

# MODUL SAKTI UTBK

# SBMPTN

# FISIKA

RINGKASAN SUPERLENGKAP  
FULL RUMUS SAKTI  
HAFALAN SUPERCEPAT

**FISIKA**

# Bab 1

## Besaran dan Satuan

### A. Pengertian Besaran

Besaran adalah segala sesuatu yang dapat diukur dan dinyatakan dengan nilai.

### B. Besaran Menurut Penyusunnya

#### a. Besaran Pokok

Besaran pokok adalah besaran yang satuannya telah ditetapkan terlebih dahulu dan tidak tersusun dari besaran lain.

Besaran pokok terdiri atas **TUJUH** besaran. Tujuh besaran pokok dan satuannya berdasarkan sistem **satuan internasional (SI)** sebagaimana yang tertera pada tabel berikut.

| Besaran Pokok     | Satuan (SI)   | Dimensi      |
|-------------------|---------------|--------------|
| Massa             | kilogram (kg) | (M)          |
| Panjang           | meter (m)     | (L)          |
| Waktu             | sekon (s)     | (T)          |
| Kuat arus         | ampere (A)    | (I)          |
| Suhu              | kelvin (K)    | ( $\theta$ ) |
| Intensitas cahaya | candela (Cd)  | (J)          |
| Jumlah zat        | mol (mol)     | (N)          |

Sistem satuan internasional (SI) artinya sistem satuan yang paling banyak digunakan di seluruh dunia, yang berlaku secara internasional.

#### b. Besaran Turunan

Besaran turunan adalah besaran-besaran yang diturunkan dari besaran pokok.

Contoh dari besaran turunan adalah luas suatu daerah persegi panjang. Luas sama dengan panjang dikali lebar, dimana panjang dan lebar keduanya merupakan besaran pokok panjang.

Perhatikan tabel besaran turunan, satuan, dan dimensi di bawah ini.

| Besaran Turunan        | Satuan                           | Dimensi                        |
|------------------------|----------------------------------|--------------------------------|
| Massa jenis ( $\rho$ ) | $\text{kg.m}^{-3}$               | $\text{ML}^{-3}$               |
| Gaya (F)               | $\text{kg.m.s}^{-2}$             | $\text{MLT}^{-2}$              |
| Usaha (W)              | $\text{kg.m}^2.\text{s}^{-2}$    | $\text{ML}^2 \text{T}^{-2}$    |
| Tekanan (P)            | $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2}$ | $\text{ML}^{-1} \text{T}^{-2}$ |
| Daya                   | $\text{kg.m}^2.\text{s}^{-3}$    | $\text{ML}^2 \text{T}^{-3}$    |
| Momentum               | $\text{kg.m.s}^{-1}$             | $\text{MLT}^{-1}$              |
| Luas (A)               | $\text{m}^2$                     | $\text{L}^2$                   |

### C. Besaran Menurut Arah Dan Nilainya

#### a. Besaran Skalar

Besaran **SKALAR** adalah besaran yang **HANYA** memiliki **NILAI**. Contoh besaran skalar adalah massa, panjang, waktu, energi, usaha, suhu, kelajuan, jarak, dan lain-lain.

#### b. Besaran Vektor

Besaran **VEKTOR** adalah besaran yang memiliki **NILAI** dan **ARAH**. Contohnya adalah gaya, berat, kuat arus, kecepatan, percepatan, perpindahan, posisi, dan lain-lain.

1. Penjumlahan 2 vektor yang sejajar dan searah

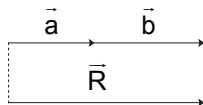
**Contoh:**

Diketahui 2 buah vektor **a** dan **b** mengarah ke kanan. Panjang **a** adalah 4 cm dan **b** adalah 5 cm. Tentukan resultan vektor tersebut?

**Jawab:**



Maka, resultan vektor (**R**) (penjumlahan vektor **a** dan **b**) digambarkan sebagai berikut:



Jadi, resultan vektor **R** adalah:

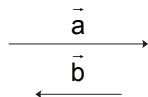
$$\vec{R} = a + b = 4 + 5 = 9 \text{ cm ke kanan}$$

2. Pengurangan dua vektor yang sejajar dan berlawanan arah.

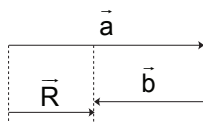
**Contoh:**

Diketahui 2 buah vektor **a** dan **b**. Panjang **a** adalah 8 cm dan **b** adalah 5 cm. Tentukan resultan vektor tersebut?

**Jawab:**



Maka, resultan vektor (**R**) digambarkan sebagai berikut:



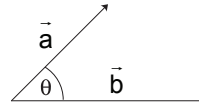
Jadi, nilai resultan vektor **R** adalah:

$$\vec{R} = a - b = 8 - 5 = 3 \text{ cm ke kanan}$$

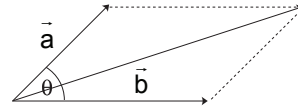
3. Penjumlahan vektor untuk 2 buah vektor yang membentuk sudut  $\theta$

Misalkan:

Diketahui dua buah vektor **a** dan **b** membentuk sudut  $\theta$  seperti pada gambar di bawah ini:



Maka, resultan vektor **R** digambarkan sebagai berikut:



Sedangkan, nilai resultan vektor **R** dirumuskan dengan:

$$R = \sqrt{a^2 + b^2 + 2 \cdot a \cdot b \cdot \cos \theta}$$

## D. Satuan

Satuan adalah ukuran dari suatu besaran yang digunakan untuk mengukur. Jenis-jenis satuan, yaitu:

### a. Satuan Baku

Satuan baku adalah satuan yang telah diakui dan disepakati pemakaiannya secara internasional atau disebut dengan **satuan internasional (SI)**.

**Contoh:** meter, kilogram, detik, dan lain-lain.

Satuan baku yang berlaku secara internasional disebut satuan internasional (SI). Satuan SI ada dua macam, yaitu:

1. Sistem **MKS (Meter Kilogram Sekon)**
2. Sistem **CGS (Centimeter Gram Second)**

### b. Satuan Tidak Baku

Satuan tidak baku adalah satuan yang tidak diakui secara internasional dan hanya digunakan pada suatu wilayah tertentu.

**Contoh:** depa, hasta, kaki, lengan, langkah.

## E. Angka Penting

### a. Aturan Angka Penting

1. Semua angka bukan nol adalah angka penting. Contoh:

- 1234 (empat angka penting)
- 23,457 (lima angka penting)

2. Angka nol yang terletak di antara angka bukan nol adalah angka penting. Contoh:
  - 203 (tiga angka penting)
  - 1203,76 (enam angka penting)
3. Angka nol yang terletak di sebelah kanan angka bukan nol adalah angka penting, kecuali ada penjelasan lain. Contoh:
  - 7000 (empat angka penting)
  - 34050000 (lima angka penting)  
(tanda garis bawah di angka kelima menunjukkan batas angka penting)
4. Angka nol yang terletak di sebelah kiri angka bukan nol adalah bukan angka penting. Contoh:
  - 0,007 (satu angka penting)
  - 0,348 (tiga angka penting)

#### b. Aturan Pembulatan

1. Angka yang lebih besar dari 5 dibulatkan ke atas.  
**Contoh:** 3,637 dibulatkan menjadi 3,64 (karena 7 lebih besar dari 5).
2. Angka yang lebih kecil dari 5 dibulatkan ke bawah.  
**Contoh:** 51,73 dibulatkan menjadi 51,7 (karena 3 lebih kecil dari 5)
3. Angka yang tepat sama dengan 5 diatur sebagai berikut:
  - Dibulatkan ke atas jika angka sebelumnya adalah ganjil. Contoh: 67,35 dibulatkan menjadi 67,4 (karena 3 angka ganjil).
  - Dibulatkan ke bawah jika angka sebelumnya adalah genap. Contoh: 38,45 dibulatkan menjadi 38,4 (karena 4 angka genap).

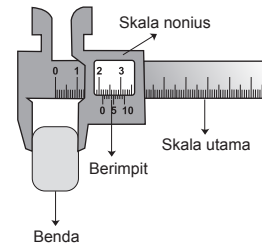
## F. Pengukuran

Pengukuran adalah kegiatan membandingkan nilai besaran yang diukur dengan besaran sejenis yang ditetapkan sebagai satuan.

Berikut beberapa contoh alat ukur:

#### a. Alat Ukur Panjang

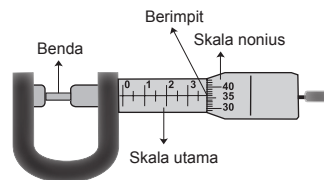
1. Meteran kelos (ketelitian sampai 1 cm)
2. Penggaris (ketelitian sampai 0,1 cm atau 1 mm)
3. Jangka sorong (ketelitian sampai 0,01 cm atau 0,1 mm)



Cara membaca jangka sorong:

$$\begin{array}{rcl} \text{Skala utama} & : & 2,1 \text{ cm} \\ \text{Skala nonius} & : & 0,04 \text{ cm} \\ \hline \text{Hasil pengukuran} & : & 2,14 \text{ cm} \end{array} +$$

4. Mikrometer sekrup (ketelitian sampai 0,01 mm)



Cara membaca mikrometer sekrup:

$$\begin{array}{rcl} \text{Skala utama} & : & 3,5 \text{ mm} \\ \text{Skala nonius} & : & 0,36 \text{ mm} \\ \hline \text{Hasil pengukuran} & : & 3,86 \text{ mm} \end{array} +$$

Mikrometer sekrup digunakan untuk mengukur diameter benda bulat dan plat yang sangat tipis.

#### b. Alat Ukur Massa

Contoh alat ukur massa adalah:

1. Neraca digital (ketelitian sampai 0,001 gr)
2. Neraca O'Hauss (ketelitian sampai 0,01 gr)
3. Neraca sama lengan (ketelitian sampai 0,001 gr)

# Bab 2

## Gerak

### A. Persamaan Gerak

#### a. Vektor Posisi

$$\vec{r} = x\vec{i} + y\vec{j} + z\vec{k}$$

##### • Vektor perpindahan

Jika suatu benda berpindah dari posisi  $r_1$  ke  $r_2$  maka vektor perpindahannya dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Delta \vec{r} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

$$\Delta \vec{r} = (x_2 - x_1)\vec{i} + (y_2 - y_1)\vec{j} + (z_2 - z_1)\vec{k}$$

##### • Besar perpindahan

$$|\Delta \vec{r}| = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2}$$

$$|\Delta \vec{r}| = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

#### b. Vektor Kecepatan

$$\vec{v} = v_x\vec{i} + v_y\vec{j} + v_z\vec{k}$$

##### • Nilai kecepatan

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

##### • Kecepatan rata-rata

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{\vec{r}_2 - \vec{r}_1}{t_2 - t_1}$$

$$\vec{v}_x = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1}$$

#### c. Vektor Percepatan

$$\vec{a} = a_x\vec{i} + a_y\vec{j} + a_z\vec{k}$$

##### • Nilai percepatan

$$|a| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

##### • Percepatan rata-rata

$$\vec{a} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{\vec{v}_2 - \vec{v}_1}{t_2 - t_1}$$

$$\vec{a}_x = \frac{\Delta v_x}{\Delta t} = \frac{v_{x2} - v_{x1}}{t_2 - t_1}$$

##### Keterangan:

x : nilai vektor posisi r di sumbu x

y : nilai vektor posisi r di sumbu y

z : nilai vektor posisi r di sumbu z

$\vec{i}$ ,  $\vec{j}$ , dan  $\vec{k}$  masing-masing adalah vektor satuan di sumbu x, y, dan z.

### B. Hubungan Antara Posisi, Kecepatan, dan Percepatan

Hubungan antara persamaan kecepatan sesaat dan percepatan sesaat dari persamaan posisi sebagai berikut:

Misalnya, suatu persamaan posisi di sumbu x adalah:

$$x = a \cdot t^n + b \cdot t + c$$

dengan a, b, dan c adalah konstanta, t adalah variabel waktu, dan n adalah nilai pangkat.

Maka, kecepatan sesaat pada sumbu X adalah:

$$v_x = \frac{dx}{dt} = a \cdot n \cdot t^{n-1} + b$$

Sedangkan, percepatan sesaat pada sumbu X:

$$a_x = \frac{d^2x}{dt^2} = \frac{dv_x}{dt} = a \cdot n \cdot (n-1) \cdot t^{n-2}$$

**Keterangan:**

$\frac{dx}{dt}$  dibaca "turunan persamaan posisi x terhadap waktu t".

$\frac{d^2x}{dt^2}$  dibaca "turunan kedua dari persamaan posisi x terhadap waktu t".

Mencari kecepatan dan posisi dari persamaan percepatan.

Misal: diketahui persamaan percepatan di sumbu x adalah:

$$a_x = p \cdot t + q$$

dengan p dan q adalah konstanta dan t adalah variabel maka persamaan kecepatan pada sumbu X adalah:

$$v_x = v_{0x} + \int a_x dt$$

Sedangkan, persamaan posisi di sumbu X adalah:

$$x = x_0 + \int v_x dt$$

**Keterangan:**

$v_{0x}$  : kecepatan mula-mula di sumbu X

$x_0$  : posisi mula-mula di sumbu X

$\int a_x dt$  dibaca "integral dari persamaan  $a_x$  terhadap waktu t".

$\int v_x dt$  dibaca "integral dari persamaan  $v_x$  terhadap waktu t".

## C. Dinamika Gerak Lurus

### a. Gerak Lurus Beraturan (GLB)

Gerak lurus beraturan adalah gerak benda mengikuti lintasan lurus dengan **KECEPATAN TETAP** per satuan waktu. Karena kecepatannya tetap maka nilai **PERCEPATAN BENDA** adalah **NOL**. ( $v = \text{tetap}$  dan  $a = 0$ ).

**Rumus jarak:**

$$S = v \cdot t$$

### b. Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)

Gerak lurus berubah beraturan adalah gerak benda mengikuti lintasan lurus dengan **KECEPATAN BERUBAH** setiap pertambahan waktu dan **PERCEPATAN TETAP** ( $v = \text{berubah}$  dan  $a = \text{tetap}$ ).



## Ingat

**Rumus-rumus GLBB:**

1.  $S = v_0 \cdot t + \frac{1}{2}at^2$
2.  $v_t = v_0 + a \cdot t$
3.  $v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot S$
4.  $S = \frac{v_t + v_0}{2} t$

**Keterangan:**

S : jarak (m)

a : percepatan ( $m/s^2$ )

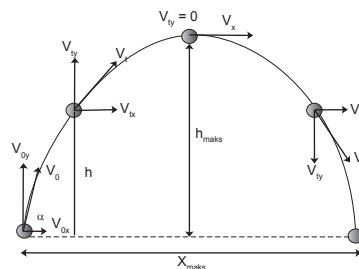
$v_t$  : kecepatan sesaat pada waktu t ( $m/s$ )

$v_0$  : kecepatan awal ( $m/s$ )

t : waktu (s)

## D. Perpaduan Gerak (Gerak Parabola)

Gerak parabola adalah resultan perpindahan suatu benda yang **SERENTAK** melakukan **GLB** pada arah **HORIZONTAL** (sumbu X) dan **GLBB** pada arah **VERTIKAL** (sumbu Y).



### a. Pada Sumbu X (GLB)

- Kecepatan sesaat

$$v_{tx} = v_{0x} = v_0 \cdot \cos \alpha$$

- **Jarak tempuh sesaat**

$$x = v_0 \cdot \cos \alpha \cdot t$$

**Keterangan:**

$v_{tx}$  : kecepatan sesaat pada sumbu X (m/s)

$x$  : jarak tempuh pada sumbu X saat waktu  $t$  (m)

- **Pada saat jarak horizontal terjauh:**

Jarak horizontal terjauh adalah:

$$x_{maks} = \frac{v_0^2 \sin 2\alpha}{g}$$

Sedangkan, waktu tempuh untuk mencapai ke jarak terjauh adalah:

$$t_{x \text{ maks}} = \frac{2 \cdot v_0 \cdot \sin \alpha}{g}$$

#### b. Pada Sumbu Y (GLBB)

- **Kecepatan awal di sumbu y**

$$v_{0y} = v_0 \sin \alpha$$

- **Kecepatan sesaat**

$$v_y = v_0 \sin \alpha - g \cdot t$$

- **Ketinggian sesaat**

$$h = v_0 \cdot \sin \alpha \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

**Keterangan:**

$v_{0y}$  : kecepatan awal pada sumbu Y (m/s)

$v_{ty}$  : kecepatan sesaat pada sumbu Y (m/s)

$h$  : ketinggian saat waktu  $t$  (m)

$g$  : percepatan gravitasi (10 m/s<sup>2</sup>)

- **Pada saat ketinggian maksimum**

Pada saat ketinggian maksimum  $v_y = 0$ . Ketinggian maksimum dapat dirumuskan dengan:

$$H_{maks} = \frac{v_0^2 \sin^2 \alpha}{2g}$$

Sedangkan, waktu tempuh untuk mencapai ketinggian maksimum adalah:

$$t_{Hmaks} = \frac{v_0 \sin \alpha}{g}$$

### E. Gerak vertikal ke atas

Gerak vertikal ke atas adalah gerak benda yang dilempar **DENGAN KECEPATAN AWAL** ( $v_0$ ) membentuk lintasan lurus ke atas.

- **Ketinggian maksimum yang dicapai adalah:**

$$h_{maks} = \frac{v_0^2}{2 \cdot g}$$

- **Waktu tempuh untuk mencapai ketinggian maksimum:**

$$t_{maks} = \frac{v_0}{g}$$

### F. Gerak jatuh bebas

Gerak jatuh bebas adalah gerak benda yang dilepas dari ketinggian tertentu di atas tanah **TANPA KECEPATAN AWAL** ( $v_0 = 0$ ).

- **Waktu yang dibutuhkan benda ketika menyentuh tanah:**

$$t = \sqrt{\frac{2 \cdot h}{g}}$$

- **Kecepatan benda jatuh bebas ketika menyentuh tanah:**

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

### G. Gerak Melingkar Beraturan (GMB)

Gerak Melingkar Beraturan (GMB) adalah gerak benda pada lintasan melingkar dengan **KECEPATAN SUDUT TETAP** ( $\omega$ ) dan **PERCEPATAN SUDUTNYA NOL** ( $a$ ). ( $\omega$  = tetap dan  $a = 0$ )

$$\text{Rumus GMB: } \theta = \omega \cdot t$$

### H. Gerak Melingkar Berubah Beraturan

Gerak Melingkar Berubah Beraturan (GMBB) adalah gerak benda pada lintasan melingkar dengan **KECEPATAN SUDUT BERUBAH-UBAH** dan **PERCEPATAN SUDUT TETAP**. ( $\alpha$  = tetap)





## Ingat

### Rumus GMBB:

$$1. \theta = \omega_0 \cdot t + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2$$

$$2. \omega_t = \omega_0 + \alpha \cdot t$$

$$3. \omega_t^2 = \omega_0^2 + 2 \cdot \alpha \cdot \theta$$

$$4. \theta = \left( \frac{\omega_t + \omega_0}{2} \right) \cdot t$$

### Keterangan:

$\theta$  : jarak sudut (rad)

$\omega_0$  : kecepatan sudut awal (rad/s)

$\omega_t$  : kecepatan sudut sesaat (rad/s)

$\alpha$  : percepatan sudut (rad/s<sup>2</sup>)

$t$  : waktu (s)

## I.

## Hubungan Gerak Lurus dan Gerak Melingkar

| Gerak Lurus    | Gerak Melingkar             |
|----------------|-----------------------------|
| s = jarak      | $\theta$ = sudut jarak      |
| v = kecepatan  | $\omega$ = kecepatan sudut  |
| a = percepatan | $\alpha$ = percepatan sudut |

Hubungannya: 1.  $S = \theta \cdot R$

2.  $v = \omega \cdot R$

3.  $a = \alpha \cdot R$

### Keterangan:

$R$  : jari-jari lingkaran (m)

$\theta$  : sudut (rad)

$\omega$  : kecepatan sudut (rad/s)

$\alpha$  : percepatan sudut (rad/s<sup>2</sup>)

## Hukum Newton, Gaya, Usaha, dan Energi

### A. Hukum Newton Tentang Gerak

#### a. Hukum I Newton

Hukum I Newton berbunyi:

*"Jika resultan gaya yang bekerja pada benda bernilai nol maka benda yang diam akan terus diam dan benda yang bergerak lurus dengan kecepatan tetap akan tetap bergerak dengan kecepatan tetap."*

Hukum I Newton dirumuskan dengan:

$$\sum F = 0$$

#### b. Hukum II Newton

Hukum II Newton berbunyi:

*"Percepatan adalah perbandingan antara resultan gaya yang bekerja pada benda dengan massanya."*

Hukum II Newton dirumuskan dengan:

$$\sum F = m \cdot a$$

#### c. Hukum III Newton

Hukum III Newton berbunyi:

*"Gaya reaksi akan timbul akibat gaya aksi yang dikenakan pada suatu benda yang besarnya sama dan arahnya berlawanan."*

Hukum III Newton dirumuskan dengan:

$$F_{\text{aksi}} = -F_{\text{reaksi}}$$

**Keterangan:**

$\sum F$  : resultan gaya (N)

$m$  : massa (kg)

$a$  : percepatan (m/s<sup>2</sup>)

### B. Konsep Gaya

Gaya adalah kekuatan yang dapat menimbulkan perubahan pada benda. Misalnya, perubahan posisi atau perubahan bentuk.

#### a. Gaya Berat (W)

Gaya berat adalah gaya yang timbul karena **GAYA TARIK BUMI** terhadap benda.

Rumus:

$$W = m \cdot g$$

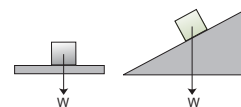
**Keterangan:**

$W$  : berat benda (N)

$m$  : massa benda (kg)

$g$  : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)

Arah gaya berat selalu menuju ke pusat bumi (ke bawah). Perhatikan gambar di bawah ini.

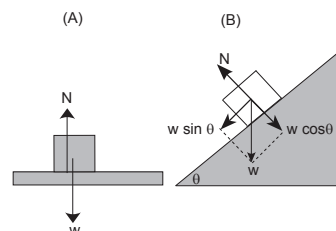


#### b. Gaya Normal (N)

Gaya normal adalah gaya yang timbul karena adanya dua permukaan pada benda yang bersentuhan.

Arah **GAYA NORMAL** selalu **TEGAK LURUS** terhadap **BIDANG SENTUH**.

Perhatikan gambar di bawah ini.



