

FISIKA

BAB 1 BESARAN

Besaran adalah sesuatu yang memiliki nilai dan dapat diukur. Menurut *penyusunnya* besaran dibagi menjadi dua, yaitu besaran pokok dan turunan. Sedang menurut *arahnya* terbagi menjadi 2, yaitu besaran skalar dan vektor.

A. BESARAN POKOK DAN BESARAN TURUNAN

- *Besaran pokok*: besaran yang satuannya telah ditentukan terlebih dahulu.
- *Besaran turunan*: besaran yang diturunkan dari besaran pokok.

Satuan dan Dimensi Besaran Pokok

Besaran Pokok	Satuan	Dimensi
panjang	m	[L]
massa	kg	[M]
waktu	s	[T]
kuat arus listrik	A	[I]
suhu	K	[θ]
intensitas cahaya	cd	[J]
jumlah zat	mol	[N]

Contoh Besaran Turunan

Besaran Turunan	Satuan	Dimensi
Percepatan (a)	m/s ²	LT ⁻²
Gaya (F)	kg m/s ² = newton	MLT ⁻²
Momentum (p)	kg m/s	ML T ⁻¹
Energi/usaha	kg (m/s) ² = joule	ML ² T ⁻²
Daya (P)	kg m ² /s ³	ML ² T ⁻³

B. BESARAN SKALAR DAN VEKTOR

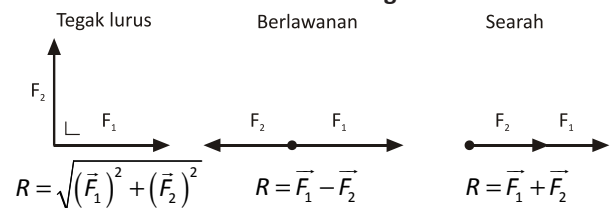
- *Besaran skalar*: besaran yang hanya memiliki nilai tetapi tidak memiliki arah, contoh: massa dan waktu.
- *Besaran vektor*: besaran yang memiliki nilai dan arah, contoh: kecepatan, perpindahan, momentum.

■ Dua Vektor Berpadu

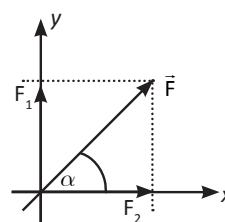
$$\text{Resultan: } R = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \sqrt{(F_1)^2 + (F_2)^2 + 2F_1F_2 \cos \theta}$$

$$\text{Selisih: } \vec{F}_1 - \vec{F}_2 = \sqrt{(F_1)^2 + (F_2)^2 - 2F_1F_2 \cos \theta}$$

■ Resultan dari Dua Vektor dengan Sudut Tertentu



■ Uraian Vektor



$$F_x = \vec{F} \cos \alpha \text{ dan } F_y = \vec{F} \sin \alpha$$

$$\text{Arah: } \tan \alpha = \frac{\sum F_y}{\sum F_x}$$

C. PENGUKURAN

Alat ukur	Ketelitian
Mistar	1 mm
Rol meter	1 mm
Jangka sorong	0,1 mm
Mikrometer sekrup	0,01 mm

D. ATURAN ANGKA PENTING

- Semua angka bukan nol adalah angka penting.
- Angka nol yang terletak di antara dua angka bukan nol termasuk angka penting.
Contoh: 3,002 memiliki 4 angka penting.
- Semua angka nol yang terletak pada deretan akhir dari angka-angka yang ditulis di belakang koma desimal termasuk angka penting.
Contoh: 0,03600 memiliki 4 angka penting.
2,30 memiliki 3 angka penting.
- Dalam notasi ilmiah, semua angka sebelum orde termasuk angka penting.
Contoh: $2,6 \times 10^4$ memiliki dua angka penting.
 $9,60 \times 10^4$ memiliki tiga angka penting.

- Angka-angka nol yang digunakan hanya untuk tempat titik desimal adalah *bukan* angka penting.
Contoh: 0,0075 memiliki 2 angka penting.

■ Aturan Penjumlahan atau Pengurangan

Hasil penjumlahan atau pengurangan hanya boleh mengandung satu angka taksiran (angka terakhir dari suatu bilangan penting).

Contoh: $4,46\bar{1} \rightarrow 1$ adalah angka taksiran

$\underline{1,0\bar{7}} + \rightarrow 7$ adalah angka taksiran

$\underline{5,5\bar{3}1} \rightarrow$ ada dua angka taksiran

Sehingga dibulatkan menjadi 5,53; karena hanya boleh mengandung satu angka taksiran.

■ Aturan Perkalian atau Pembagian

Hasil operasi perkalian atau pembagian hanya boleh memiliki angka penting sebanyak bilangan yang angka pentingnya paling sedikit.

