat kelajuan,  $\overline{v^2}$ :

$$v_{RMS} = \sqrt{\overline{v^2}}$$

(6.23)

### a. Hubungan Kelajuan Efektif Gas dengan Suhu Mutlaknya

Dengan menggunakan kelajuan efektif  $v_{RMS}$  energi kinetik rata-rata partikel gas dapat dinyatakan sebagai:

$$\overline{E_k} = \frac{1}{2} m_0 v_{RMS}^2 \quad (6.24)$$

dengan menyamakan ruas kanan persamaan (6.24) dan (6.20) diperoleh:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m_0 v_{RMS}^2 &= \frac{3}{2} kT \\ v_{RMS}^2 &= \frac{3kT}{m_0} \\ v_{RMS} &= \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} \end{aligned} \quad (6.25)$$

dengan  $m_0$  adalah massa sebuah molekul gas.

### b. Perbandingan Kelajuan Efektif Berbagai Gas

Agar dapat melihat perbandingan kelajuan efektif berbagai gas, akan diubah bentuk persamaan (6.24) agar dapat dinyatakan dalam massa molekul gas,  $M$ . Dari

persamaan  $m_0 = \frac{M}{N_A}$  dan persamaan (6.12):  $k = \frac{R}{N_A}$  diperoleh:

$$\begin{aligned} v_{RMS} &= \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3(R/N_A)T}{M/N_A}} \\ v_{RMS} &= \sqrt{\frac{3RT}{M}} \end{aligned} \quad (6.26)$$

Pernyataan tentang kecepatan efektif pada persamaan (6.26) menyatakan bahwa pada suhu tertentu, molekul-molekul gas yang lebih ringan (massa molekul  $M$  lebih kecil) secara rata-rata bergerak lebih cepat daripada molekul-molekul gas yang lebih berat.

### c. Hubungan Kecepatan Efektif Gas dengan Tekanannya

Perhatikan massa total gas  $m$  adalah hasil kali banyak molekul  $N$  dengan massa sebuah molekul  $m_0$ , ditulis:

$$m = Nm_0 \text{ atau } m_0 = \frac{m}{N} \quad (6.27)$$

dengan menggunakan persamaan (6.11) dan (6.26) dapat dinyatakan persamaan yang menghubungkan kecepatan efektif gas dengan tekanannya:

$$pV = NkT$$

$$kT = \frac{pV}{N}$$

(6.28)

dengan memasukkan nilai  $kT$  dari persamaan (6.27) dan  $m_0$ , dari persamaan (6.26) ke persamaan (6.24) diperoleh

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3\left(\frac{\rho V}{N}\right)}{\frac{m}{N}}}$$

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{3pV}{m}} = \sqrt{\frac{3p}{m/V}}$$

$$v_{RMS} = \sqrt{\frac{3p}{\rho}} \tag{6.29}$$

di mana:  $\rho$  adalah massa jenis gas.

## E. Derajat Kebebasan dan Teorema Ekipartisi Energi

### 1. Derajat Kebebasan

Dari persamaan maka jika terdapat  $N$  partikel gas, energy kinetik totalnya adalah:

$$\vec{E}_K = \frac{3}{2} NkT$$

Karena hampir tidak ada gaya tarik-menarik antara partikel gas, maka energi dalam gas tersebut ( $U$ ) sama dengan energi kinetik total gas tersebut.

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

Persamaan tersebut berlaku untuk gas monoatomik (He, Ar, Ne) Untuk gas diatomik (N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) diperoleh:

a) pada suhu rendah ( $\pm 300$  K):

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

b) pada suhu sedang ( $\pm 500$  K):

$$U = \frac{5}{2} NkT$$

c) pada suhu tinggi ( $\pm 1000$  K):

$$U = \frac{7}{2} NkT$$

## Contoh 2

Suatu gas monoatomik sebanyak 0,2 mol berada dalam ruang tertutup pada suhu 47 o C. Berapakah energi dalam gas tersebut?