Gaya ini tidak memiliki rumus yang pasti, disesuaikan dengan gaya yang bekerja pada benda tersebut.

Besarnya gaya normal adalah:

Gambar (A):

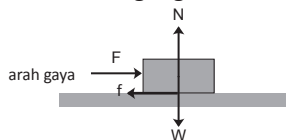
$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ N - W &= 0 \\ N &= W = m \cdot g\end{aligned}$$

Gambar (B):

$$\begin{aligned}\sum F_y &= 0 \\ N - W \cdot \cos\theta &= 0 \\ N &= W \cdot \cos\theta \\ &= m \cdot g \cdot \cos\theta\end{aligned}$$

### c. Gaya Gesek (f)

Gaya gesek adalah gaya yang terjadi akibat **PERSENTUHAN** antara **BENDA** dan **PERMUKAAN KASAR**. Arah gaya gesek selalu berlawanan dengan kecenderungan gerak benda.



Pada gambar di atas ketika benda dikenakan gaya sebesar F maka akan timbul gaya gesek sebesar f. Sehingga ada dua keadaan yang terjadi pada benda, yaitu:

#### 1. Benda TETAP DIAM

Benda akan **TETAP DIAM**, jika gaya **F** yang kita berikan masih **KURANG** atau **SAMA DENGAN GAYA GESEK STATIS MAKSIMUMNYA** ( $f_{s \text{ maks}}$ ).

$$\begin{aligned}F &\leq f_{s \text{ maks}} \\ F &\leq \mu_s \cdot N\end{aligned}$$

Jadi, besarnya gaya gesek (f) adalah sama dengan gaya yang diberikan pada benda, yaitu F.

$$f = F$$

#### 2. Benda BERGERAK

Benda akan **BERGERAK**, jika gaya **F** yang diberikan bernilai **LEBIH BESAR** dari gaya **GAYA GESEK STATIS MAKSIMUMNYA** ( $f_{s \text{ maks}}$ ).

$$\begin{aligned}F &> f_{s \text{ maks}} \\ F &> \mu_s \cdot N\end{aligned}$$

Jadi, besarnya gaya gesek (f) pada benda adalah gaya gesek kinetis, rumusnya:

$$f = f_k = \mu_k \cdot N$$

**Keterangan:**

$f$  : gaya gesek (N)

$f_{s \text{ maks}}$  : gaya gesek statis maksimum (N)

$f_k$  : gaya gesek kinetis (N)

$\mu_s$  : koefisien gesekan statis

$\mu_k$  : koefisien gesekan kinetis

$N$  : gaya normal (N)

## C. Energi

### a. Energi Kinetik

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki oleh benda yang sedang bergerak.

Rumus:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

**Keterangan:**

$E_k$  : energi kinetik (Joule)

$m$  : massa benda (kg)

$v$  : kecepatan benda (m/s)

### b. Energi Potensial Gravitasi

Energi potensial gravitasi adalah energi yang dimiliki benda karena posisinya terhadap titik acuan tertentu.

Rumus:

$$E_p = m \cdot g \cdot h$$

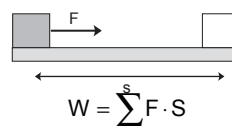
**Keterangan:**

$E_p$  : energi potensial (J)

$g$  : percepatan gravitasi bumi (10 m/s<sup>2</sup>)

$h$  : ketinggian benda relatif terhadap acuan (m)

## D. Usaha



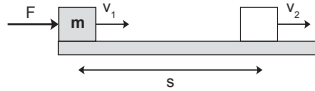
**Keterangan:**

W : usaha (J)

S : perpindahan benda (m)

Syarat :  $\sum F$  harus segaris dengan S**a. Usaha Sebagai Perubahan Energi Kinetik**

Jika benda bergerak mengalami perubahan kecepatan maka timbul usaha yang besarnya sama dengan perubahan energi kinetiknya.



$$W = \Delta E_k = E_{k2} - E_{k1}$$

$$F \cdot S = \frac{1}{2} m \cdot (V_2^2 - V_1^2)$$

**b. Usaha Sebagai Perubahan Energi Potensial**

Jika benda mengalami perubahan posisi ketinggiannya dari suatu titik acuan maka timbul usaha yang besarnya sama dengan perubahan energi potensialnya.

$$W = \Delta E_p = E_{p2} - E_{p1}$$

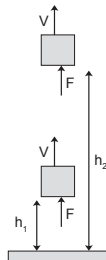
$$W = m \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

**c. Usaha Sebagai Perubahan Energi Mekanik**

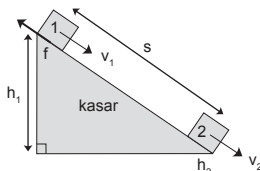
Energi **MEKANIK** adalah energi total yang dimiliki benda, yaitu **ENERGI POTENSIAL DITAMBAH DENGAN ENERGI KINETIK**.

$$E_m = E_p + E_k$$

$$E_m = m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} m \cdot v^2$$



Jika suatu benda naik atau turun dari permukaan yang kasar sehingga kecepatan dan ketinggiannya berubah (seperti gambar berikut) maka usaha yang dilakukan benda sama dengan perubahan energi mekanik.

**Rumus:**

$$W = \Delta E_k + \Delta E_p$$

$$f \cdot S = \frac{1}{2} m \cdot (V_2^2 - V_1^2) + m \cdot g \cdot (h_2 - h_1)$$

**Keterangan:**

f : gaya gesek (N)

 $\Delta E_k$  : perubahan energi kinetik (J) $\Delta E_p$  : perubahan energi potensial (J)**E. Hukum Kekekalan Energi Mekanik**

Jika sebuah benda bergerak dan tidak ada gaya gesek yang terjadi maka berlaku hukum kekekalan energi mekanik.

$$E_{m1} = E_{m2}$$

$$E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2}$$

$$m \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 = m \cdot g \cdot h_2 + \frac{1}{2} m \cdot v_2^2$$

**F. Daya**

Daya adalah usaha persatuan waktu.

Rumus:

$$P = \frac{W}{t} = F \cdot v$$

**Keterangan:**

P : daya (watt)

W : usaha (J)

t : waktu (s)

F : gaya (N)

v : kecepatan (m/s)

## Bab 4

# Momentum, Impuls, dan Tumbukan

### A. Momentum

Momentum adalah hasil kali antara **MASSA BENDA** yang **BERGERAK** dan **KECEPATAN GERAKNYA**. Momentum termasuk dalam besaran vektor yang arahnya sama dengan arah gerak benda.

Rumus:

$$p = m \cdot v$$

Keterangan:

p : momentum (kg.m/s)

m : massa (kg)

v : kecepatan benda (m/s)

### B. Impuls

Impuls adalah **PERUBAHAN MOMENTUM** sebuah benda atau **HASIL KALI GAYA** yang **BEKERJA** pada suatu benda dan **LAMANYA GAYA ITU BEKERJA**.

Rumus:

$$I = \Delta p = \int F \cdot dt$$

Keterangan:

I : impuls (N.s)

$\Delta p$  : perubahan momentum ( $p_2 - p_1$ )

F : gaya (N)

t : waktu (s)

### C. Tumbukan

#### a. Tumbukan Lenting Sempurna

Pada tumbukan lenting sempurna tidak terjadi perubahan bentuk energi. Setelah

tumbukan kedua benda berpisah.

Pada tumbukan lenting sempurna berlaku:

#### 1. Hukum kekekalan **ENERGI KINETIK**

$$E_{k \text{ awal}} = E_{k \text{ akhir}}$$

#### 2. Hukum kekekalan **MOMENTUM**

$$p_{\text{awal}} = p_{\text{akhir}}$$

#### 3. Koefisien restitusi (e) bernilai 1

$$e = \frac{-\Delta v'}{\Delta v} = \frac{-(v_2' - v_1')}{v_2 - v_1} = 1$$

#### b. Tumbukan Lenting Sebagian

Pada tumbukan lenting sebagian ada sebagian energi kinetik berubah menjadi bentuk energi lain sehingga energi kinetik total setelah tumbukan menjadi lebih kecil daripada energi kinetik total sebelum tumbukan.

Pada tumbukan lenting sebagian berlaku:

#### 1. Hukum kekekalan momentum

$$p_{\text{awal}} = p_{\text{akhir}}$$

#### 2. Koefisien restitusi (e) bernilai lebih dari 0 sampai kurang dari 1

$$e = \frac{-\Delta v'}{\Delta v} = \frac{-(v_2' - v_1')}{v_2 - v_1}$$

dimana  $0 < e < 1$

**c. Tumbukan Tidak Lenting Sama Sekali**

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali, energi kinetik setelah tumbukan lebih kecil daripada energi kinetik sebelum tumbukan.

**SETELAH TUMBUKAN, KEDUA BENDA BERGERAK BERSAMA-SAMA** (menempel).

Pada tumbukan tidak lenting sama sekali berlaku:

1. Hukum kekekalan momentum

$$p_{\text{awal}} = p_{\text{akhir}}$$

2. Koefisien restitusi ( $e$ ) bernilai 0 sehingga:

$$v'_1 = v'_2$$

**Keterangan:**

$v'_1$  : kecepatan akhir benda 1

$v'_2$  : kecepatan akhir benda 2

$v_1$  : kecepatan awal benda 1

$v_2$  : kecepatan awal benda 2

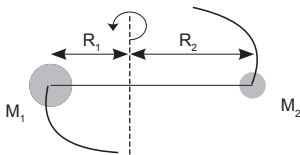
# Bab 5

## Gerak Rotasi

### A. Momen Inersia

Momen inersia pada gerak rotasi adalah kelembaman benda (kemampuan benda mempertahankan posisinya) pada saat bergerak melingkar. Nilai momen inersia benda tergantung pada bentuk benda dan letak porosnya.

#### a. Momen Inersia pada Benda Titik



$$I = \sum m \cdot R^2$$

$$I = m_1 \cdot R_1^2 + m_2 \cdot R_2^2 + m_3 \cdot R_3^2 + \dots$$

Keterangan:

$I$  : momen inersia ( $\text{kg} \cdot \text{m}^2$ )

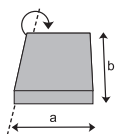
$m_1$  : massa benda 1 ( $\text{kg}$ )

$R_1$  : jarak pusat massa  $m_1$  dengan poros putar ( $\text{m}$ )

#### b. Momen Inersia pada Benda yang Kontinu

Rumus momen inersia pada berbagai benda:

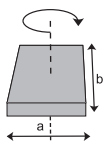
1. Pelat segi empat tipis, poros di sepanjang sisi b.



$$I = \frac{1}{3} M \cdot a^2$$

konstanta inersia,  $k = \frac{1}{3}$

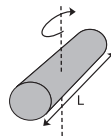
2. Pelat segi empat tipis, poros melalui titik pusat



$$I = \frac{1}{12} M \cdot (a^2 + b^2)$$

konstanta inersia,  $k = \frac{1}{12}$

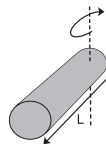
3. Batang silinder, poros melalui titik tengah



$$I = \frac{1}{12} M \cdot L^2$$

konstanta inersia,  $k = \frac{1}{12}$

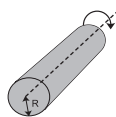
4. Batang silinder, poros melalui ujung



$$I = \frac{1}{3} M \cdot L^2$$

konstanta inersia,  $k = \frac{1}{3}$

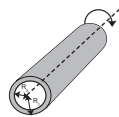
5. Silinder pejal, poros melalui pusat



$$I = \frac{1}{2} M \cdot R^2$$

konstanta inersia,  $k = \frac{1}{2}$

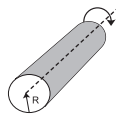
6. Silinder tebal berongga, poros melalui pusat



$$I = \frac{1}{2} M \cdot (R_1^2 + R_2^2)$$

konstanta inersia,  $k = \frac{1}{2}$

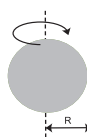
7. Silinder tipis berongga, poros melalui pusat



$$I = M \cdot R^2$$

konstanta inersia,  $k = 1$

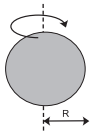
8. Bola pejal, poros melalui pusat



$$I = \frac{2}{5} M \cdot R^2$$

konstanta inersia,  $k = \frac{2}{5}$

9. Bola berongga, poros melalui pusat



$$I = \frac{2}{3} M \cdot R^2$$

konstanta inersia,  $k = \frac{2}{3}$

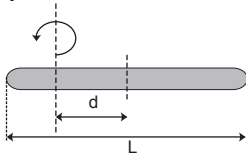
**Keterangan:**

M : massa benda (kg)

L : panjang batang silinder (m)

R : jari-jari dari sumbu putar (m)

- c. **Momen Inersia pada Batang Silinder yang Diputar pada Jarak d dari Pusat Massa**



$$I = \frac{1}{12} M \cdot L^2 + M \cdot d^2$$

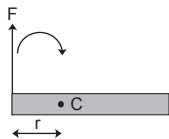
**Keterangan:**

d : jarak poros putar dari pusat massa (m)

## B. Momen Gaya (Torsi)

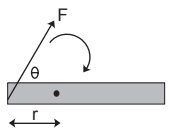
Momen gaya adalah ukuran besar kecilnya efek putar sebuah gaya terhadap suatu benda.

Syarat  $r \perp F$  atau  $r \perp F$  seperti pada gambar di bawah ini.



$$\tau_c = F \cdot r$$

Untuk gaya yang tidak lurus lengkan, gunakan rumus:



$$\tau_c = r \cdot F \cdot \sin \theta$$

**Keterangan:**

$\tau_c$  : torsi di titik C (Nm)

F : gaya (N)

r : jarak gaya F dari titik C (m)

Untuk sistem lebih dari satu gaya, gunakan rumus:

$$\sum \tau = \sum r_{\perp} \cdot F$$

## C. Hukum II Newton pada gerak rotasi

Jika percepatan angular bernilai konstan ( $\alpha =$  konstan) maka berlaku hukum II Newton.

$$t = I \cdot \alpha$$

Pada hukum II Newton berlaku rumus-rumus gerak melingkar berubah beraturan (GMBB).

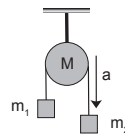
**Keterangan:**

t : torsi (N·m)

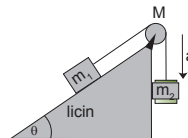
I : momen inersia (kg·m<sup>2</sup>)

$\alpha$  : percepatan angular (rad/s)

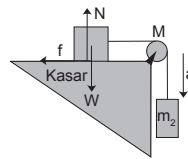
## D. Beberapa nilai percepatan sistem katrol



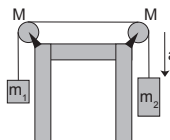
$$a = \frac{(m_2 - m_1) \cdot g}{m_1 + m_2 + \frac{1}{2} M}$$



$$a = \frac{(m_2 - m_1 \cdot \sin \theta) \cdot g}{m_1 + m_2 + \frac{1}{2} M}$$



$$a = \frac{(m_2 - \mu_k \cdot m_1) \cdot g}{m_1 + m_2 + \frac{1}{2} M}$$



$$a = \frac{(m_2 - m_1) \cdot g}{m_1 + m_2 + M}$$

**Keterangan:**

a : percepatan sistem (m/s<sup>2</sup>)

m : massa katrol (kg)

g : percepatan gravitasi bumi (10 m/s<sup>2</sup>)

$\mu_k$  : koefisien gesekan kinetis



## E. Energi kinetik

### a. Energi Kinetik Translasi atau Gerak Lurus

$$E_{kT} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

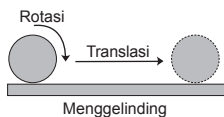
### b. Energi Kinetik Rotasi

$$E_{kR} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

### c. Energi Kinetik Total Benda Menggelinding

Pada **BENDA** yang bergerak **MENGSELINDING**, benda tersebut melakukan gerak **TRANSLASI** dan **ROTASI**.

Jadi, energi total yang dimiliki benda menggelinding adalah energi kinetik translasi dan energi kinetik rotasi.

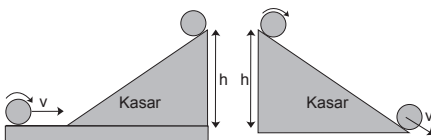


$$E_{k \text{ total}} = E_{kT} + E_{kR}$$
$$E_{k \text{ total}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 (1+k)$$

#### Keterangan:

- $I$  : momen inersia
- $\omega$  : kecepatan sudut (rad/s)
- $m$  : massa benda (kg)
- $k$  : konstanta inersia

## F. Benda Menggelinding Menuruni atau Menaiki Bidang Miring



$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{k+1}}$$

#### Keterangan:

- $k$  : konstanta inersia

## G. Usaha Gerak Rotasi

$$W = \tau \cdot \theta$$

#### Keterangan:

- $W$  : usaha (J)
- $\tau$  : momen torsi (N.m)
- $\theta$  : sudut yang disapu benda (rad)

## H. Momentum Anguler

Momentum anguler dirumuskan dengan:

$$L = I \cdot \omega$$

#### Keterangan:

- $L$  : momentum anguler (kg.m<sup>2</sup>/s)
- $I$  : inersia benda (kg.m<sup>2</sup>)
- $\omega$  : kecepatan anguler (rad/s)

## I. Hukum kekekalan momentum anguler

$$L_{\text{awal}} = L_{\text{akhir}}$$
$$I_1 \cdot \omega_1 + I_2 \cdot \omega_2 = I_1 \cdot \omega'_1 + I_2 \cdot \omega'_2$$

#### Keterangan:

- $I_1$  : momen inersia benda 1
- $I_2$  : momen inersia benda 2
- $\omega'$  : kecepatan anguler setelah tumbukan

## J. Kekekalan Momentum Anguler untuk benda yang Berputar dengan Mengubah Jari-jari

$$\omega' = \left( \frac{R}{R'} \right)^2 \cdot \omega$$

#### Keterangan:

- $\omega'$  : kecepatan sudut akhir (rad/s)
- $R$  : jari-jari akhir

# Bab 6

## Fluida

Fluida adalah semua zat yang dapat mengalir. Contohnya: zat cair (air, minyak) dan gas. Dalam bab ini akan dipelajari tentang fluida statis dan fluida dinamis.

### A. Fluida Statis

Fluida statis adalah zat yang berada dalam keadaan diam (tidak bergerak).

#### a. Massa Jenis

Massa jenis adalah ukuran kerapatan suatu benda. Semakin besar massa jenis benda maka benda tersebut semakin rapat.

Rumus:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

**Keterangan:**

$\rho$  : massa jenis benda ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $m$  : massa benda (kg)  
 $V$  : volume ( $\text{m}^3$ )

#### b. Tekanan

Tekanan adalah hasil bagi antara gaya dengan luas penampang.

Rumus:

$$P = \frac{F}{A}$$

**Keterangan:**

$P$  : tekanan (pascal/Pa)  
 $F$  : gaya (N)  
 $A$  : luas permukaan bidang sentuh ( $\text{m}^2$ )

Satuan tekanan ( $P$ ) adalah  $\text{N/m}^2$  atau pascal (Pa),  $\text{dyne/cm}^2$ , atmosfer (atm). Hitungan konversinya, yaitu:

$$1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ pascal (Pa)}$$

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyne}$$

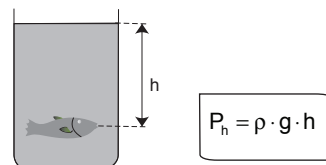
$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg}$$

#### c. Tekanan Hidrostatik

Tekanan hidrostatik adalah tekanan yang dialami benda saat di dalam fluida karena adanya gaya gravitasi.

Rumus:



**Keterangan:**

$P_h$  : tekanan hidrostatik (Pa)  
 $\rho$  : massa jenis fluida ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $g$  : percepatan gravitasi ( $10 \text{ m/s}^2$ )  
 $h$  : kedalaman benda dari permukaan fluida (m)

#### Hukum pokok hidrostatik

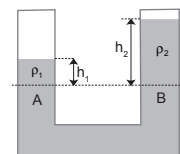
Hukum pokok hidrostatik berbunyi:

“Semua titik yang terletak pada suatu bidang datar di dalam zat cair yang sejenis memiliki tekanan yang sama.”

$$P_{hA} = P_{hB}$$

$$\rho_1 \cdot g \cdot h_1 = \rho_2 \cdot g \cdot h_2$$

$$\rho_1 \cdot h_1 = \rho_2 \cdot h_2$$





## Ingat

Mengukur besarnya kedalaman (h) harus dihitung dari **PERMUKAAN ZAT CAIR** (dari atas) **BUKAN** dari bawah.

Berdasarkan persamaan di atas:

- **MAKIN DALAM** letak suatu **BENDA** di dalam zat cair maka **TEKANAN HIDROSTATIS** yang diperoleh akan **MAKIN BESAR**.
- **MAKIN BESAR MASSA JENIS** suatu zat cair maka **MAKIN BESAR** pula **TEKANAN HIDROSTATIS** yang dihasilkan.

### d. Tekanan Mutlak

Tekanan mutlak adalah tekanan total yang dialami oleh benda.

$$P = P_o + P_h$$

Keterangan:

P : tekanan mutlak (Pa)

$P_o$  : tekanan udara luar (Pa)

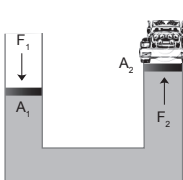
$P_h$  : tekanan hidrostatik (Pa)

### e. Hukum Pascal

**Hukum Pascal berbunyi:**

*"Tekanan yang diberikan kepada fluida di dalam ruangan tertutup diteruskan sama besar ke segala arah."*

Penerapan hukum Pascal pada bejana berhubungan:



**Keterangan:**

$F_1$  : gaya pada  $A_1$  (N)

$F_2$  : gaya pada  $A_2$  (N)

$$\frac{F_1}{A_1} = \frac{F_2}{A_2}$$

$$F_1 = \left(\frac{d_1}{d_2}\right)^2 \cdot F_2$$

$A_1$  : luas permukaan bidang 1 ( $m^2$ )

$A_2$  : luas permukaan bidang 2 ( $m^2$ )

$d_1$  : diameter permukaan bidang 1

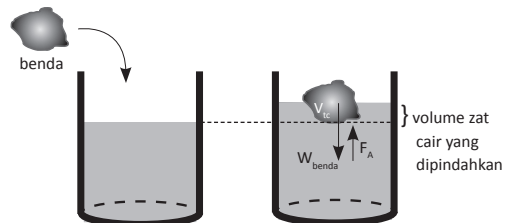
$d_2$  : diameter permukaan bidang 2

Prinsip hukum Pascal ini diterapkan pada alat-alat, misalnya dongkrak hidrolik, pompa hidrolik, mesin hidrolik pengangkat mobil, dan rem hidrolik mobil.