Contoh: $2,42 \rightarrow 3$ angka penting

$\underline{1,2} \times \rightarrow 2$ angka penting

$2,904 \rightarrow 4$ angka penting

Dibulatkan menjadi 2,9 (2 angka penting).

BAB 2

KINEMATIKA GERAK LURUS

Suatu benda dikatakan bergerak jika ia berpindah posisi ditinjau dari suatu titik acuan dalam selang waktu tertentu.

$$\text{kecepatan} = \frac{\text{perpindahan}}{\text{waktu}} \Rightarrow \text{besaran vektor}$$

$$\text{laju} = \frac{\text{lintasan}}{\text{waktu}} \Rightarrow \text{besaran skalar}$$

Konsep: Gerak Lurus, dibagi menjadi 2; GLB ($a = 0$) dan GLBB ($a \neq 0$).

A. GERAK LURUS BERATURAN (GLB)

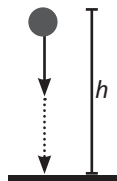
- ◆ Percepatan, $a = 0$
- ◆ $V_t = V_0$
- ◆ $S = V t$

B. GERAK LURUS BERUBAH BERATURAN (GLBB)

- ◆ $a \neq 0$
- ◆ $V_t = V_0 + at$
- ◆ $S_t = V_0 t + \frac{1}{2} a t^2$
- ◆ $V_t^2 = V_0^2 + 2as$

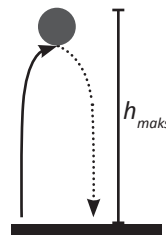
Penerapan dari GLBB

1. Gerak jatuh bebas



- ◆ $a = g$ (percepatan gravitasi)
- ◆ $V_0 = 0$
- ◆ $V_t = g t$
- ◆ $h_t = \frac{1}{2} g t^2$

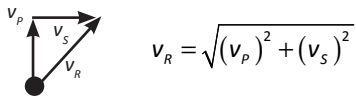
2. Gerak benda dilempar vertikal ke atas



- ◆ $a = -g$
- ◆ Ketinggian maksimum:
$$h_{\max} = \frac{v_o^2}{2g}$$
- ◆ Waktu sampai puncak:
$$t_{\text{puncak}} = \frac{v_o}{g}$$

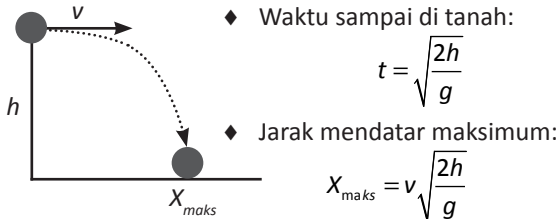
C. PERPADUAN DUA GERAK LURUS

1. GLB dengan GLB

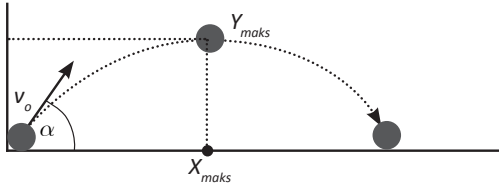


2. GLBB dengan GLB

Benda diluncurkan horizontal dari ketinggian h dengan kecepatan v .



3. Gerak parabola



■ Kecepatan:

arah X : $v_x = v_o \cos \alpha$

arah Y : $v_y = v_o \sin \alpha - g \cdot t$

■ Posisi:

arah $X = (v_o \cos \alpha) \cdot t$ dan

arah $Y = (v_o \sin \alpha) \cdot t - \frac{1}{2} g \cdot t^2$

Waktu sampai ke puncak: $t_p = \frac{v_o \sin \alpha}{g}$

Tinggi maksimum: $Y_{maks} = \frac{v_o^2 \sin^2 \alpha}{2g}$

Jarak mendatar maksimum:

$$X_{maks} = \frac{2 \cdot v_o^2 \sin \alpha \cos \alpha}{g} = \frac{v_o^2 \sin(2\alpha)}{g}$$

D. PERSAMAAN GERAK LURUS

- Posisi benda: $\vec{r}_{(t)} = x_{(t)}\vec{i} + y_{(t)}\vec{j}$ atau $\vec{r}_{(t)} = \int \vec{v} \cdot dt + \vec{r}_0$

besar ($|r|$): $|r| = \sqrt{(x)^2 + (y)^2}$

- Kecepatan: $\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt}$ atau $\vec{v}_{(t)} = \int \vec{a} \cdot dt + \vec{v}_0$

besar ($|v|$): $|v| = \sqrt{(v_x)^2 + (v_y)^2}$

- Percepatan: $\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt}$

besar ($|a|$): $|a| = \sqrt{(a_x)^2 + (a_y)^2}$

- Kecepatan rata-rata: $\vec{v} = \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{r_2 - r_1}{\Delta t}$

- Percepatan rata-rata: $\vec{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{\Delta t}$

E. GERAK MELINGKAR

Konsep:

Rumus gerak melingkar beraturan (GMB) identik dengan GLB, dan gerak melingkar berubah beraturan (GMBB) identik dengan GLBB.