Diketahui:  $n = 0,2$  mol

$$T = (47 + 273)K = 320 \text{ K}$$

Ditanya:  $U = \dots ?$

Jawab :

$$U = \frac{3}{2} nRT = \frac{3}{2} \times 0,2 \times 8,31 \times 320 = 797,76 \text{ joule}$$

## 2. Teorema Ekipartisi Energi

Energi kinetik rata-rata molekul suatu gas pada suhu mutlak  $T$  dinyatakan oleh :

$$\overline{E_k} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v^2} = 3 \left( \frac{1}{2} kT \right) \quad \text{Faktor pengali 3 pada persamaan diatas muncul pada}$$

persamaan (6-15) :  $\overline{v^2} = 3\overline{v_x^2} = 3\overline{v_x^2}$ , ini muncul karena ekivalensi dari rata-rata kuadrat

komponen-komponen kecepatan:  $\overline{v^2} = \overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2} = 3\overline{v_x^2}$

Ekivalensi ini menunjukkan fakta bahwa kelakuan gas tidak bergantung pada pemilihan orientasi(arah) system koordinat XYZ, dan dapat ditulis :

$\frac{1}{2} m_0 \overline{v_x^2} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v_y^2} = \frac{1}{2} m_0 \overline{v_z^2} = \frac{1}{2} kT$  Jumlah ketiga kontribusi ini memberikan persamaan (6.20).

Faktor pengali 3 ternyata berhubungan dengan ketiga derajat kebebasan suatu molekul gas monoatomik. Tiap derajat kebebasan berhubungan dengan kemampuan suatu molekul untuk berpartisipasi (berperan serta) dalam suatu gerakan satu dimensi yang memberi kontribusi (menyumbang) ke energi mekanik molekul tersebut. Ini diilustrasikan dengan sangat baik oleh derajat kebebasan suatu gerakan translasi: sebuah molekul dapat memiliki suatu komponen kecepatan dalam arah  $X$  yang memberi kontribusi energi mekanik  $\frac{1}{2} m_0 \overline{v_x^2}$ .

Energi kinetik sebuah molekul adalah  $\frac{1}{2} m_0 (\overline{v_x^2} + \overline{v_y^2} + \overline{v_z^2})$ , karena ada tiga arah berbeda dimana molekul dapat bergerak, maka gas ideal monoatomik memiliki tiga derajat kebebasan, dan energi mekanik rata-rata per molekul sama dengan energi kinetik rata-rata per-molekul (energi potensial = 0):  $\overline{E_m} = \overline{E_k} = 3 \left( \frac{1}{2} kT \right)$

Pernyataan umum diatas dikenal sebagai teorema ekupartisi energi, yang berbunyi sebagai berikut:

Untuk suatu sistem molekul-molekul gas pada suhu mutlak  $T$  dengan tiap molekul memiliki  $\nu$  derajat kebebasan, rata-rata energi mekanik per-molekul  $\overline{E_m}$  adalah:

$$\overline{E_m} = \overline{E_k} = \nu \left( \frac{1}{2} kT \right) \quad (6.30)$$

Persamaan (6.30) menyimpulkan bahwa secara rata-rata, energi mekanik  $\frac{1}{2} kT$  berhubungan dengan tiap derajat kebebasan. Teorema ekupartisi energi diusulkan pertama kali oleh Ludwig Boltzmann.

## Energi Dalam Pada Gas Ideal

F.

Gas ideal yang terkurung dalam sebuah wadah tertutup mengandung banyak sekali molekul. Tiap molekul gas memiliki energi kinetik rata-rata  $\overline{E_k} = v\left(\frac{1}{2}kT\right)$ . Energi dalam suatu gas didefinisikan sebagai jumlah energi kinetik seluruh molekul gas yang terdapat didalam wadah tertutup. Jika ada sejumlah  $N$  molekul gas dalam wadah, maka energi dalam gas  $U$  merupakan hasil kali  $N$  dengan energi kinetik tiap molekul,

$$\overline{E_k} : U = N\overline{E_k} = Nv\left(\frac{1}{2}kT\right) \quad (6.32)$$