### f. Hukum Archimedes

Hukum Archimedes berbunyi:

*"Benda yang tercelup sebagian atau seluruhnya ke dalam zat cair akan mengalami gaya ke atas sebesar berat zat cair yang dipindahkan oleh benda yang tercelup tersebut."*



Besarnya gaya ke atas tersebut dirumuskan:

$$F_A = \rho_f \cdot g \cdot V_{tc}$$

**Keterangan:**

$F_A$  : gaya tekan ke atas/gaya Archimedes (N)

$\rho_f$  : massa jenis fluida/zat cair ( $kg/m^3$ )

$V_{tc}$  : volume zat cair yang dipindahkan atau volume benda yang tercelup di dalam zat cair ( $m^3$ )

Akibat gaya tekan ke atas ini, benda memiliki tiga posisi jika dimasukkan ke dalam suatu zat cair, yaitu:

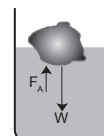
#### 1. Terapung

Ciri-ciri benda terapung, yaitu:

- Massa jenis benda lebih kecil dibandingkan dengan massa jenis zat cair ( $\rho_{benda} < \rho_{zat\ cair}$ ).
- Berat benda sama dengan gaya ke atas ( $W_{benda} = F_A$ ).

$$F_A = W$$

$$\rho_b = \frac{V_{tc}}{V_b} \rho_f$$

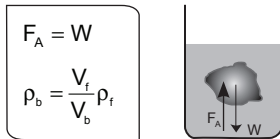


**Keterangan:**

- $\rho_b$  : massa jenis benda ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $V_{tc}$  : volume benda yang tercelup ( $\text{m}^3$ )  
 $V_b$  : volume benda total ( $\text{m}^3$ )  
 $W$  : berat benda (N)

**2. Melayang**

- Massa jenis benda sama dengan massa jenis zat cair ( $r \text{ benda} = r \text{ zat cair}$ ).
- Berat benda sama dengan gaya ke atas ( $W_{\text{benda}} = F_A$ ).

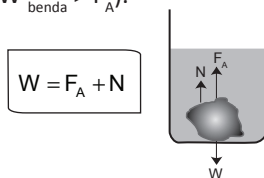
**Keterangan:**

- $\rho_b$  : massa jenis benda ( $\text{kg/m}^3$ )  
 $V$  : volume benda ( $\text{m}^3$ )  
 $V_b$  : volume benda total ( $\text{m}^3$ )  
 $W$  : berat benda (N)

**3. Tenggelam**

Ciri-ciri benda tenggelam, yaitu:

- Massa jenis benda lebih besar dibandingkan dengan massa jenis zat cair ( $r \text{ benda} > r \text{ zat cair}$ ).
- Berat benda lebih besar daripada gaya ke atas ( $W_{\text{benda}} > F_A$ ).

**Keterangan:**

$N$  : gaya normal (N)

Penerapan hukum Archimedes antara lain adalah kapal laut, kapal selam, galangan kapal, jembatan fonton, galangan kapal, balon udara, dan hydrometer.

**Berat Semu/Berat Benda di Dalam Fluida**

Berat semu benda di dalam fluida adalah selisih antara berat benda di udara dengan gaya angkat yang terjadi pada benda.

$$W_f = W_u - F_A$$

**Keterangan:**

- $F_A$  : gaya angkat/Archimedes (N)  
 $W_f$  : berat semu benda (N)  
 $W_u$  : berat benda di udara (N)

**B. Tegangan Permukaan Zat Cair**

Tegangan permukaan zat cair adalah kecenderungan zat cair untuk meregang (menjadi tegang) sehingga permukaannya seperti ditutupi oleh suatu lapisan elastis.

Tegangan permukaan ini yang mengakibatkan serangga tertentu, seperti nyamuk atau laba-laba dapat berjalan di atas air dan jarum atau silet dapat mengapung di permukaan air.

$$\gamma = \frac{F}{d}$$

Jika permukaan benda yang bersentuhan ada pada 2 sisinya, seperti kawat atau jarum maka  $d = 2L$ ,

**Keterangan:**

- $L$  : panjang kawat atau jarum(m)  
 $F$  : gaya yang bekerja pada permukaan zat cair (N)

**a. Kapilaritas**

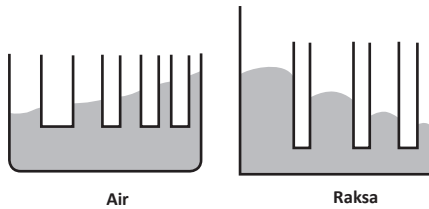
- Kapilaritas adalah peristiwa naik turunnya fluida yang berada di dalam pipa kapiler (pipa dengan diameter yang sangat kecil).
- **KOHESI** adalah gaya tarik-menarik antarmolekul **SEJENIS**.
- **ADHESI** adalah gaya tarik-menarik antarmolekul **TAK SEJENIS**.

**Ingat**

Untuk mengingat dengan mudah:

Ko = Sejenis

A = TIDAK sejenis



Penjelasan pada gambar di atas, yaitu:

- Air memiliki gaya adhesif lebih besar daripada gaya kohesifnya. Akibatnya, permukaan air akan naik jika berada pada pipa kapiler.
- Berbeda dengan air, raksa memiliki gaya kohesif lebih besar daripada gaya adhesifnya. Akibatnya, permukaan raksa akan turun jika berada pada pipa kapiler.

Ketinggian/kedalaman fluida pada pipa kapiler dirumuskan:

$$h = \frac{2 \cdot \gamma \cdot \cos \theta}{\rho_f \cdot g \cdot r}$$

**Keterangan:**

h : ketinggian fluida pada pipa kapiler (m)  
 γ : tegangan permukaan (N/m)  
 θ : sudut kontak  
 $\rho_f$  : massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)  
 g : percepatan gravitasi (10 m/s<sup>2</sup>)  
 r : jari-jari pipa kapiler (m)

#### b. Gaya Gesekan Fluida (Gaya Stokes)

Gaya stokes adalah gaya gesekan pada fluida akibat kekentalan zat tersebut. Semakin kental fluida maka semakin besar gaya stokes yang dihasilkan.

Rumus:

$$F_s = 6\pi \cdot r \cdot \eta \cdot v$$

**Keterangan:**

$F_s$  : gaya stokes/gaya gesek fluida (N)  
 r : jari-jari (m)  
 η : viskositas fluida (N.s/m<sup>2</sup>)  
 v : kecepatan fluida (m/s)

Jika sebuah kelereng dicelupkan ke dalam fluida kental maka terdapat gaya apung ( $F_A$ ) dan gaya stokes ( $F_s$ ) yang melawan gaya beratnya ( $W$ ).

#### c. Kecepatan Terminal

Kecepatan terminal adalah kecepatan maksimum tetap yang dapat dimiliki oleh suatu benda yang berada pada fluida kental. Jika bendanya adalah sebuah bola pejal maka kecepatan terminalnya dirumuskan:

$$v_T = \frac{2}{9} \frac{r^2 \cdot g}{\eta} (\rho_b - \rho_f)$$

**Keterangan:**

$v_T$  : kecepatan terminal (m/s)  
 r : jari-jari bola (m)  
 η : koefisien viskositas (kg/ms)  
 $\rho_b$  : massa jenis benda (kg/m<sup>3</sup>)  
 $\rho_f$  : massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

### C. Fluida Dinamis

Fluida dinamis adalah fluida yang mengalir (bergerak).

#### a. Debit Fluida (Laju Alir)

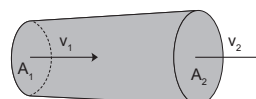
Debit fluida adalah volume fluida yang mengalir setiap detik. Debit fluida dirumuskan:

$$Q = \frac{V}{t} = A \cdot v$$

**Keterangan:**

Q : debit fluida (m<sup>3</sup>/s)  
 V : volume fluida (m<sup>3</sup>)  
 t : selang waktu (s)  
 A : luas permukaan (m<sup>2</sup>)  
 v : kecepatan fluida (m/s)

#### b. Persamaan Kontinuitas



Jika dianggap tidak terdapat gesekan pada pipa maka debit fluida yang mengalir pada pipa akan tetap.

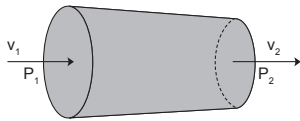
$$Q_1 = Q_2 = Q_3 = \dots = \text{konstan}$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_3 v_3 = \dots = \text{konstan}$$

### c. Asas Bernoulli

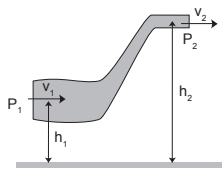
Asas Bernoulli menyatakan bahwa:

*"Pada pipa mendatar, tekanan fluida paling besar terdapat pada bagian yang kelajuan alirannya paling kecil. Sebaliknya, tekanan fluida paling kecil terdapat pada bagian yang kelajuan alirannya paling besar."*



Menurut asas Bernoulli, kecepatan fluida pada penampang 1 lebih kecil daripada kecepatan fluida pada penampang 2 ( $v_1 < v_2$ ) maka tekanan penampang 1 lebih besar daripada tekanan penampang 2 ( $P_1 > P_2$ ).

### d. Persamaan Bernoulli



$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho \cdot g \cdot h = \text{konstan}$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 + \rho_1 g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 + \rho_2 g h_2$$

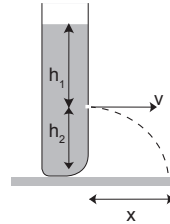
**Keterangan:**

- P : tekanan (P)  
h : ketinggian (m)  
ρ : massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)  
v : kecepatan fluida (m/s)

### Penerapan Persamaan Bernoulli

#### 1. Pada Tabung Bocor

Jika sebuah tabung yang berlubang berisi air maka kecepatan air keluar dari tabung dan jarak jatuhnya dari kaki tabung adalah:



$$x = 2\sqrt{h_1 \cdot h_2}$$

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_1}$$

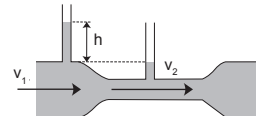
**Keterangan:**

- g : percepatan gravitasi (m/s<sup>2</sup>)  
h<sub>1</sub> : jarak lubang dari permukaan air (m)  
h<sub>2</sub> : jarak lubang dari dasar bejana (m)

#### 2. Venturimeter

Venturimeter adalah alat untuk mengukur kecepatan gerak fluida cair.

Dengan alat venturimeter maka dapat dengan mudah kita ketahui perbedaan tekanan antara pipa penampang 1 dan 2, yaitu:



$$P_1 - P_2 = \rho \cdot g \cdot h \text{ atau}$$

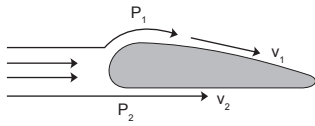
$$P_1 - P_2 = \frac{1}{2} \rho \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

Untuk mencari kecepatan  $v_1$  dan  $v_2$  dapat digunakan rumus:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}}$$

$$v_2 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h}{1 - \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^2}}$$

### 3. Sayap pesawat terbang



**KECEPATAN ALIRAN** udara **DI ATAS** sayap ( $v_1$ ) **LEBIH BESAR DARIPADA** kecepatan aliran udara **DI BAWAH** sayap ( $v_2$ ). Akibatnya, **TEKANAN** udara **DI BAWAH** sayap ( $P_2$ ) **LEBIH BESAR DARIPADA** tekanan udara **DI ATAS** sayap ( $P_1$ ).

Perbedaan tekanan ini menghasilkan gaya angkat pesawat sebesar:

$$F_2 - F_1 = (P_2 - P_1) \cdot A$$

Rumus **GAYA ANGKAT PESAWAT** adalah:

$$F_2 - F_1 = \frac{1}{2} \rho (v_1^2 - v_2^2) \cdot A$$

Jadi, agar pesawat dapat terangkat, gaya angkat pesawat harus lebih besar daripada berat pesawat ( $F_2 - F_1 > mg$ ).

**Keterangan:**

$P_2 - P_1$  : perbedaan tekanan ( $N/m^2$ )

$\rho$  : massa jenis udara ( $kg/m^3$ )

$v_1^2 - v_2^2$  : perbedaan kecepatan fluida ( $m/s$ )

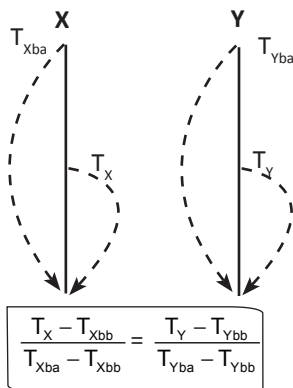
# Bab 7

## Suhu dan Kalor

### A. Suhu

Suhu adalah ukuran derajat panas atau dinginnya suatu benda. Untuk mengukur besarnya suhu digunakan alat yang dinamakan termometer.

#### a. Konversi Satuan Termometer



#### Keterangan:

$T_x$  : suhu tertentu pada termometer X

$T_{xbb}$  : suhu batas bawah/terendah pada termometer X

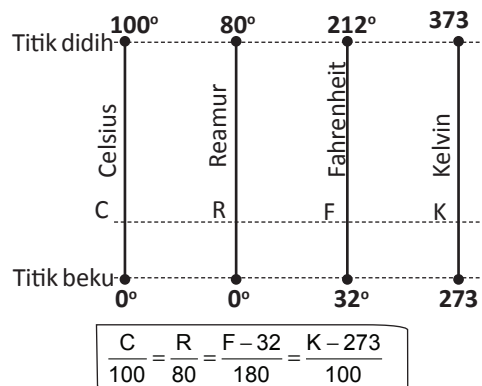
$T_{xba}$  : suhu batas atas/tertinggi pada termometer X

$T_y$  : suhu tertentu pada termometer Y

$T_{ybb}$  : suhu batas bawah/terendah pada termometer Y

$T_{yba}$  : suhu batas atas/tertinggi pada termometer Y

#### b. Konversi Satuan Celsius, Reamur, Fahrenheit, dan Kelvin



#### c. Pemuaian

Pemuaian adalah peristiwa **BERTAMBAHNYA PANJANG, LUAS, atau VOLUME** suatu **BENDA** sebagai akibat dari **SUHUNYA NAIK**.

##### 1. Pemuaian Panjang

$$\Delta l = l_o \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$$l_t - l_o = l_o \cdot \alpha \cdot (T_t - T_o)$$

#### Keterangan:

$\Delta l$  : pertambahan panjang (meter)

$l_o$  : panjang mula-mula (meter)

$l_t$  : panjang akhir (meter)

$\alpha$  : koefisien muai panjang (/°C)

$\Delta T$  : perubahan suhu (°C)

$T_o$  : suhu awal (°C)

$T_t$  : suhu akhir (°C)

##### 2. Pemuaian Luas

$$\Delta A = A_o \cdot b \cdot \Delta T$$

$$A_t - A_o = A_o \cdot b \cdot (T_t - T_o)$$



**Keterangan:** $\Delta A$  : pertambahan luas ( $m^2$ ) $A_0$  : luas mula-mula ( $m^2$ ) $A_t$  : luas akhir ( $m^2$ ) $\beta$  : koefisien muai luas ( $/^\circ C$ ) ( $\beta = 2 \cdot \alpha$ )**3. Pemuaian Volume**

$$\Delta V = V_0 \cdot g \cdot \Delta T$$

$$V_t - V_0 = V_0 \cdot g \cdot (T_t - T_0)$$

**Keterangan:** $\Delta V$  : pertambahan volume ( $m^3$ ) $V_0$  : volume mula-mula ( $m^3$ ) $V_t$  : volume akhir ( $m^3$ ) $g$  : koefisien muai volume ( $/^\circ C$ ) ( $g = 3 \cdot \alpha$ )**Ingat** $\alpha$  = koefisien muai panjang $\beta = 2\alpha$  $\gamma = 3\alpha$ **B. KALOR**

Kalor adalah nama lain untuk energi panas. Penambahan kalor kepada suatu benda dapat:

1. **MENAIKKAN SUHU**-nya.
2. **MENGUBAH WUJUD**-nya.

**a. Kalor untuk Mengubah Suhu Zat**

Suatu benda dapat berubah suhunya apabila benda tersebut menyerap atau melepas kalor.

Jika benda menyerap kalor maka suhunya akan naik, sebaliknya jika benda melepas kalor maka suhunya akan turun.

Rumus:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T$$

**Keterangan:** $Q$  : kalor (Joule atau kalori) $m$  : massa benda (kg atau gr) $c$  : kalor jenis ( $J/kg^\circ C$  atau  $kal/gr^\circ C$ )

Kalor jenis air ( $c_{air} = 4.200 J/kg^\circ C$  atau

$$c_{air} = 1 kal/gr^\circ C$$

$\Delta T$  : perubahan suhu, yaitu suhu tinggi dikurangi suhu rendah ( $T_2 - T_1$ ) ( $^\circ C$ )

**b. Kalor untuk Mengubah Wujud Zat**

Wujud suatu zat dapat berupa padat, cair, dan gas. Wujud zat dapat berubah dari padat menjadi cair, cair menjadi gas, atau padat menjadi gas apabila zat menyerap kalor, dan sebaliknya.

**1. Kalor Uap (Mendidih)**

Penguapan adalah peristiwa perubahan wujud zat dari fase cair menjadi fase gas.

**Contoh:** pemanasan pada air secara terus-menerus membuat air menguap menjadi uap air (gas).

**Rumus:**

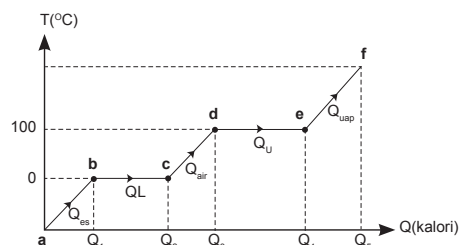
$$Q = m \cdot U$$

**Keterangan:** $Q$  : energi kalor (J atau kal) $m$  : massa benda (kg atau g) $U$  : kalor didih atau kalor uap ( $J/kg$ )**2. Kalor Lebur (Membeku)**

Kalor lebur dan kalor beku menyebabkan terjadinya perubahan wujud suatu zat yang tidak disertai perubahan suhu karena kalor yang diserap atau dilepas digunakan untuk mengubah wujud zat.

**Rumus:**

$$Q = m \cdot L$$

**Keterangan:** $Q$  : energi kalor (J atau kal) $m$  : massa benda (kg atau g) $L$  : kalor lebur atau kalor beku ( $J/kg$ )**c. Perubahan Wujud Es – Air – Uap**

- Proses a—b (**SUHU** es **NAIK** dari a ke b)

$$Q_{es} = m \cdot c_{es} \cdot \Delta T_{es}$$

$$Q_{es} = m \cdot c_{es} \cdot (b - a)$$

- Proses b—c (**PERUBAHAN WUJUD** es menjadi air)

$$Q = m \cdot L$$

- Proses c—d (**SUHU** air **NAIK** dari c ke d)

$$Q_{air} = m \cdot c_{air} \cdot \Delta T_{air}$$

$$Q_{air} = m \cdot c_{air} \cdot (d - c)$$

- Proses d—e (**PERUBAHAN WUJUD** air menjadi uap air)

$$Q_u = m \cdot U$$

- Proses e-f (**SUHU** air **NAIK** dari e ke f)

$$Q_{uap} = m \cdot c_{uap} \cdot \Delta T_{uap}$$

$$Q_{uap} = m \cdot c_{uap} \cdot (f - e)$$

#### Keterangan:

- $c_{es}$  : kalor jenis es (0,5 kal/gr°C)  
 $c_{air}$  : kalor jenis air (1 kal/gr°C)  
 $L$  : kalor lebur (80 kal/gr)  
 $U$  : kalor uap (540 kal/gr)  
 $a$  : suhu es  
 $b \text{ \& } c$  : suhu es mencair (0°C)  
 $d \text{ \& } e$  : suhu air mendidih (100°C)  
 $f$  : suhu uap



#### Ingat

- Kalor **LEBUR** atau **MEMBEKU**  
 $Q = m \cdot L$
- Kalor **UAP** atau **MENDIDIH**  
 $Q = m \cdot U$

#### d. Asas Black

- Pada zat yang memiliki suhu tinggi, jika dicampur dengan benda yang memiliki suhu yang lebih rendah maka akan terjadi

perpindahan kalor dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah sehingga kedua benda akan memiliki suhu akhir yang sama. Pernyataan tersebut sesuai dengan asas Black.

- Asas Black dikemukakan oleh seorang fisikawan Skotlandia bernama Joseph Black. Asas ini berbunyi:

*“Jika terdapat dua zat atau lebih saling berhubungan satu sama lain maka zat yang bersuhu tinggi akan mengalirkan kalor kepada zat yang bersuhu lebih rendah hingga tercipta kesetimbangan suhu.”*

Dengan kata lain, dapat disimpulkan:

$$Q_{lepas} = Q_{serap}$$

#### Keterangan:

- $Q_{lepas}$  : kalor yang dilepas oleh suatu zat yang memiliki suhu lebih tinggi.  
 $Q_{serap}$  : kalor yang diserap oleh suatu zat yang memiliki suhu lebih rendah.

## C. Perpindahan Kalor

### a. Konduksi

Konduksi adalah perpindahan kalor melalui zat perantara tanpa disertai perpindahan zat perantaranya.

**Contoh:** Besi yang dipanaskan di salah satu ujungnya maka ujung besi lainnya juga akan terasa panas (terjadi perambatan kalor).

#### Rumus:

$$P = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T}{L}$$

#### Keterangan:

- $P$  : daya (watt)  
 $k$  : konduktivitas termal bahan (W/m°C)  
 $A$  : luas penampang ( $\pi \cdot r^2$ ) (m²)  
 $\Delta T$  : perubahan suhu ( $T_2 - T_1$ ) (°C)  
 $L$  : panjang penghantar (m)

### b. Konveksi

Konveksi adalah perpindahan kalor melalui zat perantara dengan disertai perpindahan zat perantaranya.

**Contoh:** Proses pemanasan air.

$$P = h \cdot A \cdot \Delta T$$

#### Keterangan:

P : daya (watt)

h : konveksivitas termal ( $\text{W}/\text{m}^2\text{°C}$ )

A : luas permukaan benda ( $\text{m}^2$ )

$\Delta T$  : perubahan suhu ( $T_2 - T_1$ ) ( $\text{°C}$ )

### c. Radiasi

Radiasi adalah perpindahan kalor tanpa melalui zat perantara.