Hubungan gerak rotasi dan gerak lurus

$$S = \theta \cdot R$$

$$V = \omega \cdot R$$

$$a = \alpha \cdot R$$

$$\omega = 2\pi f = 2\pi/T$$

1. Sifat dari sistem roda sederhana

Dua roda sepusat	Bersinggungan	Dihubungkan tali
$\omega_A = \omega_B$	$v_A = v_B$	$v_A = v_B$

2. Gerak Melingkar Beraturan (GMB, $\alpha = 0$)

$$\theta = \omega \cdot t$$

$$\text{Gaya sentripetal: } F_s = m \frac{V^2}{R}, a_s = \frac{V^2}{R}$$

3. Gerak Melingkar Berubah Beraturan (GMBB, α = konstan)

$$\omega_t = \omega_o + \alpha \cdot t$$

$$\theta_t = \omega_o \cdot t + \frac{1}{2} \alpha \cdot t^2$$

$$\omega_t^2 = \omega_o^2 + 2 \alpha \cdot \theta_t$$

$$F_s = m \frac{V^2}{R}, a_s = \frac{V^2}{R}$$

$$a_{total} = \sqrt{a_t^2 + a_s^2}$$

BAB 3 GAYA

Gaya adalah tarikan atau dorongan.

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

m = massa benda (kg)

a = percepatan benda (m/s^2)

Konsep:

Resultan gaya \Rightarrow gaya yang searah dijumlahkan, dan yang berlawanan arah dikurangkan.

1. Hukum Newton

■ Hukum Newton I

$$\sum F = 0, a = 0, \text{ benda diam atau GLB}$$

■ Hukum Newton II

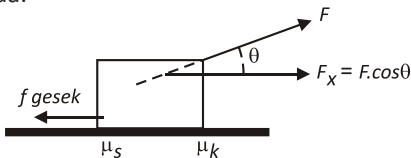
$$\sum F = m \cdot a, a \neq 0, \text{ benda ber-GLBB}$$

■ Hukum Newton III

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

2. Gaya Gesek

Gaya gesek adalah gaya yang timbul akibat gesekan dua benda.



F_x = gaya searah perpindahan (menyebabkan pergeseran)

f_{gesek} = gaya gesek

μ_s = koefisien gesek statis

μ_k = koefisien gesek kinetis

Benda dari keadaan diam, maka

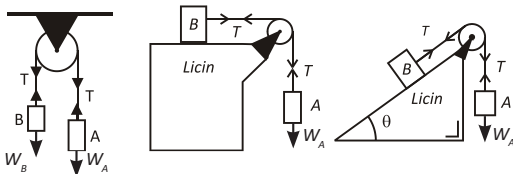
(i) Jika $F_x \leq \mu_s N \Rightarrow$ benda diam $\Rightarrow f_{gesek} = F_x$

(ii) Jika $F_x > \mu_s N \Rightarrow$ benda bergerak dengan

percepatan $a \Rightarrow f_{gesek} = \mu_k N$

N adalah gaya normal benda, yaitu gaya yang diberikan bidang pada benda, tegak lurus dengan bidang.

3. Kasus pada Sistem Katrol Licin



$$a = \frac{w_A - w_B}{m_A + m_B}; \quad a = \frac{w_A}{m_A + m_B}; \quad a = \frac{w_A - w_B \cdot \sin \theta}{m_A + m_B}$$

a = percepatan sistem (massa A dan massa B)

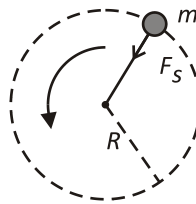
T = tegangan tali ; $T_A = T_B = T$

m_B = massa B

m_A = massa A

N = gaya normal

4. Gaya pada Gerak Melingkar



Gaya sentripetal:

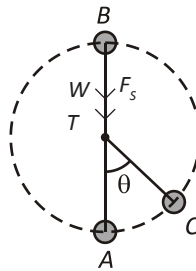
$$F_s = m \frac{v^2}{R} = m \omega^2 R$$

Percepatan sentripetal:

$$a_s = \frac{v^2}{R} = \omega^2 R$$

Arah F_s : ke pusat ingkaran.