untuk gas monoatomik

$$(v = 3) : U = 3N\left(\frac{1}{2}kT\right) \quad (6.33)$$

untuk gas diatomik

$$(v = 5) : U = 5N\left(\frac{1}{2}kT\right) \quad (6.34)$$



## Ayo Berlatih !!



### SOAL PILIHAN GANDA:

- Partikel-partikel gas ideal memiliki sifat-sifat antara lain :
  - selalu bergerak
  - tidak tarik menarik
  - bertumbukan lenting sempurna
  - tidak mengikuti Hukum Newton tentang gerakPernyataan yang benar adalah ...
  - 1, 2, dan 3
  - 2, 3, dan 4
  - 1, 3, dan 4
  - 1 dan 3
  - 2 dan 4
- Jika suatu gas ideal dimampatkan secara isothermal sampai volumenya menjadi setengah dari volume semula maka ....
  - tekanan dan suhu tetap
  - tekanan menjadi dua kali dan suhu tetap
  - tekanan tetap dan suhu menjadi dua kalinya
  - tekanan menjadi dua kalinya dan suhu menjadi setengahnya
  - tekanan dan suhu menjadi setengahnya.
- Gas dalam ruangan tertutup yang berolome 20000 liter dan suhu  $27^{\circ}\text{C}$  memiliki tekana 10atm.tentukan jumlah mol yang ada dalam ruangan tersebut...
  - 8130,081 mol
  - $2,70 \times 10^{-4}\text{mol}$
  - 5934782,09 mol
  - 0,138 mol
  - 1 mol
- Suatu gas ideal dengan volume 2 liter,suhunya  $7^{\circ}\text{C}$  dan tekanan 0,7 atm menempati sebuah ruang.Jika gas tersebut didinginkan pada volume tetap sehingga suhunya menjadi  $-73^{\circ}\text{C}$ . Tentukan tekanan gas.....
  - 5 atm
  - 0,5 atm
  - 0,06 atm
  - 0,512 atm
  - 10 atm

5. Pada keadaan normal ( $T = 0^\circ\text{C}$  dan  $p = 1 \text{ atm}$ ), 4 gram gas oksigen ( $\text{O}_2$ ) dengan berat molekul  $M_r = 32$  memiliki volume sebesar .... ( $R = 8.314 \text{ J/kmol K}$ ;  $1 \text{ atm} = 105 \text{ N/m}^2$ )
- $1,4 \times 10^{-6} \text{ m}^3$
  - $2,8 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
  - $22,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$
  - $2,8 \text{ m}^3$
  - $22,4 \text{ m}^3$
6. Sebuah tangki diisi dengan gas ideal bermassa 10 kg pada tekanan 4 atm dan suhu  $47^\circ\text{C}$ . Tangki tersebut memiliki lubang kecil sehingga memungkinkan gas dapat lolos keluar. Ketika suhu  $27^\circ\text{C}$  dan tekanan gas 3 atm, massa gas yang lolos keluar dari tangki jika  $1 \text{ atm} = 105 \text{ Pa}$  adalah ....
- 2 kg
  - 3 kg
  - 4 kg
  - 5 kg
  - 6 kg
7. Diketahui volume bola B dua kali volume bola A. Kedua bola terisi gas ideal. Volume tabung penghubung dapat diabaikan. Gas A berada pada suhu 300 K. Jika jumlah molekul gas dalam bola A adalah  $N$  dan jumlah molekul gas dalam bola B adalah  $3N$ , suhu gas dalam bola B adalah ....
- 150 K
  - 200 K
  - 300 K
  - 450 K
  - 600 K
8. Sebuah bejana volume 2 L berisi gas nitrogen pada tekanan 2 atm, dihubungkan dengan bejana lain volume 1 L yang berisi gas oksigen pada tekanan 1 atm. Berapa tekanan campuran gas?
- $2/3 \text{ atm}$
  - $4/3 \text{ atm}$
  - $5/3 \text{ atm}$
  - $3/5 \text{ atm}$
  - $1/2 \text{ atm}$
9. Jika suhu gas dinaikkan, kecepatan rata-rata partikel gas bertambah karena kecepatan gas...
- Sebanding dengan akar masa partikel
  - Sebanding dengan akar suhu mutlak
  - Berbanding terbalik dengan masa partikel
  - Sebanding dengan suhu mutlak gas
  - Sebanding dengan kuadrat suhu mutlak

10. Berapa kecepatan efektifitas gas bermasa jenis  $10 \text{ kg/m}^3$  yang berada pada tabung bertekanan  $3 \times 10^5 \text{ Pa}$ ?

a. 100 m/s

b. 200 m/s

c. 300 m/s

d. 500 m/s

e. 600m/s

## Kunci jawaban

### **Pilihan Ganda:**

- |      |       |
|------|-------|
| 1. A | 6. A  |
| 2. B | 7. B  |
| 3. A | 8. C  |
| 4. B | 9. B  |
| 5. B | 10. C |

## Daftar Pustaka

Haryadi, Bambang.2009. *Fisika untuk SMA/MA kelas XI*. Jakarta : Pusat Perbukuan.