**Contoh:** Pancaran panas matahari sampai ke bumi.

$$P = e \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4$$

#### Keterangan:

P : laju energi kalor radiasi (Watt)

e : emisivitas radiasi ( $e = 1$  untuk benda hitam sempurna)

A : luas permukaan benda ( $\text{m}^2$ )

$\sigma$  : tetapan Stefan-Boltzman ( $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W}/\text{m}^2\text{.K}$ )

T : suhu (Kelvin)

## Teori Kinetik Gas dan Termodinamika

### A. Teori Kinetik Gas

Teori kinetik adalah suatu konsep yang menyatakan bahwa materi tersusun atas atom-atom yang terus-menerus bergerak. Teori kinetik dalam bab ini dibatasi pada materi berwujud gas.

#### a. Rumus Mol

Mol dirumuskan dengan:

$$n = \frac{m}{M_r} = \frac{N}{N_A}$$

#### Keterangan:

$n$  : mol

$m$  : massa (gram)

$M_r$  : massa molekul relatif (gram/mol)

$N$  : jumlah molekul

$N_A$  : bilangan Avogadro ( $6,02 \times 10^{23}$  molekul/mol)

#### b. Persamaan Umum Gas Ideal

Gas ideal adalah gas yang memiliki kriteria sebagai berikut:

1. Gas yang terdiri atas banyak sekali molekul yang masing-masing bermassa sama dan bergerak acak ke segala arah dengan berbagai kelajuan.
2. Jarak antarmolekul sangat jauh jika dibandingkan dengan ukuran molekul tersebut.
3. Molekul gas mengikuti hukum mekanika klasik. Gas tersebut berinteraksi hanya ketika bertumbukan dan tidak ada interaksi gaya lainnya.

4. Tumbukan yang terjadi antarmolekul dan tumbukan molekul dengan dinding bersifat elastis sempurna.

Persamaan umum gas ideal adalah:

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

$$P \cdot V = N \cdot k \cdot T$$

#### Keterangan:

$P$  : tekanan (N/m<sup>2</sup> atau Pascal)

$V$  : volume (m<sup>3</sup>)

$R$  : konstanta gas universal (8,314 J/mol K)

$T$  : suhu (Kelvin)

$k$  : konstanta Boltzmann ( $1,38 \times 10^{-23}$  J/K)

#### c. Hukum Boyle–Gay Lussac

Untuk gas ideal pada tabung yang terisolasi memenuhi persamaan sebagai berikut:

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

#### Keterangan:

$P_1$  : tekanan awal

$P_2$  : tekanan akhir

$V_1$  : volume awal

$V_2$  : volume akhir

$T_1$  : suhu awal

$T_2$  : suhu akhir

#### d. Energi Kinetik Gas Rata-rata

Energi kinetik gas adalah energi kinetik yang dimiliki oleh satu buah molekul gas karena memiliki suhu tertentu.

Energi kinetik gas berbanding lurus dengan suhu mutlak, semakin besar suhu maka semakin besar pula energi kinetiknya.

1. Pada gas monoatomik (He, Ne, Ar, ...):

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

2. Pada gas diatomik (O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, ...):

- Suhu rendah (gerak translasi)

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

- Suhu sedang (gerak translasi dan rotasi)

$$E_k = \frac{5}{2}kT$$

- Suhu tinggi (gerak translasi, rotasi, dan vibrasi)

$$E_k = \frac{7}{2}kT$$

#### e. Energi Dalam

Energi dalam adalah jumlah energi kinetik total gas dalam sistem.

**Pada gas monoatomik:**

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

**Pada gas diatomik:**

- Suhu rendah (± 250 K)

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

- Suhu sedang (± 500 K)

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

- Suhu tinggi (1.000 K)

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

**Keterangan:**

U : energi dalam gas (Joule)

#### f. Kecepatan rms

Dalam teori kinetik gas, dikenal istilah  $v_{rms}$  (*root mean square*), yaitu akar dari rata-rata kuadrat kecepatan.

Kecepatan  $v_{rms}$  bergantung pada variabel suhu. Jadi, selama suhu sistem tidak berubah (proses isotermis) maka tidak terjadi perubahan  $v_{rms}$ . Semakin besar suhu sistem maka kecepatan gerak partikel gas juga meningkat, begitu pula sebaliknya.

Kecepatan  $v_{rms}$  dirumuskan dengan:

$$v_{rms} = \sqrt{\frac{3 \cdot k \cdot T}{m_0}} = \sqrt{\frac{3 \cdot R \cdot T}{Mr}}$$

**Keterangan:**

$v_{rms}$  : kecepatan rata-rata molekul gas (m/s)

$m_0$  : massa satu molekul (gram)

R : konstanta gas universal (8,314 J/mol K)

Mr : massa molekul relatif (gram/mol)

T : suhu (Kelvin)

## B. Termodinamika

#### a. Proses-proses Termodinamika

##### 1. Isobarik

Isobarik adalah proses termodinamika pada **TEKANAN KONSTAN**.

Rumus isobarik adalah:

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

##### 2. Isotermis

Isotermis adalah proses termodinamika pada **SUHU KONSTAN**.

Rumus isotermis adalah:

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

##### 3. Isokhorik

Isokhorik adalah proses termodinamika pada **VOLUME KONSTAN**.

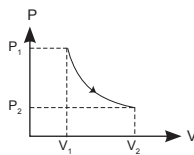
Rumus proses isokhorik adalah:

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

#### 4. Adiabatik ( $Q_{in} = 0$ , $Q_{out} = 0$ )

Adiabatik adalah proses termodinamika pada saat **TIDAK ADA KALOR** yang **MASUK** atau **KELUAR** sistem.

Grafik dan rumus proses adiabatik adalah:



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

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

##### Keterangan:

P : tekanan (Pascal)

V : volume ( $m^3$ )

T : suhu (Kelvin)

g : konstanta Laplace

#### b. Hukum I Termodinamika

Hukum I termodinamika dirumuskan dengan:

$$Q = \Delta U + W$$

Jika sistem menyerap kalor maka Q bernilai positif, sedangkan jika sistem melepas kalor, Q bernilai negatif.

##### Keterangan:

Q : jumlah kalor (J)

$\Delta U$  : perubahan energi dalam (J)

W : kerja atau usaha (J)

#### c. Perubahan Energi Dalam

Perubahan energi dalam adalah **SELISIH** dari **ENERGI DALAM AKHIR** dengan **ENERGI DALAM AWAL**.

$\Delta U$  bernilai positif, artinya suhu sistem naik atau energi dalam meningkat.  $\Delta U$  bernilai negatif, artinya suhu sistem turun atau energi dalam menurun.

$\Delta U$  dapat bernilai nol (0), jika terjadi proses isotermis dan siklus reversibel.

Perubahan energi dalam gas monoatomik dirumuskan dengan:

$$\Delta U = \frac{3}{2} \cdot n \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$$

#### d. Usaha

Usaha dapat dihasilkan dalam suatu sistem gas apabila volume gas bertambah.

Usaha dinyatakan dengan rumus:

$$W = \int P \cdot dV$$

Usaha (W) dapat bernilai positif, jika sistem melakukan usaha (sistem mengembang) atau dikatakan sebagai proses ekspansi (volume sistem bertambah).

Usaha bernilai negatif, jika sistem dilakukan usaha dari lingkungan atau dikatakan sebagai proses kompresi (volume sistem berkurang). Jika usaha bernilai nol, artinya sistem sedang mengalami proses isokhorik (volume konstan).

Usaha juga dapat dicari dengan mencari luas daerah di dalam grafik P – V.

Rumus usaha yang lainnya adalah:

##### 1. Pada proses isobarik

$$W = P \cdot (V_2 - V_1) = n \cdot R \cdot (T_2 - T_1)$$

##### 2. Pada proses isotermis

$$W = n \cdot R \cdot T \cdot \ln \frac{V_2}{V_1}$$

##### 3. Pada proses adiabatik

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

#### e. Hukum II Termodinamika

Hukum II Termodinamika dapat dinyatakan dengan:

1. Kalor yang mengalir secara spontan dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah dan tidak dapat mengalir secara spontan dalam arah kebalikannya.
2. Total entropi jagad raya tidak berubah ketika terjadi proses reversibel dan akan bertambah jika terjadi proses ireversibel.
3. Tidak mungkin membuat sebuah mesin kalor yang bekerja dalam suatu siklus semata-mata menyerap kalor dari sebuah reservoir dan mengubah seluruhnya menjadi usaha luar.

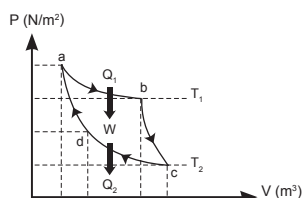
#### f. Mesin Kalor

Mesin kalor adalah mesin yang bekerja dengan cara menyerap panas dari reservoir suhu tinggi ( $Q_1$ ) untuk menghasilkan usaha ( $W$ ) dan membuang energi panas sisanya ke reservoir suhu rendah ( $Q_2$ ).

Mesin kalor memiliki efisiensi nyata yang dirumuskan dengan:

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

Jika mesin kalor mengikuti siklus Carnot/ mesin kalor ideal maka grafiknya adalah:



$$\eta = \frac{W}{Q_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$W = Q_1 - Q_2$$

Proses a – b : proses isoteremis (kalor masuk)

Proses b – c : ekspansi adiabatik

Proses c – d : proses isoteremis (kalor keluar)

Proses d – a : kompresi adiabatik

#### g. Mesin Pendingin

Mesin pendingin adalah mesin yang menyerap panas dari reservoir suhu rendah ( $Q_2$ ) dan membuang panas tersebut ke reservoir suhu tinggi ( $Q_1$ ) dengan menggunakan usaha ( $W$ ) yang berasal dari lingkungan/luar sistem.

Kinerja mesin pendingin pada siklus Carnot dirumuskan dengan:

$$k = \frac{Q_2}{W} = \frac{T_2}{T_1 - T_2}$$

$$W = Q_1 - Q_2$$

#### Keterangan:

$k$  : kinerja mesin pendingin

$\eta$  : efisiensi mesin kalor

$W$  : usaha yang dihasilkan (J)

$Q_1$  : kalor pada reservoir suhu tinggi (J)

$Q_2$  : kalor pada reservoir suhu rendah (J)

$T_1$  : suhu tinggi (Kelvin)

$T_2$  : suhu rendah (Kelvin)

## Optik dan Alat-Alat Optik

Optika geometri adalah ilmu fisika yang mempelajari tentang sifat-sifat cahaya pada pemantulan dan pembiasan.

Pemantulan terjadi pada cermin dan pembiasan terjadi pada benda bening, contohnya lensa.

### a. Rumus Fokus Cermin/Lensa

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s} + \frac{1}{s'}$$

**Keterangan:**

$f$  : jarak fokus lensa/cermin (m)

$s$  : jarak benda ke lensa/cermin (m)

$s'$  : jarak bayangan ke lensa/cermin (m)

**Catatan:**

- $s$  bertanda **POSITIF (+)** jika **BENDA** terletak **DI DEPAN CERMIN/LENSA (BENDA NYATA)**.
- $s$  bertanda **NEGATIF (-)** jika **BENDA** terletak **DI BELAKANG CERMIN/LENSA (BENDA MAYA)**.
- $s'$  bertanda **POSITIF (+)** jika **BAYANGAN** terletak **DI DEPAN CERMIN (BAYANGAN NYATA)**.
- $s'$  bertanda **POSITIF (+)** jika **BAYANGAN** terletak **DI BELAKANG LENS (BAYANGAN NYATA)**.
- $s'$  bertanda **NEGATIF (-)** jika **BAYANGAN** terletak **DI BELAKANG CERMIN (BAYANGAN MAYA)**.
- $s'$  bertanda **NEGATIF (-)** jika **BAYANGAN** terletak **DI DEPAN LENS (BAYANGAN MAYA)**.

### b. Rumus Perbesaran Linier pada Cermin/Lensa

$$M = \frac{h'}{h} = \left| \frac{-s'}{s} \right|$$

**Keterangan:**

$M$  : perbesaran linier cermin/lensa

$h$  : tinggi benda (m)

$h'$  : tinggi bayangan (m)



### Ingat

- Menurut jenisnya:

#### CERMIN

- Cekung**: cermin **POSITIF (+)**
- Cembung**: cermin **NEGATIF (-)**

#### LENSA

- Cekung**: lensa **NEGATIF (-)**
- Cembung**: lensa **POSITIF (+)**

- Tanda  $f$  dan  $R$ :

- POSITIF (+)** untuk **CERMIN CEKUNG** dan **LENSA CEMBUNG**.
- NEGATIF (-)** untuk **CERMIN CEMBUNG** dan **LENSA CEKUNG**

Menentukan sifat bayangan pada cermin sama dengan menentukan sifat bayangan pada lensa.

$$1. R_{\text{Benda}} + R_{\text{Bayangan}} = 5$$

$$2. R_{\text{Bayangan}} = I \text{ atau } IV$$

bayangan: **maya** dan **tegak**

$$R_{\text{Bayangan}} = II \text{ atau } III$$

bayangan: **nyata** dan **terbalik**

$$3. R_{\text{Bayangan}} > R_{\text{Benda}} \quad \text{DIPERBESAR}$$

$$4. R_{\text{Bayangan}} < R_{\text{Benda}} \quad \text{DIPERKECIL}$$

### c. Pembiasan

Pembiasan adalah peristiwa pembelokan arah cahaya karena cahaya melewati dua medium



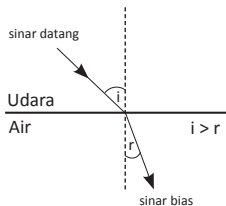
yang berbeda kerapatan optiknya, seperti udara dan air.

**Contoh:** Jika kita memasukkan pensil ke dalam gelas berisi air maka pensil akan terlihat seperti patah/bengkok.

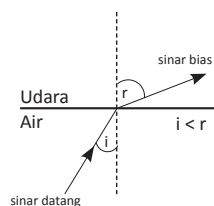


Terdapat dua macam pembiasan cahaya, yaitu:

1. Cahaya datang dari medium **RENGGANG** (udara) menuju ke medium **RAPAT** (air) maka cahaya akan berbelok **MENDEKATI** sumbu normal (garis putus-putus yang tegak lurus pada bidang bias).
2. Cahaya datang dari medium **RAPAT** (air) menuju ke medium **RENGGANG** (udara) maka cahaya akan berbelok **MENJAUHI** garis normal.



Gambar 1



Gambar 2

Rumus pembiasan:

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r$$

**Keterangan:**

$n_1$  : indeks bias medium 1

$n_2$  : indeks bias medium 2

$i$  : sudut datang

$r$  : sudut bias

### 1. Sudut kritis pada pembiasan

Sudut kritis ( $i_k$ ) adalah sudut datang yang terjadi apabila **CAHAYA DATANG** dari **MEDIUM RAPAT** ke **MEDIUM RENGANG** yang mengakibatkan sudut biasnya sebesar  $90^\circ$  (tegak lurus garis normal).

**Rumus:**

$$\sin i_k = \frac{n_2}{n_1}$$

**Keterangan:**

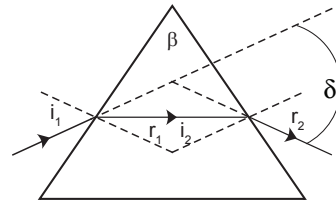
$i_k$  : sudut kritis

$n_1$  : indeks bias medium 1

$n_2$  : indeks bias medium 2

Dengan syarat  $n_1 > n_2$

### 2. Pembiasan pada prisma



Rumus pembiasan pada prisma:

#### • Rumus sudut deviasi

Sudut deviasi adalah sudut yang dibentuk antara perpanjangan sinar datang mula-mula dengan sinar bias yang keluar dari prisma.

$$\delta = i_1 + r_2 - b$$

#### • Rumus sudut pembias prisma

Sudut pembias adalah sudut pada prisma yang membiaskan cahaya.

$$b = i_2 + r_1$$

#### • Rumus sudut deviasi minimum

Sudut deviasi minimum adalah sudut deviasi yang terjadi, **SYARATNYA:**

$$\begin{aligned} i_1 &= r_2 \text{ dan } i_2 = r_1 \\ \delta_m &= 2i_1 - b \\ n_m \cdot \sin\left(\frac{\delta_m \cdot \beta}{2}\right) &= n_m \cdot \sin\left(\frac{\beta}{2}\right) \end{aligned}$$

Jika  $\beta \leq 15^\circ$  maka akan berlaku:

$$\delta_m = \left(\frac{n_p}{n_m} - 1\right) \cdot \beta$$

**Keterangan:**

$i_1$  : sudut datang pertama

$r_2$  : sudut bias kedua

$\beta$  : sudut pembias (sudut puncak) prisma

$\delta$  : sudut deviasi

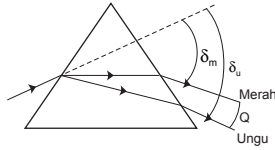
$\delta_m$  : sudut deviasi minimum

$n_m$  : indeks bias medium

$n_p$  : indeks bias prisma

- **Rumus sudut dispersi prisma**

Sudut dispersi adalah sudut yang dibentuk antara selisih sudut deviasi sinar ungu dengan sudut deviasi sinar merah.



**Rumus:**

$$\begin{aligned}\delta_u &= (n_u - 1) \cdot \beta \\ \delta_m &= (n_m - 1) \cdot \beta \\ Q &= \delta_u - \delta_m \\ &= (n_u - n_m) \cdot \beta\end{aligned}$$

**Keterangan:**

$\delta_u$  : sudut deviasi sinar ungu  
 $\delta_m$  : sudut deviasi sinar merah  
 $n_m$  : indeks bias sinar merah  
 $n_u$  : indeks bias sinar ungu  
 $Q$  : sudut dispersi

### 3. Rumus pembiasan cahaya pada bidang sferis

Bidang sferis adalah bidang yang dibatasi oleh permukaan lengkung.

**Rumus:**

$$\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$$

Jika tinggi benda adalah  $h$  maka perbesaran bayangan yang terjadi pada pembiasan untuk bidang sferis adalah:

$$M = \frac{h'}{h} = \left| \frac{s'}{s} \times \frac{n_1}{n_2} \right|$$

**Keterangan:**

$s'$  : jarak bayangan ke bidang sferis  
 $s$  : jarak benda ke bidang sferis  
 $n_1$  : indeks bias medium tempat sinar datang  
 $n_2$  : indeks bias medium tempat sinar bias

$R$  : jari-jari kelengkungan

$h'$  : tinggi bayangan

$h$  : tinggi benda

4. Rumus jarak fokus lensa pada suatu medium  
 Jika suatu lensa tipis diletakkan di suatu medium tertentu, contohnya udara atau air maka rumus fokusnya adalah:

$$\frac{1}{f} = \left( \frac{n_L}{n_m} - 1 \right) \cdot \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

**Keterangan:**

$f$  : jarak fokus lensa

$n_L$  : indeks bias lensa

$n_m$  : indeks bias medium

$R_1$  : jari-jari kelengkungan 1 (m)

$R_2$  : jari-jari kelengkungan 2 (m)

### 5. Kekuatan lensa

Kekuatan lensa diukur dengan satuan dioptri.

**Rumus:**

$$P = \frac{1}{f}, \text{ jika } f \text{ dalam satuan meter}$$

$$P = \frac{100}{f}, \text{ jika } f \text{ dalam satuan cm}$$

**Keterangan:**

$P$  : kekuatan lensa (dioptri)

$f$  : jarak fokus lensa

## Alat-Alat Optik

Alat optik adalah benda atau alat yang menerapkan sifat-sifat cahaya. Alat-alat optik di antaranya adalah mata, kacamata, lup, mikroskop, dan teropong.

### a. Mata

- Lensa mata berperan sebagai pembentuk bayangan benda.
- Lensa memiliki kemampuan memipih dan mencembung yang disebut daya akomodasi.
- Jika melihat benda jauh maka lensa mata memipih. Jika melihat benda dekat maka mata mencembung.

- **BAYANGAN MATA** akan terbentuk **DI RETINA**.
- Sifat bayangan di retina adalah **NYATA**, **TERBALIK**, dan **DIPERKECIL**.
- Mata normal disebut emitrop, yaitu mata yang memiliki jarak titik jauh (*Punctum Remotum*) tak terhingga dan memiliki jarak titik dekat (*Punctum Proximum*) sebesar 25 cm.

#### b. Kacamata

Kacamata adalah alat yang digunakan untuk membantu membentuk bayangan benda pada mata karena daya akomodasi mata telah melemah.

Kacamata digunakan oleh penderita:

##### 1. Rabun Jauh (Miopi)

###### Ciri-ciri:

- Penglihatan tampak kabur saat melihat benda jauh.
- Titik dekat mata (PP) = 25 cm, titik jauh mata (PR) kurang dari tak terhingga.
- Bayangan jatuh di depan retina
- Ditolong dengan kacamata berlensa cekung/negatif.

Rumus kekuatan lensa kacamata:

$$P = \frac{-1}{PR}, \text{ jika PR dalam satuan meter}$$

$$P = \frac{-100}{PR}, \text{ jika PR dalam satuan cm}$$

###### **Keterangan:**

P : kekuatan lensa (dioptri)

PR : *punctum remotum* (jarak titik jauh mata)

##### 2. Rabun Dekat (Hipermetropi)

###### Ciri-ciri:

- Penglihatan tampak kabur jika melihat benda dekat.
- Titik dekat mata (PP) lebih dari 25 cm, titik jauh mata (PR) tidak terhingga.
- Bayangan jatuh di belakang retina.
- Ditolong dengan kacamata berlensa positif /cembung.

Rumus kekuatan lensa kacamata:

$$P = \frac{100}{S_n} - \frac{100}{PP}$$

Jika jarak baca normal adalah 25 cm ( $S_n = 25$  cm) maka kekuatan lensanya adalah:

$$P = 4 - \frac{100}{PP}, \text{ jika PP dalam satuan cm}$$

$$P = 4 - \frac{1}{PP}, \text{ jika PP dalam satuan m}$$

###### **Keterangan:**

P : kekuatan lensa (dioptri)

PP : *punctum proximum* (jarak titik dekat mata)

$S_n$  : titik dekat mata normal (25 cm)

#### c. Lup

Lup adalah alat optik yang digunakan untuk memperbesar bayangan benda.

- Lup adalah sebuah lensa cembung.
- Benda harus diletakkan di antara lensa dengan fokus lensa.
- Bayangan yang dihasilkan adalah **MAYA**, **TEGAK**, dan **DIPERBESAR**.

**Rumus perbesaran anguler lup adalah:**

##### 1. Mata berakomodasi maksimum

Perbesaran anguler maksimum terjadi apabila mata berakomodasi maksimum.