■ Tali berputar vertikal



Di titik tertinggi (B):

$$F_s = T + w$$

Di titik terendah (A):

$$F_s = T - w$$

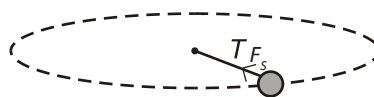
Di titik C:

$$F_s = T - w \cdot \cos \theta$$

w = berat benda

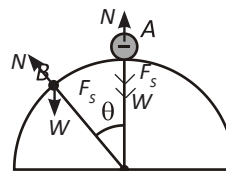
T = tegangan tali

■ Tali berputar horizontal



$$F_s = T = \text{tegangan tali}$$

■ Pada luar bidang melingkar



Di titik tertinggi (A):

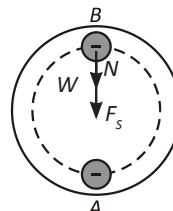
$$F_s = w - N$$

Di titik B:

$$F_s = w \cdot \cos \theta - N$$

N = gaya normal

■ Pada dalam bidang melingkar



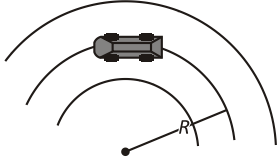
Di titik tertinggi (B):

$$F_s = N + w$$

Di titik terendah (A):

$$F_s = N - w$$

5. Pada Kasus Tikungan



Ketika suatu kendaraan membelok di tikungan, bisa didekati sebagai gerak melingkar agar tidak terjadi selip maka:

- Tikungan Datar: $\frac{v^2}{R \cdot g} = \mu_s$
- Tikungan Miring: $\frac{v^2}{R \cdot g} = \frac{\mu_s + \tan \theta}{1 - \mu_s \tan \theta}$

v = laju maksimum kendaraan

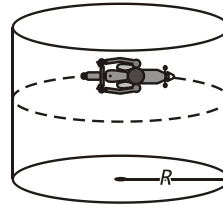
μ_s = koefisien gesekan statis antara roda dengan jalan

R = jari-jari putaran jalan

θ = sudut kemiringan jalan terhadap horizontal

g = percepatan gravitasi

6. Kasus pada Tong Stan



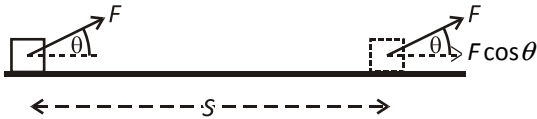
Laju minimum putaran motor:

$$v_{\min} = \sqrt{\frac{g \cdot R}{\mu_s}}$$

BAB 4 USAHA DAN ENERGI

A. USAHA

Usaha adalah kerja atau aktivitas yang menyebabkan suatu perubahan, dalam mekanika, kuantitas dari suatu kerja atau usaha diberikan sebagai berikut.



Jika sebuah benda ditarik dengan gaya sebesar F dan benda berpindah sejauh S , maka usaha yang dilakukan gaya terhadap benda adalah:

$$W = F \cdot S \cdot \cos \theta$$

untuk $\theta = 0^\circ$, maka

$$W = F \cdot S$$

B. ENERGI

Energi adalah kemampuan untuk melakukan usaha atau kerja.

- Energi Kinetik: $Ek = \frac{1}{2} m \cdot v^2$
- Energi Potensial Gravitasi: $Ep = m \cdot g \cdot h$
- Energi Mekanik: $EM = Ek + Ep$

Usaha dapat merubah energi yang dimiliki benda

sehingga:

- Laju benda berubah:

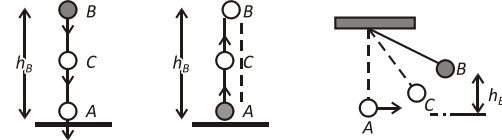
$$W = Ek_{\text{akhir}} - Ek_{\text{awal}} = \frac{1}{2} m v_2^2 - \frac{1}{2} m v_1^2$$

- Posisi tinggi benda berubah:

$$W = Ep_{\text{akhir}} - Ep_{\text{awal}} = mg(\Delta h)$$

Hukum Kekekalan Energi Mekanik

Pada sistem yang konservatif (hanya gaya gravitasi saja yang diperhitungkan) berlaku kekekalan energi mekanik, yaitu energi mekanik di setiap kedudukan adalah sama besar. Contoh-contohnya:



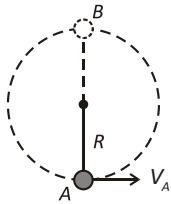
$$EM_A = EM_B = EM_C$$

Dari hukum kekekalan energi mekanik pada kasus gambar-gambar di atas, untuk puncak dan dasar berlaku:

$$v_A = \sqrt{2 \cdot g h_B} \text{ atau } h_B = \frac{v_A^2}{2 \cdot g}$$

Sebuah Bandul Diputar Vertikal

Dari penerapan hukum kekekalan energi mekanik, maka syarat agar bandul bergerak 1 lingkaran penuh adalah:



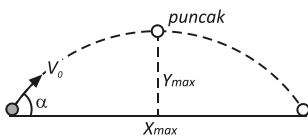
Laju di titik tertinggi (B):

$$v_B = \sqrt{g.R}$$

Laju di titik terendah (A):

$$v_B = \sqrt{5g.R}$$

Energi pada Gerak Parabola



Di dasar:

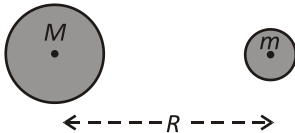
$$E_p = 0 \text{ dan } E_k = \frac{1}{2}m.(v_o)^2$$

Di puncak:

$$E_p = \frac{1}{2}m.(v_o)^2 . \sin^2 \alpha$$

$$E_k = \frac{1}{2}m.(v_o)^2 . \cos^2 \alpha$$

Energi Potensial Gravitasi



$$E_p = -G \frac{M.m}{R}$$

G = konstanta gravitasi
 R = jarak 2 massa

Usaha dan Energi Potensial Pegas

Energi potensial pegas: $E_p = \frac{1}{2}k.x^2$

Usaha: $W = \Delta E_p = \frac{1}{2}k.x_2^2 - \frac{1}{2}k.x_1^2$

Jika simpangan di mulai dari titik setimbang, maka:

$$W = E_p = \frac{1}{2}k.x^2$$

k = konstanta pegas (N/m),
 x = simpangan pegas (m).

Energi pada Gerak Harmonis

■ Energi potensial:

$$E_p = \frac{1}{2}k.A^2 \sin^2 \theta$$

k = konstanta pegas, A = amplitudo, θ = sudut fase.

■ Energi kinetik:

$$E_k = \frac{1}{2}k.A^2 \cos^2 \theta$$

$k = m.\omega^2$; m = massa; $\omega = 2\pi f$

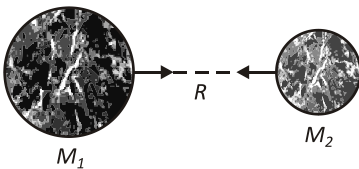
■ Energi mekanik:

$$E_M = E_p + E_k$$

BAB 5

GAYA GRAVITASI DAN PEGAS

A. GAYA GRAVITASI



$$F = G \frac{M_1.M_2}{R^2}$$

F = gaya tarik-menarik antara M_1 dan M_2

G = konstanta gravitasi = $6,673 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$

1. Kuat Medan Gravitasi (Percepatan Gravitasi)

Medan gravitasi: tempat di mana gaya gravitasi terjadi.



$$g = G \frac{M}{R^2}$$

2. Hukum Keppler

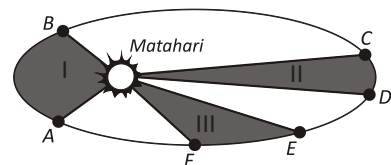
a. Hukum Keppler I

"Lintasan planet berbentuk elips dan matahari di salah satu titik fokusnya".

Aphelium: titik terjauh, Perihelium: titik terdekat.

b. Hukum Keppler II

"Garis yang menghubungkan planet dan matahari akan menyapu luas juring dan dalam waktu yang sama".



Jika:

$$\text{luas I} = \text{luas II} = \text{luas III} \Rightarrow t_{AB} = t_{CD} =$$

t_{EF}

t_{AB} = waktu dari A ke B

c. Hukum Kepler III

"Perbandingan kuadrat periode revolusi planet (T^2) terhadap jari-jari rata-rata planet pangkat tiga (R^3) selalu tetap untuk setiap planet."

Dirumuskan:

$$\left(\frac{T_A}{T_B}\right)^2 = \left(\frac{R_A}{R_B}\right)^3$$

B. ELASTISITAS

1. Tegangan

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

F : gaya

A : Luas penampang

2. Regangan

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

ΔL : perubahan panjang

L : panjang mula-mula

3. Modulus Young

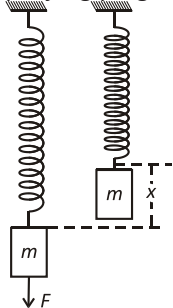
$$Y = \frac{\tau}{\varepsilon} = \frac{F.L}{A.\Delta L}$$



C. PEGAS

1. Gaya Pada Pegas

Jika pegas diberi gaya akan mengalami perubahan panjang yang dirumuskan:



$$F = k.x$$

F : gaya yang menarik/ mendorong pegas

k : konstanta pegas (N/m)

x : perubahan panjang (m)

2. Gerak Harmonik pada Pegas

■ Simpangan

$$y = A \sin \theta$$

$$\varphi = \frac{\theta}{2\pi}$$

$$\theta = \omega t + \theta_0$$

y : simpangan getar (m)