**Rumus:**

$$M = \frac{S_n}{f} + 1$$

##### 2. Mata berakomodasi minimum

Perbesaran anguler minimum terjadi apabila mata tidak berakomodasi atau dalam keadaan santai.

**Rumus:**

$$M = \frac{S_n}{f}$$

##### 3. Mata berakomodasi pada jarak x

Untuk mata yang berakomodasi pada jarak x, rumusnya:

$$M = \frac{PP}{f} + \frac{PP}{x}$$

Jika pada soal hanya diketahui mata normal maka gunakan nilai  $PP = 25 \text{ cm}$  (jika tidak disebutkan nilai yang lainnya).

**Keterangan:**

$M$  : perbesaran bayangan

$f$  : jarak titik fokus lup (cm)

#### d. Mikroskop

Mikroskop adalah alat optik yang berfungsi untuk memperbesar bayangan benda-benda yang sangat kecil (renik).

- Mikroskop terdiri atas dua lensa cembung.
- Lensa cembung yang berada di dekat benda (objek) disebut lensa objektif.
- Lensa cembung yang berada di dekat mata disebut lensa okuler.
- Benda harus diletakkan di antara titik fokus objektif dan dan jari-jari lensa objektif/di ruang 2 benda. ( $f_{ob} < s_{ob} < 2f_{ob}$ )
- Bayangan yang terbentuk di **LENSA OBJEKTIFNYA** adalah **NYATA, TERBALIK**, dan **DIPERBESAR**.
- **BAYANGAN AKHIR** yang terbentuk di **LENSA OKULERNYA** bersifat **MAYA, TERBALIK**, dan **DIPERBESAR**.

**Rumus:**

##### 1. Mata berakomodasi maksimum

Saat mata berakomodasi maksimum maka perbesaran sudutnya adalah:

$$M_{maks} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \times \left( \frac{PP}{f_{ok}} + 1 \right)$$

Panjang tabung (jarak antara lensa objektif dan lensa okuler) adalah:

$$d_{maks} = s'_{ob} + s_{ok}$$

##### 2. Mata berakomodasi minimum

Saat mata berakomodasi minimum maka perbesaran sudutnya adalah:

$$M_{min} = \frac{s'_{ob}}{s_{ob}} \cdot \left( \frac{PP}{f_{ok}} \right)$$

Panjang tabung (jarak antara lensa objektif dan lensa okuler) adalah:

$$d_{min} = s'_{ob} + f_{ok}$$

**Keterangan:**

$M_{maks}$  : perbesaran total saat mata berakomodasi maksimum

$M_{min}$  : perbesaran total saat mata berakomodasi minimum

$d_{maks}$  : panjang tabung mikroskop saat mata berakomodasi maksimum

$d_{min}$  : panjang tabung mikroskop saat mata berakomodasi minimum

$s_{ob}$  : jarak benda ke lensa objektif

$s'_{ob}$  : jarak bayangan ke lensa objektif

$s_{ok}$  : jarak benda ke lensa okuler

$f_{ok}$  : jarak fokus lensa okuler

#### d. Teropong Bintang

Teropong bintang umumnya digunakan untuk mengamati benda-benda angkasa. Teropong ini memiliki dua buah lensa cembung, yaitu:

- Lensa okuler, yaitu lensa yang letaknya dekat dengan mata.
- Lensa objektif, yaitu lensa yang tertuju pada benda-benda angkasa yang diamati. Fokus lensa objektif lebih besar dari fokus lensa okuler.
- **BAYANGAN AKHIR** yang terbentuk di **LENSA OKULERNYA** bersifat **MAYA, TERBALIK**, dan **DIPERBESAR**.

**Rumus:**

##### 1. Mata akomodasi maksimum

Saat mata berakomodasi maksimum maka perbesaran sudutnya adalah:

$$M_{maks} = \frac{f_{ob}}{s_{ok}} \quad M_{\alpha} = \frac{\beta}{\alpha}$$

Panjang tabung (jarak antara lensa objektif dan lensa okuler) adalah:

$$d_{\text{maks}} = f_{\text{ob}} + s_{\text{ok}}$$

## 2. Mata berakomodasi minimum

Saat mata berakomodasi minimum maka perbesaran angulernya adalah:

$$M_{\text{min}} = \frac{f_{\text{ob}}}{f_{\text{ok}}} \quad M_{\alpha} = \frac{\beta}{\alpha}$$

Panjang tabung (jarak antara lensa objektif dan lensa okuler) adalah:

$$d_{\text{maks}} = f_{\text{ob}} + f_{\text{ok}}$$

### Keterangan:

$M_{\alpha}$  : perbesaran angular

$\beta$  : sudut diameter yang dibentuk antara objek dengan teropong

$\alpha$  : sudut diameter yang dibentuk antara objek dengan mata telanjang



## Ingat

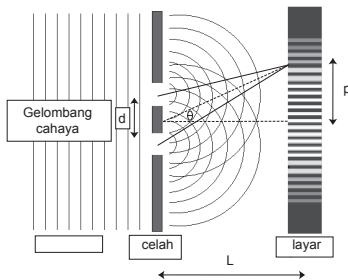
Tabel Bayangan Akhir pada Alat Optik

| No. | Alat Optik       | Bayangan Akhir yang Dibentuk |
|-----|------------------|------------------------------|
| 1.  | Mata             | Nyata, terbalik, diperkecil  |
| 2.  | Lup              | Maya, tegak, diperbesar      |
| 3.  | Mikroskop        | Maya, terbalik, diperbesar   |
| 4.  | Teropong bintang | Maya, terbalik, diperbesar   |

### A. Interferensi

#### a. Interferensi Celah Ganda (Young)

Interferensi adalah **PERPADUAN** antara **DUA GELOMBANG CAHAYA** yang **DATANG** pada suatu tempat **SECARA BERSAMAAN**. Interferensi terjadi akibat perbedaan lintasan gelombang cahaya dengan syarat kedua gelombang cahaya tersebut koheren (beda fase tetap).



Jika hasil perpaduan kedua gelombang tersebut saling **MENGUATKAN** maka terjadi **POLA TERANG**.

Jika hasil perpaduan gelombang tersebut saling **MELEMAHKAN** maka terjadi **POLA GELAP**.

**Rumus umum interferensi:**

##### 1. Interferensi maksimum

Interferensi maksimum atau interferensi saling menguatkan terjadi saat pola terang tampak pada layar maka beda lintasan cahayanya dirumuskan dengan:

$$\begin{aligned}\Delta S &= m \cdot \lambda \\ d \cdot \sin \theta &= m \cdot \lambda \\ d \cdot \frac{P}{L} &= m \cdot \lambda\end{aligned}$$

##### 2. Interferensi minimum

Interferensi minimum atau interferensi saling melemahkan terjadi saat pola gelap tampak pada layar maka beda lintasan cahayanya dirumuskan:

$$\begin{aligned}\Delta S &= (2m-1) \frac{1}{2} \cdot \lambda \\ d \cdot \sin \theta &= (2m-1) \frac{1}{2} \cdot \lambda \\ d \cdot \frac{P}{L} &= (2m-1) \frac{1}{2} \cdot \lambda\end{aligned}$$

**Keterangan:**

$\Delta S$  : selisih jarak sumber ke titik

$m$  : orde: 1, 2, 3, 4....

$\lambda$  : panjang gelombang sumber cahaya

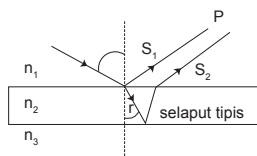
$p$  : jarak pola terang/gelap ke terang pusat

$L$  : jarak celah ke layar (m)

$d$  : lebar celah (m)

##### b. Interferensi Selaput Tipis

Interferensi dapat terjadi pada lapisan tipis. Hal ini disebabkan adanya beda lintasan antara cahaya yang terpantul dari atas selaput tipis, yaitu  $S_1$  dengan cahaya yang terpantul dari bawah selaput tipis, yaitu  $S_2$ .



### 1. Selaput tipis menutupi bidang tembus cahaya (lensa)

Apabila cahaya tipis digunakan untuk menutupi lensa maka berlaku syarat:

$$n_1 < n_2 < n_3$$

- Interferensi maksimum (pola terang)**

Saat terlihat pola terang maka beda lintasan  $\Delta S$  dirumuskan dengan:

$$\Delta S = 2 \cdot n_2 \cdot d \cdot \cos r = \mu \cdot \lambda$$

- Interferensi minimum (pola gelap)**

Saat terlihat pola gelap maka beda lintasan  $\Delta S$  dirumuskan dengan:

$$\Delta S = 2 \cdot n_2 \cdot d \cdot \cos r = (2m - 1) \frac{1}{2} \cdot \lambda$$

**Keterangan:**

- $n_1$  : indeks bias 1 (biasanya, indeks bias udara,  $n = 1$ )
- $n_2$  : indeks bias 2 (selaput tipis)
- $n_3$  : indeks bias 3 (bidang tembus cahaya/lensa)
- $d$  : tebal selaput tipis
- $r$  : sudut bias
- $m$  : orde, (1, 2, 3, 4,...)
- $\lambda$  : panjang gelombang cahaya

### 2. Selaput tipis berada di udara

Jika selaput tipis berada di udara maka indeks bias  $n_1 = n_3 = 1$ .

- Interferensi maksimum (terlihat terang)**

Saat terlihat pola terang maka beda lintasan  $\Delta S$  dirumuskan dengan:

$$\Delta S = 2 \cdot n_2 \cdot d \cdot \cos r = (2m - 1) \frac{1}{2} \cdot \lambda$$

- Interferensi minimum (terlihat gelap)**

Saat terlihat pola gelap maka beda lintasan  $\Delta S$  dirumuskan dengan:

$$\Delta S = 2 \cdot n_2 \cdot d \cdot \cos r = m \cdot \lambda$$

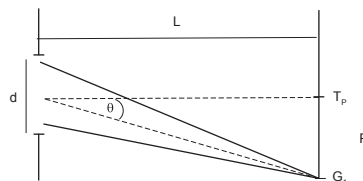
**Keterangan:**

- $n_1$  : indeks bias 1 (udara,  $n = 1$ )
- $n_2$  : indeks bias 2 (selaput tipis)
- $n_3$  : indeks bias 3 (udara,  $n = 1$ )

## B. Difraksi

### a. Difraksi Celah Tunggal

Difraksi adalah peristiwa pelenturan cahaya akibat melewati suatu celah. Pada difraksi celah tunggal maka yang melenturkan cahaya adalah sebuah celah.



**Rumus difraksi**

Jika sudut lenturan kurang dari  $15^\circ$  ( $\theta < 15^\circ$ ) maka berlaku rumus:

$$d \cdot \sin \theta = d \cdot \frac{P}{L}$$

**Keterangan:**

- $P$  : jarak terang atau gelap
- $L$  : jarak celah ke layar (m)
- $d$  : lebar celah (m)
- $\theta$  : sudut difraksi

- Difraksi Celah Tunggal Pola Terang**

Pada difraksi celah tunggal yang menghasilkan pola terang maka berlaku rumus:

$$d \cdot \sin \theta = (m + \frac{1}{2}) \lambda$$

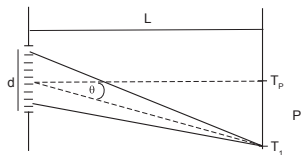
- **Difraksi Celah Tunggal Pola Gelap**

Pada difraksi celah tunggal yang menghasilkan pola gelap maka berlaku rumus:

$$d \cdot \sin \theta = \mu \cdot \lambda$$

- b. **Difraksi Kisi**

Difraksi kisi adalah pelenturan cahaya karena adanya penghalang berupa kisi. **KISI** adalah **CELAH** yang **SANGAT BANYAK**.



$$d = \frac{1}{N}$$

- **Difraksi Kisi Pola Terang**

Pada difraksi celah kisi yang menghasilkan pola terang maka berlaku rumus:

$$d \cdot \sin \theta = \mu \cdot \lambda$$

- **Difraksi Kisi Pola Gelap**

Pada difraksi celah kisi yang menghasilkan pola gelap maka berlaku rumus:

$$d \cdot \sin \theta = (2m - 1) \cdot \frac{1}{2} \lambda$$

**Keterangan:**

P : jarak terang atau gelap

L : jarak celah ke layar (m)

d : lebar celah (m)

m : orde (1, 2, 3,...)

N : jumlah kisi per satuan panjang

θ : sudut lenturan

- c. **Difraksi Bragg**

Difraksi Bragg adalah difraksi (pelenturan cahaya) yang terjadi pada kristal padat yang disinari cahaya. Pada Difraksi Bragg berlaku rumus:

$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = \mu \cdot \lambda$$

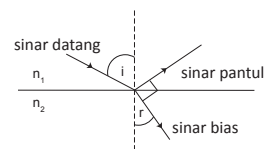
**Keterangan:**

d : jarak antar-atom pada kristal padat

## C. Polarisasi

- a. **Polarisasi karena Pemantulan dan Pembiasan (Polarisasi Linear)**

Polarisasi linear adalah peristiwa terserapnya arah getar cahaya menjadi satu arah akibat dari cahaya yang datang pada bidang tembus cahaya menghasilkan sudut 90° antara sudut bias dengan sudut pantul.



Hukum Snellius tentang pemantulan:

$$\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1} \quad \text{tg } i = \frac{n_2}{n_1} \quad i + r = 90^\circ$$

**Keterangan:**

i : sudut datang

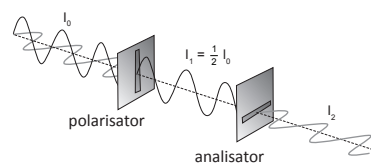
r : sudut bias

n<sub>1</sub> : indeks bias sinar datang (biasanya, indeks bias udara, n = 1)

n<sub>2</sub> : indeks bias sinar bias.

- b. **Polarisasi karena Absorpsi Selektif**

Polarisasi karena absorpsi selektif adalah peristiwa terserapnya sebagian arah getar cahaya karena melewati beberapa celah. Perhatikan gambar di bawah ini:





Rumus yang berlaku adalah:

$$I' = I \cos^2 \alpha$$

Dari rumus ini dapat diturunkan menjadi:

$$\begin{aligned} I_2 &= I_1 \cos^2 \alpha_1 = \frac{1}{2} I_0 \cdot \cos^2 \alpha_1 \\ I_3 &= I_2 \cdot \cos^2 \alpha_2 \end{aligned}$$

**Keterangan:**

$I'$  : intensitas cahaya setelah melewati polarisator

$I$  : intensitas cahaya sebelum melewati polarisator.

$\alpha$  : sudut yang dibentuk antara dua polarisator

$I_0$  : intensitas awal.

$I_1$  : intensitas cahaya setelah melewati polarisator 1 ( $I_1 = \frac{1}{2} I_0$ ).

$I_2$  : intensitas cahaya setelah melewati polarisator 2.

$I_3$  : intensitas cahaya setelah melewati polarisator 3.

## Getaran dan Gelombang

### A. Getaran Harmonik

Getaran harmonik adalah gerak bolak-balik benda melalui titik keseimbangan yang memiliki frekuensi dan periode tetap. Contoh dari gerak getaran harmonik adalah pegas dan bandul.

#### a. Pegas

Jika pegas ditekan atau ditarik dari titik keseimbangannya maka pegas akan kembali ke tempatnya semula karena gaya pemulih pada pegas.

##### 1. Gaya Pemulih

Gaya pemulih pegas dirumuskan dengan:

$$F = -k \cdot y$$

**TANDA NEGATIF** dikarenakan **GAYA PEMULIH MELAWAN ARAH GAYA YANG DIBERIKAN**.

##### Keterangan:

F : gaya pemulih (N)

k : konstanta pegas (N/m)

y : simpangan (m)

##### 2. Usaha pada Pegas

Pegas melakukan usaha yang sebanding dengan besarnya konstanta pegas, gaya pemulih, dan simpangannya.

Usaha pegas dirumuskan dengan:

$$W = \frac{1}{2} k \cdot y^2 = \frac{1}{2} F \cdot y$$

##### Keterangan:

W : usaha pada pegas (J)

##### 3. Elastisitas Bahan Pegas

Elastisitas adalah kemampuan bahan untuk mulur karena diberi gaya.

##### • Tegangan

Tegangan adalah besarnya gaya per satuan luas penampang bahan. Tegangan dirumuskan dengan:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

##### • Regangan

Regangan adalah perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang mula-mula.

Regangan dirumuskan dengan:

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

##### • Modulus Young/ Modulus Elastisitas

Modulus Young adalah perbandingan antara tegangan dengan regangan. Modulus Young menunjukkan tingkat elastisitas bahan.

Modulus Young dirumuskan dengan:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{F \cdot L}{A \cdot \Delta L}$$

##### • Konstanta Pegas

Konstanta pegas menunjukkan kekuatan pegas. Semakin besar nilai konstanta

pegas maka semakin sulit untuk menarik atau menekan pegas tersebut.

Rumus konstanta pegas hubungannya dengan modulus Young adalah:

$$k = \frac{E \cdot A}{L}$$

**Keterangan:**

$\sigma$  : tegangan yang terjadi pada bahan (N/m<sup>2</sup>)

$\varepsilon$  : regangan bahan

A : luas penampang bahan (m<sup>2</sup>)

$\Delta L$  : pertambahan panjang (m)

L : panjang bahan awal (m)

E : modulus Young/elastisitas bahan (N/m<sup>2</sup>)

k : konstanta/tetapan pegas (N/m)

#### 4. Periode dan Frekuensi Pegas

Periode adalah waktu yang dibutuhkan untuk melakukan satu kali getaran.

Frekuensi adalah banyaknya getaran yang terjadi pada saat satu detik.

Besarnya periode dan frekuensi pegas tergantung pada massa beban dan konstanta pegas. Rumus periode dan frekuensi pada pegas, yaitu:

$$\begin{aligned} T &= 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}} & k &= m \cdot \omega^2 \\ f &= \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{k}{m}} & \omega &= 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T} \\ f &= \frac{1}{T} \text{ atau } T = \frac{1}{f} \end{aligned}$$

**Keterangan:**

T : periode pegas (s)

F : frekuensi pegas (hertz = Hz)

m : massa beban (kg)

k : konstanta pegas (N/m)

$\omega$  : frekuensi sudut (rad/s)

#### 5. Susunan pegas

Pegas dapat disusun secara seri dan paralel atau gabungan keduanya.

##### • Susunan seri pegas

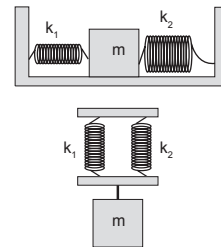
Jika **PEGAS DIRANGKAI SERI** maka **GAYA** yang dialami masing-masing **PEGAS** adalah **SAMA DENGAN GAYA TARIKNYA**, tetapi **SIMPANGANNYA BERBEDA**.

Rumus yang berlaku:

$$\begin{aligned} \frac{1}{k_s} &= \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \dots \\ F &= F_1 = F_2 = \dots \\ \Delta x &= \Delta x_1 + \Delta x_2 + \dots \end{aligned}$$

##### • Susunan paralel pegas

Jika **PEGAS DIRANGKAI PARAREL** maka **SIMPANGAN** masing-masing pegas adalah **SAMA**, tetapi **GAYA** yang dialaminya **BERBEDA**.



Rumus yang berlaku pada susunan paralel pegas adalah:

$$\begin{aligned} k_p &= k_1 + k_2 = \dots \\ F &= F_1 + F_2 = \dots \\ \Delta x &= \Delta x_1 = \Delta x_2 = \dots \end{aligned}$$

**Keterangan:**

$k_s$  : tetapan pegas total seri (N/m)

$k_p$  : tetapan pegas total paralel (N/m)

F : gaya pegas (N)

$\Delta x$  : simpangan pegas (m)

#### b. Bandul

Periode dan Frekuensi

Periode bandul tergantung pada panjang tali dan percepatan gravitasi dan tidak bergantung pada massa bandul.

Rumus periode dan frekuensi bandul adalah:

$$T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{L}{g}}$$

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{L}}$$

**Keterangan:**

T : periode bandul (s)

F : frekuensi bandul (Hz)

L : panjang tali bandul (m)

g : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

### c. Persamaan Gerak Harmonik

#### 1. Persamaan Simpangan

Besarnya **SIMPANGAN TERGANTUNG** pada **AMPLITUDO** dan **SUDUT** simpangannya.

Persamaan simpangan adalah:

$$y = A \cdot \sin \omega t \quad y_{\text{maks}} = A$$

#### 2. Persamaan Kecepatan

Kecepatan benda bergerak harmonik adalah turunan pertama dari persamaan simpangan benda dan dirumuskan dengan:

$$v = A \cdot \omega \cdot \cos \omega t \quad v_{\text{maks}} = A \cdot \omega$$

#### 3. Persamaan Percepatan

Persamaan percepatan adalah turunan pertama dari persamaan kecepatan dan dirumuskan dengan:

$$a = A \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t \quad a_{\text{maks}} = A \cdot \omega^2$$

#### 4. Fase Getaran

Rumus fase getaran adalah:

$$\varphi = \frac{t}{T} = f \cdot t$$

**Keterangan:**

y : simpangan

v : kecepatan getar

a : percepatan

A : amplitudo

t : waktu

$\varphi$  : fase

### d. Persamaan Energi Gerak Harmonik

#### 1. Energi Total Gerak Harmonik

Pada benda yang bergerak harmonik memiliki energi total yang dirumuskan dengan:

$$E_m = \frac{1}{2} k \cdot A^2$$

$$E_m = E_k + E_p$$

#### 2. Energi Kinetik Gerak Harmonik

Energi kinetik benda bergerak harmonik adalah:

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$= \frac{1}{2} k (A^2 - y^2)$$

#### 3. Energi Potensial Gerak Harmonik

Energi potensial benda saat bergerak harmonik dirumuskan dengan:

$$E_p = \frac{1}{2} k \cdot y^2$$

**Keterangan:**

$E_m$  : energi mekanik (energi total) (J)

$E_k$  : energi kinetik (J)

$E_p$  : energi potensial (J)

A : amplitudo (m)

y : simpangan dari titik keseimbangan (m)

k : konstanta pegas (N/m)

## B. Gelombang

Gelombang adalah getaran yang merambat. Panjang gelombang dirumuskan dengan:

$$\lambda = T \cdot v = \frac{v}{f}$$

#### a. Gelombang Berjalan

Gelombang berjalan adalah gelombang yang memiliki **AMPLITUDO TETAP** di setiap titiknya. Contoh: gelombang yang merambat pada tali yang sangat panjang.