A : amplitudo (simpangan maksimum) (m)

θ : sudut fase

ω : frekuensi sudut (rad/s)

θ_0 : sudut fase awal

■ Kecepatan getar

$$v = \omega.A \cos \theta = \omega \sqrt{A^2 - y^2}$$

v : kecepatan getar

y : simpangan getar

A : amplitudo (simpangan maksimum)

■ Frekuensi sudut (rad/s)

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

f : frekuensi getaran (Hz)

T : periode getaran (s)

■ Percepatan getar

$$a = -\omega^2.A \sin \theta = -\omega^2 y$$

y : simpangan getar

A : amplitudo (simpangan maksimum)

■ Frekuensi dan periode pada pegas dan bandul sederhana

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$T = \frac{1}{f}$$

k = konstanta pegas

Sedangkan untuk **ayunan bandul sederhana** frekuensi diberikan:

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

g : percepatan gravitasi

ℓ : panjang tali

BAB 6

IMPULS DAN MOMENTUM

A. IMPULS DAN MOMENTUM

1. Impuls (I)

Gaya bekerja pada suatu benda dalam selang waktu Δt adalah Impuls (I).

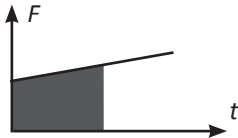
- Untuk gaya F tetap

$$I = F \cdot \Delta t$$

- Untuk gaya $F = f(t)$

$$I = \int_{t_1}^{t_2} F \cdot dt$$

- Untuk grafik ($F - t$), impuls I dinyatakan oleh luas di bawah grafik.



$I = \text{luas daerah yang diarsir}$

Impuls juga merupakan perubahan hukum momentum. Dapat ditulis:

$$I = \Delta p = p_{\text{akhir}} - p_{\text{awal}}$$

2. Momentum (p)

$$p = mv$$

- p = momentum (kgms^{-1}), besaran vektor
- m = massa (kg)
- v = kecepatan (ms^{-1})

B. HUKUM KEKALKAN MOMENTUM

Pada proses tumbukan/ledakan berlaku kekekalan momentum.

$$\sum p_{\text{sebelum}} = \sum p_{\text{sesudah}}$$

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2$$

C. TUMBUKAN

Kelentingan suatu tumbukan ditentukan dengan koefisien restitusi (e).

$$e = -\frac{(v'_1 - v'_2)}{v_1 - v_2}$$

1. **Lenting Sempurna:** Koefisien restitusi $e = 1$
2. **Lenting Sebagian:** Koefisien restitusi $0 < e < 1$
3. **Tidak Lenting Sama sekali:** Koefisien restitusi $e = 0$

D. BENDA DIJATUHKAN DAN MEMANTUL

Benda yang jatuh kemudian memantul, maka besarnya koefisien restitusi dirumuskan dengan:

$$e = -\frac{v_1'}{v_1} = \sqrt{\frac{h_2}{h_1}}$$

Berlaku:

$$e = \sqrt{\frac{h_{n+1}}{h_n}}$$

Dengan h_n adalah tinggi pantulan ke- n ($n = 0, 1, 2$).

A. DINAMIKA ROTASI

Gerak Lurus	Gerak Rotasi	Hubungan Keduanya
		$\theta = \frac{S}{R}$ R: jari-jari putarannya
$v = \frac{dS}{dt}$	$\omega = \frac{d\theta}{dt}$	$\omega = \frac{v}{R}$
$a = \frac{dv}{dt}$	$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$	$\alpha = \frac{a}{R}$
Gaya = $\sum F$	Momen gaya = $\sum \tau$	$\tau = R.F.\sin\theta$ θ : sudut antara F dengan R
Massa = m	Momen Inersia = I	$I = k.m.R^2$ k = konstanta Untuk satu partikel k = 1

■ **Momen Inersia**

Besaran yang analog dengan massa untuk gerak rotasi.

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

dengan k = konstanta.

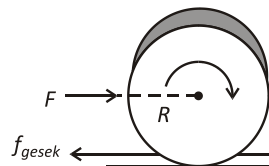
Untuk benda yang sudah baku diberikan tabel sebagai berikut.

No	Bentuk Benda	Momen Inersia
1	Benda berupa titik	$I = mR^2$
2	Benda panjang, homogen, diputar di salah satu ujung	$I = \frac{1}{3} m\ell^2$
3	Benda panjang, homogen, diputar tepat di tengah	$I = \frac{1}{12} m\ell^2$
4	Bola berongga	$I = \frac{2}{3} mR^2$
5	Bola pejal	$I = \frac{2}{5} mR^2$
6	Silinder berongga tipis	$I = mR^2$
7	Silinder pejal	$I = \frac{1}{2} mR^2$
8	Silinder berongga tidak tipis	$I = \frac{1}{2} m(R_1^2 + R_2^2)$

■ **Hukum Dinamika Rotasi:**

$$\sum \tau = I.\alpha$$

Kita dapat meninjau suatu kasus benda yang menggelinding (berotasi dan bertranslasi) seperti gambar di bawah ini.