### 1. Persamaan Simpangan

Persamaan simpangan pada gelombang berjalan dirumuskan dengan:

$$y = A \cdot \sin 2\pi \left( \pm \frac{t}{T} \pm \frac{x}{\lambda} \right)$$
$$y = A \cdot \sin(\pm \omega t \pm kx)$$

#### Keterangan:

$\lambda$  : panjang gelombang

$k$  : bilangan gelombang (BUKAN konstanta pegas),  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

#### Catatan:

$+\omega t$  artinya simpangan pertama ke atas.

$-\omega t$  artinya simpangan pertama ke bawah.

$+kx$  artinya arah rambat ke sumbu X negatif

$-kx$  artinya arah rambat ke sumbu X positif

### 2. Fase dan Beda Fase Gelombang

Fase dan beda fase untuk gelombang berjalan dirumuskan dengan:

$$\phi = \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$
$$\Delta\phi = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

#### Keterangan:

$\phi$  : fase gelombang

$\Delta\phi$  : beda fase gelombang

$\Delta\xi$  : jarak antara dua titik pada gelombang

### 3. Sudut Fase Gelombang

Rumus sudut fase untuk gelombang berjalan adalah:

$$\theta = 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

#### b. Gelombang Stasioner

Gelombang stasioner atau **GELOMBANG DIAM** adalah gelombang yang **AMPLITUDONYA BERUBAH** di setiap titik.

#### 1. Gelombang Stasioner Ujung Bebas/Ikatan Longgar

Jika sebuah tali diikat pada tiang dengan

ikatan longgar, kemudian digetarkan maka terjadi gelombang diam ujung bebas.

#### • Persamaan simpangan

Persamaan simpangan untuk gelombang stasioner ujung bebas adalah:

$$y = 2A \cdot \cos kx \cdot \sin \omega t$$

$$y = 2A \cdot \cos kx \cdot \sin \omega \left( t - \frac{L}{v} \right)$$

#### Keterangan:

$L$  : panjang tali (m)

$v$  : cepat rambat gelombang (m/s)

$\omega$  : frekuensi sudut (rad/s)

$k$  : bilangan gelombang,  $k = \frac{2\pi}{\lambda}$

#### • Jarak perut dari tiang

**Perut (amplitudo terbesar).** Untuk mencari jarak perut gelombang stasioner ujung bebas dari tiang, gunakan persamaan:

$$x = (2n) \cdot \frac{1}{4} \lambda$$

#### Keterangan:

$x$  : jarak perut

$n$  : 0, 1, 2, 3, ....

$\lambda$  : panjang gelombang

#### • Jarak simpul dari tiang

**Simpul (amplitudo nol).** Untuk mencari jarak simpul gelombang stasioner ujung bebas dari tiang, gunakan persamaan berikut:

$$x = (2n + 1) \frac{1}{4} \lambda$$

#### Keterangan:

$x$  : jarak simpul

$n$  : 0, 1, 2, 3, ....

$\lambda$  : panjang gelombang

#### 2. Gelombang Stasioner Ujung Terikat

Jika sebuah tali diikat pada tiang dengan

ikatan kuat, kemudian digetarkan maka dapat diamati terjadinya gelombang diam ujung terikat.

- **Persamaan simpangan**

Persamaan simpangan untuk gelombang stasioner ujung terikat adalah:

$$y = 2A \cdot \sin kx \cdot \cos \omega \cdot t$$

$$y = 2A \cdot \sin kx \cdot \cos \omega \cdot \left(t - \frac{L}{v}\right)$$

- **Jarak perut dari tiang**

**Perut (amplitudo terbesar).** Untuk mencari jarak perut gelombang stasioner ujung terikat dari tiang, gunakan persamaan berikut:

$$x = (2n + 1) \cdot \frac{1}{4} \lambda$$

**Keterangan:**

x : jarak perut dari tiang

n : 0, 1, 2, 3, ....

$\lambda$  : panjang gelombang

- **Jarak simpul dari tiang**

**Simpul (amplitudo nol).** Untuk mencari jarak simpul gelombang stasioner ujung bebas dari tiang, gunakan persamaan berikut:

$$x = (2n) \cdot \frac{1}{4} \lambda$$

**Keterangan:**

x : jarak simpul dari tiang

n : 0, 1, 2, 3, ....

$\lambda$  : Panjang gelombang

## C. Bunyi

Bunyi termasuk gelombang longitudinal dan gelombang mekanik.

### a. Intensitas Bunyi

Intensitas bunyi yang terdengar pada jarak R dari sumber bunyi dirumuskan dengan:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi R^2}$$

**Keterangan:**

I : intensitas bunyi ( $W/m^2$ )

P : daya bunyi (watt)

A : luas penampang ( $m^2$ )

R : jarak dari sumber bunyi (m)

### b. Energi Gelombang

Energi gelombang tergantung pada variabel frekuensi dan amplitudonya. Energi gelombang dirumuskan dengan:

$$E = 2 \cdot m \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot A_m^2$$

**Keterangan:**

E : energi gelombang (J)

f : frekuensi (Hz)

$A_m$  : amplitudo (m)

m : massa (kg)

### c. Taraf Intensitas Bunyi

Taraf intensitas bunyi adalah tingkat kebisingan sumber bunyi yang didengar oleh pengamat pada jarak tertentu.

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

**Keterangan:**

TI : taraf intensitas bunyi (dB)

I : intensitas bunyi yang akan diukur taraf intensitasnya ( $W/m^2$ )

$I_0$  : intensitas ambang batas pendengaran ( $10^{-12} W/m^2$ )

**Ingat:** 1 bel (B) = 10 desibel (dB)

### d. Efek Doppler

Gejala perubahan frekuensi yang diterima pendengar dibandingkan dengan frekuensi sumbernya akibat gerak relatif pendengar dan sumber. Efek Doppler di rumuskan dengan:

$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} f_s$$

**Catatan:**

1. Kecepatan pengamat ( $v_p$ ) akan bernilai:

- 0, apabila **PENDENGAR DIAM**
- + (positif), apabila **PENDENGAR MENDEKATI SUMBER**
- - (negatif), apabila **PENDENGAR MENJAUHI SUMBER**

2. Kecepatan sumber bunyi ( $v_s$ ) akan bernilai:

- 0, apabila **SUMBER** bunyi **DIAM**
- + (positif), apabila **SUMBER** bunyi **MENJAUHI PENDENGAR**
- – (negatif), apabila **SUMBER** bunyi **MENDEKATI PENDENGAR**

**Keterangan:**

$v$  : kecepatan bunyi di udara (340 m/s)

$v_p$  : kecepatan pendengar (m/s)

$v_s$  : kecepatan sumber bunyi (m/s)

$f_p$  : frekuensi yang didengar oleh pendengar (Hz)

$f_s$  : frekuensi yang dihasilkan sumber bunyi (Hz)

#### e. Pelayangan

Pelayangan adalah peristiwa penguatan atau pelemahan bunyi yang terjadi secara bergantian akibat perpaduan dua gelombang bunyi yang berbeda sedikit.

$$f_{\text{ply}} = |f_1 - f_2|$$

**Keterangan:**

$f_{\text{ply}}$  : frekuensi pelayangan (Hz)

$f_1$  : frekuensi sumber yang lebih tinggi (Hz)

$f_2$  : frekuensi sumber yang lebih rendah (Hz)

#### f. Pipa Organa

##### 1. Pipa Organa Terbuka

Pipa organa terbuka merupakan sebuah pipa yang terbuka di kedua ujungnya.

Hubungan antara  $L_b$  (panjang pipa organa terbuka) dan  $l$  (panjang gelombang) bisa dirumuskan sebagai berikut:

$$L_b = (n+1) \frac{1}{2} \lambda_n = \frac{1}{2} \lambda_0 = \lambda_1 = \frac{3}{2} \lambda_2 = \dots$$

Dengan  $n$  adalah orde yang bernilai:

- 0, jika terjadi nada dasar
- 1, jika terjadi nada atas 1
- 2, jika terjadi nada atas 2, dan seterusnya

Sedangkan, perbandingan frekuensinya adalah perbandingan bilangan asli, yaitu:

$$f_0 : f_1 : f_2 : f_3 : \dots = 1 : 2 : 3 : 4 : \dots$$

**Keterangan:**

$L$  : panjang pipa organa

$l$  : panjang gelombang

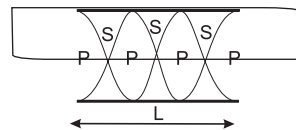
$f_0$  : frekuensi nada dasar

$f_1$  : frekuensi nada atas 1

##### Jumlah Simpul dan Perut

Gelombang yang dihasilkan pada pipa organa terbuka akan menghasilkan simpul dan perut gelombang yang memiliki hubungan sebagai berikut:

$$\sum \text{perut} = \sum \text{simpul} + 1$$



##### 2. Pipa Organa Tertutup

Pipa organa tertutup merupakan pipa yang salah satu ujungnya tertutup.

Hubungan antara  $L_p$  (panjang pipa organa tertutup) dan  $\lambda$  (panjang gelombang) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$L_p = (2n+1) \frac{1}{4} \lambda_n = \frac{1}{4} \lambda_0 = \frac{3}{4} \lambda_1 = \frac{5}{4} \lambda_2 = \dots$$

Dengan  $n$  adalah orde yang bernilai:

- 0, jika terjadi nada dasar
- 1, jika terjadi nada atas 1
- 2, jika terjadi nada atas 2, dan seterusnya

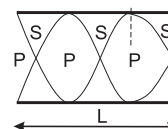
Sedangkan, perbandingan frekuensinya adalah perbandingan bilangan ganjil, yaitu:

$$f_0 : f_1 : f_2 : f_3 : \dots = 1 : 3 : 5 : 7 : \dots$$

##### Jumlah Simpul dan Perut

Gelombang yang dihasilkan pada pipa organa tertutup akan menghasilkan simpul dan perut gelombang yang memiliki hubungan sebagai berikut:

$$\sum \text{perut} = \sum \text{simpul}$$



### g. Dawai

Dawai adalah senar yang dapat dipetik/ digetarkan. Pada dawai hubungan antara panjang gelombang ( $\lambda$ ) dengan panjang dawai ( $L$ ) sama seperti pipa organa terbuka, yaitu:

$$L_D = (n+1) \frac{1}{2} \lambda_n = \frac{1}{2} \lambda_0 = \lambda_1 = \frac{3}{2} \lambda_2 = \dots$$

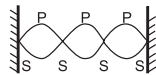
Dengan  $n$  adalah orde yang bernilai:

- 0, jika terjadi nada dasar
- 1, jika terjadi nada atas 1
- 2, jika terjadi nada atas 2, dan seterusnya

#### Jumlah Simpul dan Perut

Gelombang yang dihasilkan pada dawai akan menghasilkan simpul dan perut gelombang yang memiliki hubungan sebagai berikut:

$$\sum \text{simpul} = \sum \text{perut} + 1$$



### h. Cepat Rambat Gelombang

#### 1. Cepat Rambat Gelombang Transversal dalam Dawai

Hukum Melde merupakan hukum yang menghubungkan antara cepat rambat bunyi pada dawai, tegangan dawai, massa, dan panjang dawai.

Dari hukum Melde, dapat diambil kesimpulan bahwa cepat rambat bunyi berbanding lurus dengan akar tegangan dawai dan panjang dawai serta berbanding terbalik dengan akar massa dawai.

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}, \text{ karena } \mu = \frac{m}{L} \text{ maka}$$
$$v = \sqrt{\frac{F \cdot L}{m}}$$

#### Keterangan:

- $v$  : cepat rambat bunyi pada dawai (m/s)  
 $F$  : tegangan dawai/senar/tali (N)  
 $\mu$  : rapat massa tali/dawai (kg/m)

$m$  : massa dawai (kg)

$L$  : panjang dawai (m)

Jangan lupa juga rumus hubungan antara frekuensi ( $f$ ), cepat rambat gelombang ( $v$ ), dan panjang gelombang ( $\lambda$ ), yaitu:

$$f = \frac{v}{\lambda}$$

#### 2. Cepat Rambat Gelombang Bunyi

##### • Cepat rambat bunyi pada gas

Pada gas, cepat rambat bunyi bergantung pada variabel suhu dan massa molekul relatif gas.

Cepat rambat gas berbanding lurus dengan akar suhu dan berbanding terbalik dengan akar massa molekul relatif.

$$v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot R \cdot T}{M_r}}$$

#### Keterangan:

$\gamma$  : konstanta Laplace

$R$  : konstanta gas universal = 8,3 J/mol K

$T$  : suhu (K)

$M_r$  : massa molekul relatif gas

##### • Cepat rambat bunyi pada benda padat

Pada benda padat, cepat rambat bunyi tergantung pada variabel modulus elastisitas dan massa jenis.

Cepat rambat bunyi pada benda padat berbanding lurus dengan akar modulus elastisitas dan berbanding terbalik dengan akar massa jenisnya.

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

#### Keterangan:

$E$  : modulus elastisitas (N/m<sup>2</sup>)

$\rho$  : massa jenis bahan (kg/m<sup>3</sup>)



# Bab 12

## Listrik

### A. Listrik Statis

#### a. Muatan Listrik

Rumus muatan listrik, yaitu:

$$q = N \cdot e$$

**Keterangan:**

$q$  : muatan listrik (coulomb)

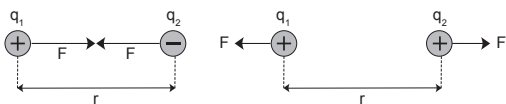
$N$  : jumlah elektron

$e$  : muatan satu elektron ( $1,6 \times 10^{-19}$  J)

#### b. Gaya Elektrostatik

Gaya elektrostatik adalah gaya interaksi antara dua partikel bermuatan listrik.

- Jika dua partikel bermuatan listrik **TIDAK SEJENIS (POSITIF - NEGATIF)** maka terjadi gaya **TARIK-MENARIK**.
- Jika dua partikel bermuatan listrik **SEJENIS (POSITIF - POSITIF atau NEGATIF - NEGATIF)** maka terjadi gaya **TOLAK-MENOLAK**.



Besarnya gaya elektrostatik, yaitu:

$$F = \frac{k \cdot q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

**Keterangan:**

$F$  : gaya elektrostatik (N)

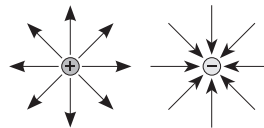
$k$  : konstanta ( $9 \cdot 10^9$  N m<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>)

$r$  : jarak antara dua muatan (m)

#### c. Medan Listrik

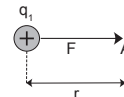
Yaitu, daerah di sekitar muatan listrik yang masih memiliki pengaruh gaya elektrostatik.

Muatan **POSITIF** memiliki **ARAH MEDAN LISTRIK KE LUAR**, sedangkan muatan **NEGATIF** memiliki **ARAH MEDAN LISTRIK KE DALAM**.



Besarnya medan listrik (disebut juga kuat medan listrik) di titik tertentu dirumuskan dengan:

$$E_A = \frac{k \cdot q}{r^2}$$



**Keterangan:**

$E_A$  : kuat medan listrik di titik A (tesla)

$r$  : jarak titik A terhadap muatan (m)

#### d. Potensial Listrik

Potensial listrik adalah besarnya energi potensial yang dimiliki muatan satu coulomb. Pada suatu titik yang berjarak  $r$  dari muatan  $q$  dinyatakan oleh persamaan:

$$V = \frac{k \cdot q}{r}$$

Jika terdapat beberapa muatan titik persamaannya menjadi:

$$V = k \sum \frac{q}{r}$$

### e. Energi Potensial Listrik

Energi potensial listrik adalah usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan listrik dari jarak jauh tak hingga ke suatu titik.

Energi potensial listrik yang dimiliki oleh dua buah muatan  $q_1$  dan  $q_2$  yang terpaut jarak sebesar  $r$  dirumuskan dengan:

$$E_p = \frac{k \cdot q_1 \cdot q_2}{r}$$

Sedangkan, hubungan antara potensial listrik dan energi potensial listrik adalah:

$$E_p = q \cdot V$$

### f. Usaha Listrik

Apabila sebuah muatan  $q$  akan dipindahkan dari suatu titik berpotensi  $V_1$  ke titik berpotensi  $V_2$  maka diperlukan usaha sebesar selisih energi potensial pada kedua titik dirumuskan:

$$W = \Delta E_p = q\Delta V = q(V_2 - V_1)$$

## B. Kapasitor Keping Sejajar

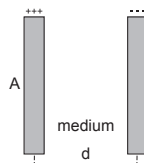
Kapasitor adalah komponen listrik yang fungsinya untuk menyimpan muatan listrik.

Kapasitor terdiri atas dua penghantar dan disekat oleh bahan dielektrik (bahan yang tidak dapat menghantar muatan listrik dengan baik/isolator).

### a. Kapasitas Kapasitor Keping Sejajar

Jika sebuah kapasitor, medium antara dua buah kepingnya adalah vakum/udara maka kapasitas kapasitor adalah:

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d}$$



Jika terdapat medium berupa bahan dielektrik maka kapasitas kapasitor menjadi:

$$C = K \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{A}{d}$$

### Keterangan:

$C$  : kapasitas kapasitor (farad)

$A$  : luas keping ( $m^2$ )

$d$  : jarak antara dua keping (m)

$C_0$  : kapasitas kapasitor di ruang vakum/udara (farad)

$\epsilon_0$  : permitivitas listrik vakum ( $8,85 \times 10^{-12}$ )

$K$  : konstanta dielektrik

Sedangkan, muatan listrik yang disimpan di dalam kapasitor adalah:

$$Q = C \cdot V$$

Energi yang tersimpan di dalam kapasitor, yaitu:

$$W = \frac{1}{2} C \cdot V^2 = \frac{1}{2} Q \cdot V = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

### Keterangan:

$Q$  : muatan yang tersimpan (C)

$V$  : potensial listrik (V)

$W$  : energi yang tersimpan (J)

### b. Rangkaian Kapasitor

#### 1. Rangkaian Kapasitor Seri

Jika **KAPASITOR** dirangkai secara **SERI** maka **MUATAN** yang tersimpan pada masing-masing kapasitor **BERNILAI SAMA**.



$$\begin{aligned} \frac{1}{C_s} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \\ Q_s &= Q_1 = Q_2 = Q_3 \\ V_{AB} &= V_1 + V_2 + V_3 \end{aligned}$$

### Keterangan:

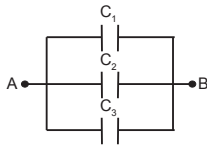
$C_s$  : kapasitas kapasitor seri (F)

$Q_s$  : muatan total seri (C)

$V_{AB}$  : beda potensial AB (V)

#### 2. Rangkaian Kapasitor Paralel

Jika **KAPASITOR** dirangkai secara **PARALEL** maka **TEGANGAN LISTRIK** masing-masing kapasitor **BERNILAI SAMA**.



**Keterangan:**

$C_p$  : kapasitas kapasitor paralel (F)

$Q_p$  : muatan total paralel (C)

$V_{AB}$  : beda potensial AB (V)

## C. Listrik Dinamis Arus DC (Searah)

Listrik dinamis arus searah dibangkitkan dari suatu sumber arus searah, contohnya baterai dan aki.

### a. Arus Listrik dan Kuat Arus Listrik

#### 1. Arus Listrik

Arus listrik adalah gerakan atau aliran muatan listrik. Gerakan atau aliran muatan terjadi pada bahan yang disebut konduktor (bahan penghantar arus listrik, contoh: besi, tembaga, dan lain-lain).

Arah arus listrik sesuai dengan arah aliran muatan positif, atau berlawanan arah dengan arah aliran muatan negatif.

#### 2. Kuat Arus Listrik

Kuat arus listrik adalah besar muatan yang mengalir pada suatu konduktor tiap satuan waktu.

Rumus kuat arus listrik adalah:

$$I = \frac{q}{t}$$

### b. Hambatan pada Konduktor Listrik

Pada konduktor listrik maka akan memiliki nilai hambatan sebesar:

$$R = \rho \frac{L}{A}$$

$$R' = R_0 (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

**Keterangan:**

$R$  : hambatan konduktor (ohm = W)

$\rho$  : hambatan jenis ( $\Omega \text{ m}$ )

$L$  : panjang konduktor (m)

$A$  : luas penampang konduktor ( $\text{m}^2$ )

$R'$  : hambatan setelah terjadi perubahan suhu (W)

$R_0$  : hambatan awal (W)

$\alpha$  : koefisien hambatan ( $/^{\circ}\text{C}$ )

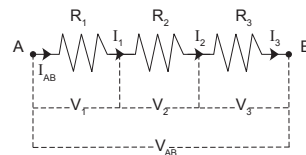
$\Delta T$  : perubahan suhu ( $^{\circ}\text{C}$ )

### c. Rangkaian pada Resistor

**RESISTOR** adalah salah satu elemen elektronika yang digunakan sebagai **HAMBATAN LISTRIK**.

#### 1. Rangkaian Resistor Seri

Pada **RESISTOR** yang dirangkai **SERI** maka **KUAT ARUS** yang melewati masing-masing resistor adalah **SAMA**.



$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

$$I_{AB} = I_1 = I_2 = I_3$$

$$V_{AB} = V_1 + V_2 + V_3$$

**Keterangan:**

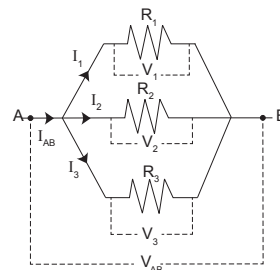
$R_s$  : hambatan seri (W)

$I_{AB}$  : kuat arus total (A)

$V_{AB}$  : beda potensial listrik total (V)

#### 2. Rangkaian Resistor Paralel

Pada **RESISTOR** yang dirangkai **PARALEL** maka **TEGANGAN LISTRIK** yang dimiliki oleh masing-masing resistor adalah **SAMA**.



$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

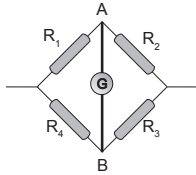
$$V_{AB} = V_1 = V_2 = V_3$$

$$I_{AB} = I_1 + I_2 + I_3$$

### 3. Rangkaian Jembatan Wheatstone

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4$$

$$V_{AB} = 0$$



Jika perkalian antara hambatan yang berhadapan sama maka beda potensial AB adalah nol.

#### d. Hukum Ohm

Pada hukum ohm dapat diketahui bahwa tegangan listrik (V) berbanding lurus dengan kuat arus (I) dan hambatan (R). Hukum ohm dirumuskan dengan:

$$V = I \cdot R \text{ atau } I = \frac{V}{R} \text{ atau } R = \frac{V}{I}$$

#### e. Hukum Kirchoff

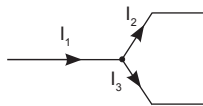
##### 1. Hukum I Kirchoff

Hukum I Kirchoff berbunyi:

**"JUMLAH kuat ARUS listrik yang MASUK ke suatu titik cabang SAMA DENGAN jumlah kuat arus yang KELUAR dari titik cabang."**

$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}}$$

Contoh:



Maka dari hukum I Kirchoff berlaku:

$$I_1 = I_2 + I_3$$

##### 2. Hukum II Kirchoff

Hukum II Kirchoff berbunyi:

**"Di dalam sebuah rangkaian tertutup, JUMLAH aljabar GAYA GERAK LISTRIK ( $\sum \varepsilon$ ) DENGAN PENURUNAN TEGANGAN ( $\sum I \cdot R$ ) SAMA DENGAN NOL."**

$$\sum \varepsilon + \sum I \cdot R = 0$$

Sedangkan, beda potensial antara titik A dan B disebut tegangan jepit, yaitu:

$$V_{\text{jepit}} = I \cdot R_{\text{total}} = e - I \cdot r$$

**Keterangan:**

$\sum \varepsilon$  : GGL total loop (V)

r : hambatan dalam (W)

#### f. Energi dan Daya Listrik

Daya listrik dirumuskan dengan:

$$P = V \cdot I = \frac{V^2}{R} = I^2 \cdot R$$

Sedangkan, energi listrik adalah daya listrik dikali waktu.

$$W = P \cdot t$$

**Keterangan:**

P : daya listrik (watt)

W : energi listrik (joule)

t : waktu (sekon)

### D. Listrik Arus AC (Bolak-Balik)

Listrik arus AC (bolak-balik) dihasilkan oleh sumber tegangan arus bolak-balik, contohnya adalah generator AC.

#### a. Persamaan Tegangan Listrik Arus Bolak-Balik

Pada arus AC, berlaku persamaan tegangan sebagai berikut:

$$V_{(t)} = V_m \cdot \sin \omega t$$

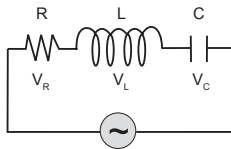
$$V_{\text{ef}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

#### b. Persamaan Kuat Arus Listrik AC

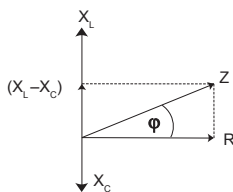
Pada arus AC, berlaku persamaan kuat arus sebagai berikut:

$$I_{(t)} = I_m \cdot \sin \omega t$$

$$I_{\text{ef}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

**Keterangan:** $V_{(t)}$  : persamaan tegangan menurut waktu (V) $I_{(t)}$  : persamaan arus menurut waktu (A) $I_m$  : arus maksimum (A) $V_m$  : tegangan maksimum (V) $\omega$  : frekuensi sudut (rad/s) $I_{ef}$  : arus efektif (A) $V_{ef}$  : tegangan efektif (V)**c. Rangkaian Seri R-L-C**

$$\begin{aligned} X_L &= \omega \cdot L & V_R &= I_{ef} \cdot R \\ X_C &= \frac{1}{\omega \cdot C} & V_L &= I_{ef} \cdot X_L \\ \omega &= 2\pi \cdot f & V_C &= I_{ef} \cdot X_C \end{aligned}$$

**Keterangan:** $X_L$  : reaktansi induktif (W) $X_C$  : reaktansi kapasitif (W) $f$  : frekuensi (Hz) $L$  : induktansi (H) $C$  : kapasitas kapasitor (F) $V_R$  : tegangan pada resistor (V) $V_L$  : tegangan pada induktor (V) $V_C$  : tegangan pada kapasitor (V)**1. Diagram Fasor dan Impedansi**

$$\cos \phi = \frac{R}{Z}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

$$V_{ef} = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

**Keterangan:** $Z$  : impedansi (W)**2. Daya Efektif**

$$P = V_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \phi$$

$$P = I_{ef}^2 \cdot R$$

**3. Frekuensi Resonansi**

Ketika besarnya **REAKTANSI INDUKTIF ( $X_L$ ) SAMA DENGAN REAKTANSI KAPASITIF ( $X_C$ )** maka terjadi **RESONANSI**, dimana frekuensi resonansinya dirumuskan dengan:

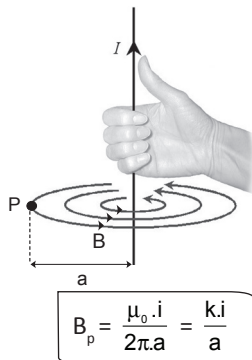
$$f = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

**Keterangan:** $L$  : induktansi (H) $C$  : kapasitas kapasitor (F)

## A. Medan Magnet Listrik

### a. Medan Magnet pada Kawat Lurus Berarus Listrik

Besarnya medan magnet di titik P akibat kawat lurus berarus listrik seperti pada gambar berikut adalah:



Pada gambar di atas merupakan **KAIDAH TANGAN KANAN**:

- **"IBU JARI** menunjukkan **ARAH ARUS** listrik.
- **ARAH KEEMPAT JARI** yang **MENGGENGAM** menyatakan arah garis-garis **MEDAN MAGNETIK**."

**Keterangan:**

$B_p$  : kuat medan magnet di titik P (Tesla)

$\mu_0$  : permeabilitas ruang hampa  
( $4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb A}^{-1} \text{ m}^{-1}$ )

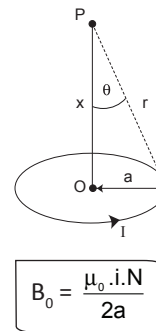
$i$  : kuat arus pada kawat (A)

$a$  : jarak kawat terhadap titik acuan P (m)

$k$  : tetapan (Wb/Am)

### b. Medan Magnet pada Kawat Melingkar Berarus Listrik

Besarnya medan magnet di titik O (pusat lingkaran) akibat kawat melingkar berarus listrik seperti pada gambar di bawah adalah:



Sedangkan, besarnya medan magnet di titik P adalah:

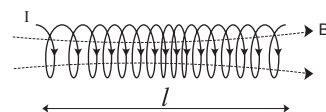
$$B_p = \frac{\mu_0 \cdot i \cdot a \cdot \sin \theta \cdot N}{2 \cdot r^2}$$

**Keterangan:**

$N$  : Jumlah lilitan kawat

$r$  :  $\sqrt{a^2 + x^2}$

### c. Medan Magnet pada Solenoida



Besarnya medan magnet **DI TENGAH-TENGAH SOLENOIDA** seperti pada gambar di atas adalah:

$$B_o = \frac{\mu_o \cdot i \cdot n}{L}$$

Sedangkan besarnya medan magnet **DI UJUNG SOLENOIDA** adalah:

$$B_o = \frac{\mu_o \cdot i \cdot N}{2 \cdot L}$$

**Keterangan:**

N : jumlah lilitan solenoida

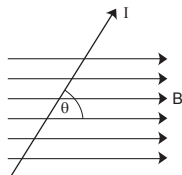
L : panjang solenoida (m)

## B. Gaya Lorentz

**Gaya Lorentz** atau **Gaya Magnet** adalah gaya yang terjadi akibat interaksi antara medan magnet dan arus listrik atau muatan yang bergerak. Gaya Lorentz ini dapat terjadi pada:

1. Kawat lurus berarus listrik di dalam medan magnetik.
2. Dua kawat sejajar berarus listrik.
3. Muatan yang bergerak di dalam medan magnet.

### a. Gaya Lorentz pada Kawat Lurus Berarus Listrik



Apabila kawat berarus listrik berada di dalam medan magnet maka besarnya gaya Lorentz yang dialami kawat adalah:

$$F = B \cdot i \cdot L \sin \theta$$

**Keterangan:**

F : gaya Lorentz (N)

L : panjang kawat (m)

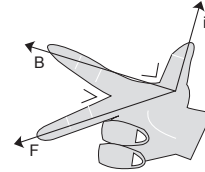
$\theta$  : sudut antara B dan i

### b. Aturan Kaidah Tangan Kanan I-B-F

Jika kita mengatur tangan kanan seperti pada gambar di bawah, yaitu:

- **IBU JARI** menunjukkan **ARAH ARUS (i)**.

- **JARI TELUNJUK** menunjukkan **ARAH MEDAN MAGNET (B)**.
- **JARI TENGAH** menunjukkan **ARAH GAYA LORENTZ (F)**
- **i-B-F SALING TEGAK LURUS.**



**Keterangan:**

i : arah kuat arus

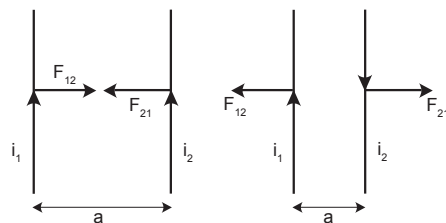
B : arah medan magnet

F : arah gaya Lorentz

### c. Gaya Interaksi Antara Dua Kawat Sejajar Berarus Listrik

Jika kedua kawat berarus listrik **ARAH ARUSNYA SEARAH** maka akan muncul **GAYA** interaksi **TARIK-MENARIK**.

Sebaliknya, jika **ARAH ARUSNYA BERLAWANAN ARAH** maka akan muncul **GAYA** interaksi **TOLAK-MENOLAK**.



Besarnya gaya interaksi tersebut adalah:

$$F = \frac{\mu_o \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{2\pi \cdot a} = \frac{k \cdot i_1 \cdot i_2 \cdot L}{a}$$

**Keterangan:**

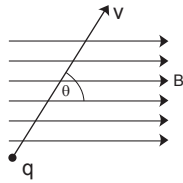
F : gaya interaksi antara dua kawat berarus listrik (N)

$$k = \frac{\mu_o}{2\pi} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ Wb/A} \cdot \text{m}$$

a : jarak antara dua kawat (m)

L : panjang kawat (m)

d. **Gaya Lorentz pada Muatan yang Bergerak di dalam Medan Magnet**



Jika muatan  $q$  bergerak dengan kecepatan  $v$  membentuk sudut  $\theta$  terhadap medan magnet  $B$  maka akan muncul gaya Lorentz dengan persamaan:

$$F = B \cdot q \cdot v \cdot \sin \theta$$

**Keterangan:**

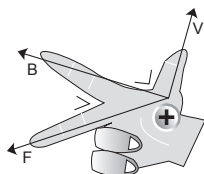
- $F$  : gaya Lorentz (N)
- $q$  : muatan listrik (C)
- $v$  : kecepatan gerak muatan  $q$  (m/s)
- $\theta$  : sudut yang dibentuk antara  $v$  dan  $B$

e. **Aturan Tangan v-B-F**

Jika kita mengatur **TANGAN KANAN** seperti pada gambar di bawah, yaitu:

- **IBU JARI** menunjukkan **ARAH KECEPATAN ( $v$ )**.
- **JARI TELUNJUK** menunjukkan **ARAH MEDAN MAGNET ( $B$ )**.
- **JARI TENGAH** menunjukkan **ARAH GAYA LORENTZ ( $F$ )**
- **v-B-F SALING TEGAK LURUS.**

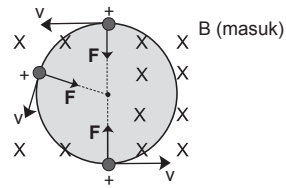
Aturan **TANGAN KANAN** ini hanya untuk **PARTIKEL BERMUATAN POSITIF**, dan untuk **PARTIKEL BERMUATAN NEGATIF** maka menggunakan aturan **TANGAN KIRI**.



**Keterangan:**

- $v$  : arah kecepatan muatan positif
- $B$  : arah medan magnet
- $F$  : arah gaya Lorentz

f. **Lintasan Partikel Bermuatan di dalam Medan Magnet**



Jika muatan positif  $q$  bergerak di dalam medan magnet  $B$  maka muatan tersebut akan membuat lintasan berupa lingkaran dengan jari-jari  $R$ .

Akibat lintasan melingkar ini maka gaya Lorentz yang terjadi akan berperan sebagai gaya sentripetal, jika dibuat persamaan akan menjadi:

$$F = F_{sp}$$

$$q \cdot v \cdot B = \frac{m \cdot v^2}{R} = m \cdot \omega^2 \cdot R$$

Maka, besarnya jari-jari  $R$  dapat dirumuskan dengan:

$$R = \frac{m \cdot v}{B \cdot q}$$

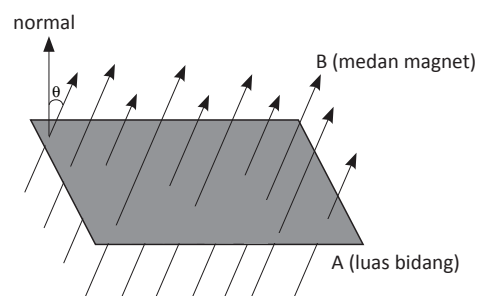
**Keterangan:**

- $F_{sp}$  : gaya sentripetal (N)
- $m$  : massa partikel (kg)
- $R$  : jari-jari lintasan (m)
- $\omega$  : kecepatan sudut partikel (rad/s)

## C. Induksi Elektromagnetik

a. **Fluks Magnetik**

Fluks magnetik adalah banyaknya garis-garis gaya magnet (medan magnetik) yang dilingkupi luas bidang tertentu.





$$\phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

**Keterangan:**

$\phi$  : fluks magnetik (Weber)

$B$  : kuat medan magnet (Tesla)

$A$  : luasan yang ditembus garis gaya ( $m^2$ )

$\theta$  : sudut antara  $B$  dengan garis normal

#### b. Gaya Gerak Listrik (GGL) Induksi

GGL induksi terjadi karena perubahan jumlah garis-garis gaya magnet yang menembus suatu kawat loop. GGL induksi dirumuskan:

$$\varepsilon = \frac{-N \cdot d\phi}{dt} = \frac{-N \cdot \Delta\phi}{\Delta t}$$

**Keterangan:**

$\varepsilon$  : GGL induksi (V)

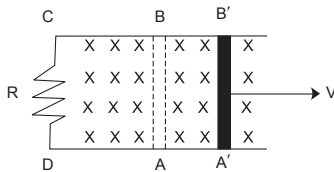
$N$  : jumlah lilitan kumparan

$\frac{d\phi}{dt}$  : turunan  $\phi$  terhadap waktu  $t$

$\Delta\phi$  : perubahan fluks magnetik (Wb)

$\Delta t$  : selisih waktu (sekon)

#### c. GGL Induksi karena Perubahan Luasan



Jika sebuah loop kawat ABCD ditembus oleh medan magnet  $B$  secara tegak lurus dan salah satu sisinya digeser sehingga terjadi perubahan luasan loop kawat yang ditembus maka akan terjadi GGL induksi yang dirumuskan:

$$\varepsilon = -N \cdot B \frac{\Delta A}{\Delta t} \quad \varepsilon = B \cdot \ell \cdot v$$

Sehingga terjadi arus listrik pada loop ABCD karena terdapat hambatan  $R$  yang dirumuskan:

$$I = \frac{\varepsilon}{R}$$

**Keterangan:**

$\Delta A$  : perubahan luasan ( $m^2$ )

$\ell$  : panjang kawat AB (m)

$v$  : kecepatan gerak kawat (m/s)

$R$  : hambatan (ohm)

$I$  : kuat arus pada loop (A)

#### d. GGL Induksi karena Perubahan Sudut Antara Medan Magnet dan Garis Normal

Pada generator, GGL induksi yang dihasilkan pada outpunya dirumuskan dengan:

$$\varepsilon = N \cdot B \cdot A \cdot \omega \cdot \sin\theta$$

$$\varepsilon_{\text{maks}} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega$$

GGL induksi diri dirumuskan dengan:

$$\varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

Sedangkan, koefisien induksi diri dirumuskan dengan:

$$L = \frac{N \cdot \phi}{I}$$

Besarnya energi yang tersimpan di dalam induktor/kumparan tersebut adalah:

$$W = \frac{1}{2} L \cdot I^2$$

**Keterangan:**

$L$  : koefisien induksi diri (H)

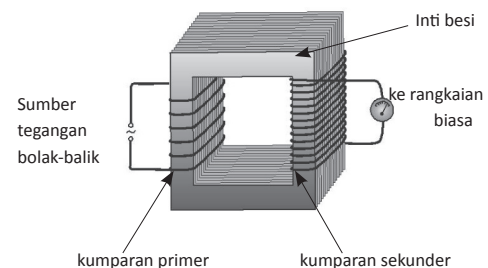
$\Delta I$  : perubahan kuat arus dalam induktor (A)

$\Delta t$  : perubahan waktu (sekon)

$W$  : energi yang tersimpan (joule)

#### e. Transformator (Trafo)

- Transformator adalah sebuah alat yang terdiri atas susunan lempeng-lempeng besi yang dililit oleh dua kumparan, yaitu kumparan primer (*input*) dan kumparan sekunder (*output*), dan inti besi lunak.



- Transformator harus menggunakan sumber arus listrik AC (arus bolak-balik) agar dapat terjadi perubahan garis-garis gaya magnet di sekitarnya sehingga menghasilkan arus listrik induksi.
- Fungsi utama transformator adalah **MENAIKKAN** atau **MENURUNKAN** tegangan listrik.
- Terdapat dua jenis transformator (trafo), yaitu:

**1. Transformator step up**, yaitu trafo yang dapat **MENAIKKAN TEGANGAN** listrik.

Trafo step-up memiliki sifat-sifat sebagai berikut:

- $V_s > V_p$  g artinya, tegangan sekunder lebih besar daripada tegangan primernya.
- $N_s > N_p$  g artinya, jumlah lilitan sekunder lebih banyak daripada jumlah lilitan primernya.
- $I_s < I_p$  g artinya, arus primer lebih besar daripada arus sekundernya.

**2. Transformator step down**, yaitu jenis trafo yang dapat digunakan untuk **MENURUNKAN TEGANGAN** listrik.

Trafo step-down memiliki sifat-sifat berikut, yaitu:

- $V_s < V_p$  g artinya, tegangan primer lebih besar daripada tegangan sekundernya.
- $N_s < N_p$  g artinya, jumlah lilitan primer lebih besar daripada lilitan sekundernya.
- $I_s > I_p$  g artinya, arus sekunder lebih besar daripada arus sekundernya.

- Persamaan trafo dirumuskan sebagai berikut, yaitu:

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} \text{ dan } \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p}$$

**Keterangan:**

$V_p$  = tegangan primer (volt)

$V_s$  = tegangan sekunder (volt)

$N_p$  = banyaknya lilitan primer

$N_s$  = banyaknya lilitan sekunder

$I_p$  = kuat arus primer (ampere)

$I_s$  = kuat arus sekunder (ampere)

Efisiensi Transformator

- Efisiensi trafo menunjukkan kemampuan trafo untuk menghasilkan daya keluar yang sama dengan daya masuk. Dirumuskan, sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100\% \text{ dan } P = V \cdot I$$

**Keterangan:**

$P_s$  = daya sekunder (daya *output*) (watt)

$P_p$  = daya primer (daya *input*) (watt)

$\eta$  = efisiensi trafo

$V$  = tegangan trafo (volt)

$i$  = kuat arus pada trafo (ampere)

- Beberapa cara yang dapat dilakukan untuk mengurangi panas pada trafo sehingga membuat efisiensinya mendekati 100%, yaitu:

1. Mengalirkan udara dingin pada trafo.
2. Melapisi trafo dengan bahan pendingin.
3. Inti besi dibuat berbentuk lempengan.

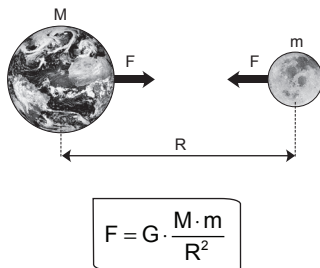
# Bab 14

## Gravitasi

### A. Gaya Gravitasi

Gaya gravitasi adalah gaya tarik-menarik antara dua buah benda yang bermassa dan terletak pada jarak tertentu.

**Hukum gravitasi umum Newton** dirumuskan dengan:



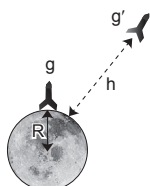
**Keterangan:**

- F : gaya gravitasi (N)
- G : konstanta gravitasi ( $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ )
- M : massa benda 1 (kg)
- m : massa benda 2 (kg)
- R : jarak antara pusat massa 1 dan 2 (m)

### B. Medan Gravitasi

Medan gravitasi adalah daerah di sekitar benda bermassa yang masih dipengaruhi oleh gaya gravitasi.

Perhatikan gambar berikut!



$$g = G \cdot \frac{M}{R^2} \quad g' = G \cdot \frac{M}{(R+h)^2}$$

**Keterangan:**

- g : medan gravitasi di permukaan planet
- g' : medan gravitasi pada h dari permukaan
- M : massa planet (kg)
- R : jari-jari planet (m)
- h : ketinggian benda dari permukaan planet (m)

### C. Kecepatan Lepas Landas Roket

Roket yang lepas landas dari permukaan bumi dapat keluar dari pengaruh gravitasi bumi jika memiliki kecepatan minimum sebesar:

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot G \cdot M}{R}} = \sqrt{2 \cdot g \cdot R}$$

**Keterangan:**

- v : kecepatan satelit minimum untuk lepas dari pengaruh gravitasi bumi (m/s)
- M : massa bumi ( $6 \cdot 10^{24} \text{ kg}$ )
- g : medan gravitasi di permukaan planet
- R : jari-jari bumi (6.400 km)
- G : konstanta gravitasi ( $6,67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$ )

### D. Energi Potensial Gravitasi Mutlak

Energi potensial dari suatu benda bermassa m yang berjarak r dari pusat planet yang bermassa M dirumuskan dengan:

$$E_p = -G \cdot \frac{M \cdot m}{r}$$

Tanda negatif artinya untuk memindahkan benda bermassa  $m$  dari pusat massa planet ke titik yang berjarak  $r$  diperlukan usaha atau energi.

## E. Hukum-hukum Kepler

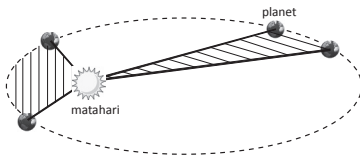
### a. Hukum I Kepler

*"SEMUA PLANET BERGERAK pada lintasan elips MENGITARI MATAHARI dengan matahari berada di salah satu fokus elips."*

### b. Hukum II Kepler

*"SUATU GARIS KHAYAL yang menghubungkan MATAHARI dengan PLANET menyapu LUAS JURING YANG SAMA dalam SELANG WAKTU YANG SAMA."*

Perhatikan ilustrasi dari hukum II Kepler berikut!



Luas kedua juring yang diarsir adalah sama. Berdasarkan hukum ini maka dapat diketahui bahwa pada saat berevolusi, planet akan bergerak lebih cepat ketika dekat dengan matahari, sebaliknya gerakan planet semakin lambat ketika jauh.

### c. Hukum III Kepler

*"Perbandingan kuadrat periode terhadap pangkat tiga dari jari-jari rata-rata orbit planet adalah sama untuk semua planet"*

$$\left(\frac{T_1}{T_2}\right)^2 = \left(\frac{R_1}{R_2}\right)^3$$

**Keterangan:**

$T_1$  &  $T_2$ : periode revolusi planet 1 dan 2

$R_1$  &  $R_2$ : jarak planet 1 dan 2 dengan matahari

Hukum ini menjelaskan bahwa **SEMAKIN DEKAT PLANET DARI MATAHARI** maka **PERIODE REVOLUSINYA SEMAKIN CEPAT**.

Contohnya adalah periode revolusi merkurius lebih cepat daripada bumi dan revolusi bumi lebih cepat daripada yupiter.

# Bab 15

## Fisika Modern

### A. Gelombang Elektromagnetik

#### a. Sifat-sifat Gelombang Elektromagnetik

1. Merupakan **PERPADUAN** antara **MEDAN LISTRIK** dan **MEDAN MAGNET** yang arah perambatannya **SALING TEGAK LURUS**.
2. Merupakan gelombang transversal.
3. **TIDAK PERLU MEDIUM UNTUK MERAMBAT.**
4. Dapat mengalami interferensi, difraksi, polarisasi, pemantulan, dan pembiasan.
5. **TIDAK DIBELOKKAN** oleh **MEDAN LISTRIK** maupun **MEDAN MAGNET**.
6. Kecepatannya di ruang hampa sama dengan kecepatan cahaya  $c = 3 \cdot 10^8$  m/s.

#### b. Urutan Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Berdasarkan dari **ENERGI PALING TINGGI** ke **RENDAH** gelombang elektromagnetik memiliki urutan sebagai berikut:

1. Sinar Gamma
2. Sinar X
3. Sinar ultraviolet/ultraungu
4. Sinar tampak (cahaya)
5. Inframerah
6. Gelombang mikro (radar)
7. Gelombang televisi
8. Gelombang radio

#### c. Rumus Gelombang Elektromagnetik

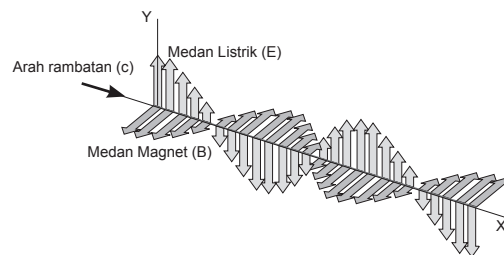
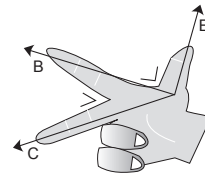
$$1. E = B \cdot c$$

$$2. c = \lambda \cdot f$$

$$3. \bar{S} = \frac{P}{A} = \frac{c \cdot B_m^2}{2 \cdot \mu_0} = \frac{E_m^2}{2 \cdot c \cdot \mu_0}$$

#### d. Aturan Tangan E-B-c

Untuk menentukan arah medan listrik (E), medan magnet (B), dan arah rambatan gelombang (c) maka kita gunakan aturan tangan kanan E-B-c seperti di bawah ini:



#### Keterangan:

$\bar{S}$  : laju energi tiap satuan luas (watt/m<sup>2</sup>)

P : daya radiasi (watt)

A : luas permukaan (m<sup>2</sup>)

$\mu_0$  : permeabilitas magnetik udara vakum  
( $4\pi \cdot 10^{-7}$  Wb/A.m)

E : kuat medan listrik (N/C)

$E_m$  : amplitudo medan listrik (N/C)

B : kuat medan magnet (Tesla)

$B_m$  : amplitudo medan magnet (Tesla)  
 $c$  : kecepatan cahaya ( $3 \cdot 10^8$  m/s)  
 $f$  : frekuensi (Hz)  
 $\lambda$  : panjang gelombang (m)

#### e. Pencampuran Warna Cahaya

Warna cahaya dapat kita bagi menjadi tiga, yaitu **WARNA PRIMER**, **SEKUNDER**, dan **KOMPLEMENTER**.

##### 1. Warna primer (dasar)

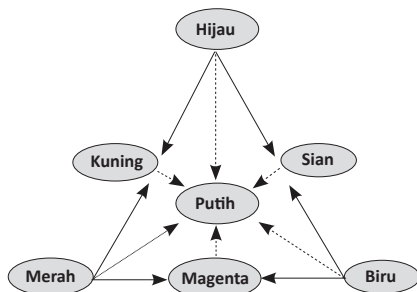
- Hijau
- Biru
- Merah

##### 2. Warna sekunder (pencampuran dua warna primer)

- Hijau + Biru = Sian
- Biru + Merah = Magenta
- Merah + Hijau = Kuning

##### 3. Komplementer (pencampuran tiga warna primer)

- Sian (hijau + biru) + Merah = Putih
- Magenta (biru + merah) + Hijau = Putih
- Kuning (merah + hijau) + Biru = Putih



## B. Radiasi Benda Hitam

#### a. Daya Radiasi Kalor

Daya radiasi yang dipancarkan benda bersuhu  $T$  adalah:

$$P = \frac{Q}{t} = e \cdot A \cdot \sigma \cdot T^4$$

**Keterangan:**

$P$  : daya radiasi kalor (W)

$Q$  : energi kalor radiasi (J)

$t$  : waktu (s)

$e$  : emisivitas radiasi ( $e = 1$  untuk benda hitam sempurna) **emisivitas** adalah kemampuan benda untuk memancarkan energi (gelombang elektromagnetik)

$A$  : luas permukaan benda. ( $m^2$ )

$\sigma$  : konstanta Stefan–Boltzman ( $5,67 \cdot 10^{-8}$  W/ $m^2 \cdot K^4$ )

$T$  : suhu benda (K)

#### Laju Perpindahan Kalor Radiasi

Jika suatu benda bersuhu  $T_1$  memancarkan panas ke ruangan yang bersuhu  $T_2$  maka terjadi perpindahan kalor radiasi yang besarnya adalah:

$$P = \frac{Q}{t} = e \cdot A \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4)$$

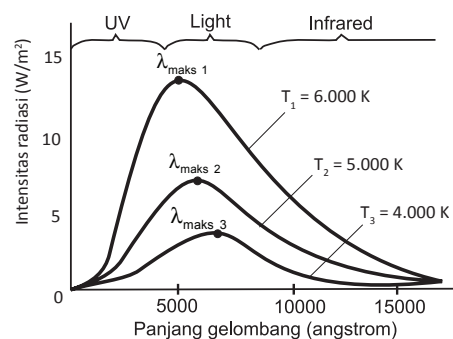
**Keterangan:**

$T_1$  : suhu tinggi (K)

$T_2$  : suhu rendah (K)

#### b. Hukum Pergeseran Wien:

“Jika suhu suatu benda yang memancarkan cahaya semakin tinggi maka panjang gelombang untuk intensitas maksimum  $\lambda_{maks}$  semakin kecil.”



Pergeseran Wien. Spektrum benda hitam untuk berbagai suhu yang berbeda.

Persamaan Wien dirumuskan dengan:

$$\lambda_{maks} \cdot T = C = 2,898 \times 10^{-3} \text{ mK}$$

**Keterangan:**

- $\lambda_{\text{maks}}$  : panjang gelombang pada intensitas maksimum (m)  
 T : suhu (Kelvin)  
 C : konstanta Wien

**C. Dualisme Cahaya**

Dualisme cahaya adalah cahaya memiliki dua sifat, yaitu sebagai **GELOMBANG** dan **PARTIKEL** (**DUALISME GELOMBANG PARTIKEL**).

**a. Teori Kuantum Planck**

Max Planck mengajukan gagasan tentang energi gelombang elektromagnetik (cahaya) yang terpancar bersifat diskrit dalam bentuk **PAKET-PAKET ENERGI** yang disebut sebagai **FOTON**. Energi 1 buah foton adalah  $hf$ .

Energi Foton

Menurut Planck, energi yang dimiliki oleh sebanyak N buah foton dapat dirumuskan dengan:

$$E = N \cdot h \cdot f = \frac{N \cdot h \cdot c}{\lambda}$$

**Keterangan:**

- E : energi foton (J)  
 N : jumlah foton  
 h : konstanta Planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  J.s)  
 f : frekuensi foton (Hz)  
 c : kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)  
 $\lambda$  : panjang gelombang foton (m)

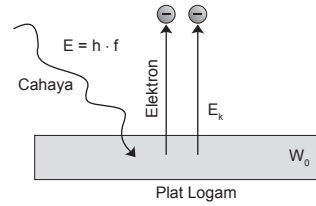
**b. Cahaya sebagai Partikel**

Beberapa penjelasan mengenai sifat partikel pada cahaya adalah seperti di bawah ini:

**1. Efek Fotolistrik**

Pada saat berumur 28 tahun, Einstein mengemukakan sebuah ide tentang efek fotolistrik.

**Efek fotolistrik** adalah peristiwa terlepasnya elektron-elektron dari permukaan logam ketika logam tersebut disinari dengan cahaya.



Rumus efek fotolistrik secara sederhana dapat dituliskan dengan:

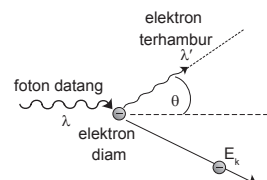
$$\begin{aligned} E &= W_0 + E_k \\ h \cdot f &= W_0 + \frac{1}{2} m_e v^2 \\ W_0 &= h \cdot f_0 = \frac{h \cdot c}{\lambda_0} \end{aligned}$$

**Keterangan:**

- E : energi 1 foton (J)  
 $W_0$  : energi ambang (J)  
 $E_k$  : energi kinetik fotoelektron (J)  
 f : frekuensi cahaya (Hz)  
 $m_e$  : massa elektron ( $9,1 \cdot 10^{-31}$  kg)  
 v : kecepatan fotoelektron (m/s)  
 $f_0$  : frekuensi ambang (Hz)  
 $\lambda_0$  : panjang gelombang ambang (m)

Fotoelektron akan dapat keluar dari dalam atom jika:

- Energi cahaya yang datang lebih besar dibandingkan dengan energi ambang logam ( $E > W_0$ ).
- Frekuensi cahaya yang datang lebih besar dibandingkan dengan frekuensi ambang logam ( $f > f_0$ ).
- Panjang gelombang cahaya yang datang lebih kecil dibandingkan dengan panjang gelombang ambang logam ( $\lambda < \lambda_0$ ).

**2. Efek Compton**

Compton meneliti bahwa ketika foton dengan panjang gelombang  $\lambda$  menumbuk suatu elektron yang diam, ternyata elektron bergerak dengan energi kinetik  $E_k$  dan foton terhambur dengan panjang gelombang  $\lambda'$  dengan membentuk sudut  $\theta$  terhadap arah gerak semula.

Panjang gelombang foton yang terhambur dapat dituliskan dengan persamaan:

$$\lambda' - \lambda = \frac{h}{m_e \cdot c} (1 - \cos \theta)$$

**Keterangan:**

$\lambda'$  : panjang gelombang foton yang terhambur (m)

$\lambda$  : panjang gelombang foton datang (m)

$\theta$  : sudut hamburan

Besaran  $h/m_e c$  biasa disebut sebagai **PANJANG GELOMBANG COMPTON**.

### c. Cahaya sebagai Gelombang

Suatu benda yang memiliki sifat gelombang pasti memiliki nilai panjang gelombang ( $\lambda$ ) tertentu.

#### 1. Panjang gelombang de Broglie

Jika suatu benda bergerak dengan kecepatan  $v$  maka benda tersebut akan memiliki panjang gelombang de Broglie yang dirumuskan dengan:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{m \cdot v}$$

**Keterangan:**

$\lambda$  : panjang gelombang de Broglie (m)

$p$  : momentum (Ns)

$m$  : massa benda (kg)

$v$  : kecepatan benda (m/s)

Dari rumus ini dapat diambil kesimpulan bahwa setiap benda yang memiliki momentum (berarti memiliki massa dan kecepatan) dapat memiliki sifat seperti gelombang.

#### 2. Panjang gelombang de Broglie elektron yang dipercepat dengan beda potensial $V$

Jika pada suatu tabung sinar katoda, sebuah elektron diam dipercepat dengan beda potensial tertentu maka elektron akan bergerak dengan panjang gelombang de Broglie dengan rumus:

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot q_e \cdot V \cdot m_e}}$$

**Keterangan:**

$h$  : konstanta Planck ( $6,63 \times 10^{-34}$  Js)

$\lambda$  : panjang gelombang de Broglie elektron (m)

$q_e$  : muatan elektron ( $1,6 \times 10^{-19}$  C)

$m_e$  : massa elektron ( $9,1 \cdot 10^{-31}$  kg)

$V$  : beda potensial (V)

## D. Teori Relativitas Khusus

### a. Relativitas Kecepatan

Jika terdapat dua buah benda yang bergerak dengan kecepatan tertentu dan seorang pengamat yang dianggap diam maka kecepatan relatif benda terhadap pengamat dapat dirumuskan dengan:

$$v_{2p} = \frac{v_{21} + v_{1p}}{1 + \frac{v_{21} \cdot v_{1p}}{c^2}}$$

**Keterangan:**

$v_{2p}$  : kecepatan benda 2 relatif terhadap pengamat (m/s)

$v_{21}$  : kecepatan benda 2 relatif terhadap benda 1 (m/s)

$v_{1p}$  : kecepatan benda 1 relatif terhadap pengamat (m/s)

$c$  : kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

Perlu diperhatikan bahwa kecepatan adalah besaran vektor maka arah juga menentukan tanda negatif dan positif. Agar mudah diingat, arah kanan adalah positif dan arah kiri adalah negatif.



### b. Relativitas Panjang (Kontraksi Lorentz)

Jika benda bergerak dengan kecepatan  $v$  mendekati kecepatan cahaya maka benda akan tampak lebih pendek jika dilihat oleh pengamat menurut persamaan:

$$L = L_0 \cdot \gamma \quad \text{dengan} \quad \gamma = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

#### Keterangan:

$L$  : panjang benda ketika bergerak  
 $L_0$  : panjang benda ketika diam  
 $v$  : kecepatan benda (m/s)

### c. Relativitas Waktu (Dilatasi Waktu)

Persamaan relativitas waktu adalah:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\gamma}$$

#### Keterangan:

$\Delta t'$  : waktu yang dihitung oleh pengamat yang bergerak terhadap kejadian  
 $\Delta t$  : waktu yang dihitung oleh pengamat yang diam terhadap kejadian

### d. Relativitas Massa

Pada saat benda bergerak dengan kecepatan  $v$ , massa benda akan bertambah besar menurut persamaan:

$$m = \frac{m_0}{\gamma}$$

#### Keterangan:

$m$  : massa benda ketika bergerak  
 $m_0$  : massa ketika benda diam

### e. Relativitas Momentum

Persamaan momentum untuk benda bergerak dengan kecepatan  $v$  adalah:

$$p = m \cdot v = \frac{m_0}{\gamma} v$$

#### Keterangan:

$p$  : momentum benda yang bergerak  
 $m_0$  : massa benda ketika diam

$v$  : kecepatan benda

### f. Relativitas Energi

- Energi diam:  $E_0 = m_0 \cdot c^2$
- Energi total:  $E = m \cdot c^2$
- Energi kinetik:  $E_k = E - E_0$

#### Keterangan:

$E_0$  : energi benda ketika diam (J)  
 $m_0$  : massa benda ketika diam (kg)  
 $c$  : kecepatan cahaya ( $3 \cdot 10^8$  m/s)



## Ingat

Untuk mempermudah perhitungan  $\gamma$ , jika diketahui nilai  $v$ :

| Kecepatan ( $v$ ) | Nilai $\gamma$ (dengan $\gamma = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ) |
|-------------------|--|
| 0,6 $c$           | 0,8  |
| 0,8 $c$           | 0,6  |
| 0,85 $c$          | 0,5  |
| 0,98 $c$          | 0,2  |

## E. Fisika Atom

### a. Teori Atom

Demokritus seorang filsuf Yunani (460—370 SM) mengatakan bahwa jika suatu benda dibelah terus-menerus maka akan didapatkan atom, yaitu bagian terkecil dari suatu benda yang tidak dapat dibagi lagi.

#### 1. Teori Atom Dalton

Pada abad 18, John Dalton menyampaikan konsep dasar teori atomnya, yaitu:

- Atom adalah bagian terkecil dari suatu unsur dan tidak dapat dibagi lagi.
- Atom-atom suatu unsur semuanya serupa dan tidak dapat berubah menjadi atom unsur lain.

- Dua atom atau lebih dari unsur yang berlainan dapat membentuk suatu molekul.
- Pada suatu reaksi kimia, atom-atom berpisah, kemudian bergabung dengan unsur lain yang berbeda, tetapi massa keseluruhannya tetap.
- Pada reaksi kimia, atom-atom bergabung menurut perbandingan tertentu yang sederhana.

## 2. Teori Atom Thomson

Thomson mengemukakan ide tentang atom, yaitu atom dianggap sebuah bola yang muatan positif dan negatifnya tersebar merata di permukaannya (mirip roti kismis).

## 3. Teori Atom Rutherford

Model atom Rutherford mengatakan bahwa:

- Semua muatan positif dan sebagian besar massa atom terkumpul di pusat atom yang disebut inti atom.
- Inti atom dikelilingi oleh elektron pada jarak yang sangat jauh pada lintasan tertentu, mirip lintasan planet mengelilingi matahari.

## 4. Teori Atom Bohr

Teori atom Bohr antara lain:

- Elektron tidak dapat mengelilingi inti atom dengan sembarang lintasan, tetapi dengan lintasan tertentu. Jari-jari lintasan orbit elektron pada atom hidrogen dirumuskan:

$$r_n = 0,53 \cdot n^2 \text{ angstrom}$$

**Keterangan:**

$r_n$  : jari-jari lintasan elektron pada kulit ke-n  
 $n$  : nomor kulit (1,2,3.....)

- Elektron dapat pindah dari satu lintasan orbit ke lintasan orbit lainnya dengan cara melepaskan atau menerima energi.

Jika elektron berpindah dari kulit satu ke kulit lainnya maka selisih energinya adalah:

$$\Delta E = \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \cdot 13,6 \text{ eV}$$

**Keterangan:**

$E_n$  : energi elektron pada kulit ke-n (eV)

$n$  : orbit/kulit elektron (1, 2, 3, ...)  $n_2 < n_1$

$\Delta E$  : selisih energi lintasan (eV)

## b. Spektrum Atom Hidrogen

Dari hasil penelitian pada tabung lucutan gas, jika elektron berpindah dari kulit dalam ke kulit luar maka akan memancarkan spektrum garis/diskontinu. Spektrum ini memiliki panjang gelombang yang dirumuskan dengan:

$$\frac{1}{\lambda} = \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right) \cdot R$$

**Keterangan:**

$\lambda$  : panjang gelombang spektrum hidrogen

$n$  : bilangan kuantum utama ( $n_1 < n_2$ )

$R$  : konstanta Rydberg ( $1,097 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$ )

Terdapat lima deret spektrum hidrogen, yaitu:

1. Deret *Lyman* (daerah ultraviolet), terjadi jika elektron pindah dari  $n_1 = 1$  ke  $n_2 = 2, 3, 4, 5, \dots$
2. Deret *Balmer* (daerah cahaya tampak), terjadi jika elektron pindah dari  $n_1 = 2$  ke  $n_2 = 3, 4, 5, 6, \dots$
3. Deret *Paschen* (daerah inframerah), terjadi jika elektron pindah dari  $n_1 = 3$  ke  $n_2 = 4, 5, 6, 7, \dots$
4. Deret *Bracket* (daerah inframerah), terjadi jika elektron pindah dari  $n_1 = 4$  ke  $n_2 = 5, 6, 7, 8, \dots$

5. Deret Pfund (daerah inframerah), terjadi jika elektron pindah dari  $n_1 = 5$  ke  $n_2 = 6, 7, 8, 9, \dots$

**c. Energi Ionisasi**

Energi ionisasi adalah **ENERGI** yang diperlukan untuk **MELEPAS ELEKTRON KELUAR DARI ATOM**. Rumusnya adalah:

$$E_n = \frac{13,6 \cdot Z^2}{n^2}$$

**Keterangan:**

$E_n$  : energi ionisasi (eV)

$n$  : bilangan kuantum utama (1,2,3,....)

$Z$  : nomor atom

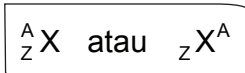
## F. Fisika Inti

**a. Penulisan Nuklida**

Nuklida atau **INTI ATOM** terdiri atas dua partikel subatomik, yaitu:

- **NEUTRON** (muatan netral)
- **PROTON** (muatan positif)

Penulisan nuklida adalah:



**Keterangan:**

$X$  : nuklida atau inti atom

$A$  : nomor massa atom/nukleon  
(jumlah proton + neutron)

$Z$  : nomor atom (jumlah proton)

**b. Defek Massa ( $\Delta m$ )**

Defek massa adalah selisih dari jumlah massa penyusun inti dengan massa inti yang sebenarnya. Persamaannya adalah:

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z)m_n - m_{\text{inti}}$$

**Keterangan:**

$m_p$  : massa proton (1,00728 sma)

$m_n$  : massa neutron (1,00866 sma)

$m_{\text{inti}}$  : massa inti atom yang sebenarnya (sma)

**c. Energi Ikut Inti**

Energi ikat inti adalah energi yang mengikat proton dan neutron di dalam inti atom. Persamaannya adalah:

$$E = \Delta m (931 \text{ MeV/sma})$$

**d. Peluruhan Unsur Radioaktif**

Unsur-unsur yang inti atomnya tidak stabil akan meluruh menjadi unsur yang lebih stabil. Akibat peluruhan tersebut maka sebagian dari massa unsur mula-mula akan berkurang.

$$N = N_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}} \quad A = A_0 \cdot \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T_{1/2}}}$$

**Keterangan:**

$N$  : jumlah nukleon/massa yang tersisa

$N_0$  : jumlah nukleon/massa mula-mula

$t$  : waktu peluruhan

$T_{1/2}$  : waktu paro

$A$  : laju radiasi setelah meluruh

$A_0$  : laju radiasi mula-mula