Dinamika lurus:

$$F - f_{gesek} = m.a \quad \dots (1)$$

Dinamika rotasi:

$$\tau = I.\alpha$$

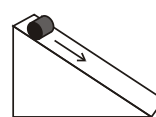
$$f_{gesek}(R) = k.m.R^2 \left(\frac{a}{R} \right) \\ f_{gesek} = k.m.a \quad \dots (2)$$

Persamaan (2) disubstitusikan ke (1) akan didapat:

k = konstanta pada rumus momen inersia: silinder pejal

$k = \frac{1}{2}$; bola pejal $k = \frac{2}{5}$; dan seterusnya.

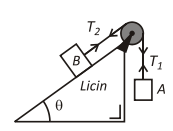
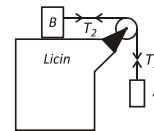
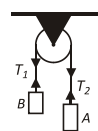
Untuk beberapa kasus seperti gambar dapat diberikan percepatannya adalah:



$$a = \frac{g.\sin\theta}{1+k}$$



$$a = \frac{g}{(1+k)}$$



$$a = \frac{w_A - w_B}{m_A + m_B + k.M_{kontrol}} \quad a = \frac{w_A}{m_A + m_B + k.M_{kontrol}} \quad a = \frac{w_A - w_B \sin\theta}{m_A + m_B + k.M_{kontrol}}$$

■ **Energi Kinetik**

Untuk benda menggelinding (rotasi & translasi)

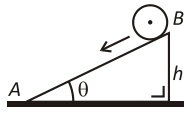
$$Ek_{translasi} = \frac{1}{2}.m.v^2$$

$$Ek_{rotasi} = \frac{1}{2}.I.\omega^2 = \frac{1}{2}.(k.m.R^2)\left(\frac{v}{R}\right)^2 = \frac{1}{2}.k.m.v^2$$

$$Ek_{total} = Ek_{translasi} + Ek_{rotasi} = \frac{1}{2}mv^2(1+k)$$



$$Ek_{total} = \frac{1}{2} m \cdot v^2 (1+k);$$



$$m \cdot gh = \frac{1}{2} m \cdot v^2 (1+k)$$

$$v_A = \sqrt{\frac{2g \cdot h}{(1+k)}}$$

; v_A = laju di dasar

Momentum Sudut

$$L = I \cdot \omega$$

$$\sum L_{sebelum} = \sum L_{sesudah}$$

Usaha dan Daya pada Gerak Rotasi

Usaha: $W = \tau \cdot \theta$

Daya: $P = \frac{W}{t}$

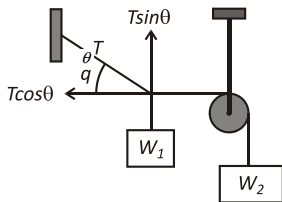
B. KESETIMBANGAN BENDA TEGAR

Benda dikatakan setimbang jika benda tidak bergerak (percepatan = 0) baik secara translasi atau secara rotasi.

Secara Translasi

- Gaya-gaya dalam arah mendatar haruslah = 0
 $\sum F_x = 0$
- Gaya-gaya dalam arah vertikal haruslah = 0
 $\sum F_y = 0$

Sehingga jika diberikan kasus setimbang di bawah:

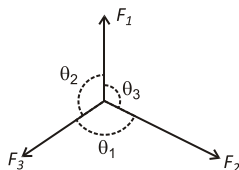


$$\sum F_x = 0 \Rightarrow w_2 - T \cos \theta = 0 \Rightarrow w_2 = T \cos \theta$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow w_1 - T \sin \theta = 0 \Rightarrow w_1 = T \sin \theta$$

Setimbang oleh 3 Buah Gaya

Berlaku:

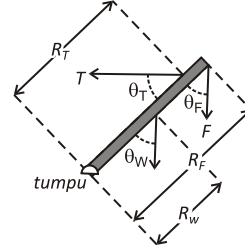


$$\frac{F_1}{\sin \theta_1} = \frac{F_2}{\sin \theta_2} = \frac{F_3}{\sin \theta_3}$$

Kesetimbangan Rotasi

Setimbang rotasi jika di setiap titik tumpu: jumlah momen gaya = 0 $\Rightarrow \sum \tau = 0$

- Jika terdapat gaya w , F , dan T bekerja pada batang seperti gambar:



- Jika sistem tetap dalam keadaan setimbang rotasi maka:

$$\sum \tau = 0$$

$$\Leftrightarrow (w)(R_W) \cdot \sin \theta_W + (F)(R_F) \cdot \sin \theta_F - (T)(R_T) \sin \theta_T = 0$$

$$\Leftrightarrow (w)(R_W) \cdot \sin \theta_W + (F)(R_F) \cdot \sin \theta_F = (T)(R_T) \sin \theta_T$$

Titik Berat

a. Titik berat benda pejal homogen

No	Bentuk Benda	Titik Berat
1	Silinder pejal	$y_o = \frac{1}{2} t$
2	Bola pejal	$y_o = R$
3	Limas pejal	$y_o = \frac{1}{4} t$
4	Kerucut pejal	$y_o = \frac{1}{4} t$
5	Setengah bola pejal	$y_o = \frac{3}{8} R$

b. Titik berat benda homogen berbentuk garis

No	Bentuk Benda	Titik Berat
1.	Garis lurus	$y_o = \frac{1}{2} l$
2.	Busur lingkaran	$y_o = R = \frac{AB}{\angle AB}$
3.	Busur setengah lingkaran	$y_o = 2 \frac{R}{\pi}$
4.	Segitiga siku-siku	$x_o = \frac{1}{3} x; y_o = \frac{1}{3} y$

c. Titik berat benda berbentuk luasan (selimut bangun ruang)

No	Bentuk Benda	Titik Berat
1.	Kulit kerucut	$y_o = \frac{1}{3} l$
2.	Kulit limas	$y_o = \frac{1}{3} t$
3.	Kulit setengah bola	$y_o = \frac{1}{2} R$
4.	Kulit silinder	$y_o = \frac{1}{2} t$

Titik berat gabungan dari benda-benda teratur yang mempunyai berat W_1, W_2, W_3, \dots dan seterusnya.

$$x_o = \frac{\sum w_n x_n}{\sum w_n} = \frac{w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_3 x_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$$

$$y_o = \frac{\sum w_n y_n}{\sum w_n} = \frac{w_1 y_1 + w_2 y_2 + w_3 y_3 + \dots}{w_1 + w_2 + w_3 + \dots}$$

w = berat benda

w (berat) $\sim m$ (massa) $\sim V$ (Volum) $\sim A$ (luas) $\sim L$ (panjang)

\Rightarrow rumus di atas bisa diganti dengan besaran-besaran di atas.

BAB 8

GELOMBANG

A. GELOMBANG MEKANIK

Gelombang adalah getaran yang merambat/energi yang menjalar.

Setiap gelombang memiliki cepat rambat:

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

v = cepat rambat gelombang (m/s)

λ = panjang gelombang (m)

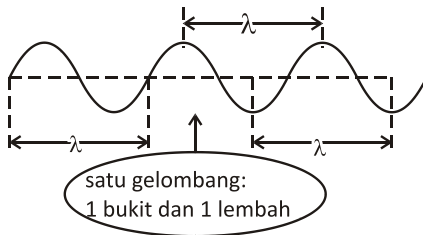
f = frekuensi gelombang (Hz) = jumlah gelombang tiap waktu

T = periode gelombang (s) = waktu untuk terjadi satu gelombang

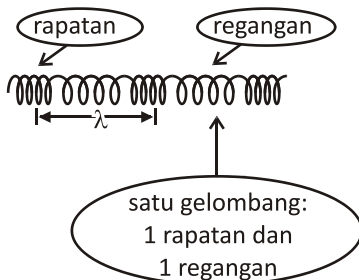
Jarak tempuh gelombang: $s = v \times t$ dan t = waktu (s)

Beberapa Bentuk Gelombang

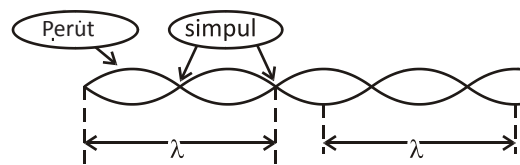
- Transversal



- Longitudinal



- Stasioner



■ Persamaan Gelombang

1. Gelombang berjalan

+ awal gelombang merambat ke atas

$$Y = \pm A \sin(\omega t + kx + \theta_o)$$

- awal gelombang merambat ke bawah

Sudut fase: $\theta = (\omega t \pm kx + \theta_o)$

Fase: $\varphi = \frac{\theta}{2\pi} = \frac{\theta}{360^\circ}$

2. Gelombang stasioner

- Ujung terikat



$$Y = 2A \sin(kx) \cos(\omega t - k\ell)$$

- Ujung bebas



$$Y = 2A \cos(kx) \sin(\omega t - k\ell)$$

A : amplitudo gelombang transversal

ω : frekuensi sudut: $\omega = 2\pi \cdot f = \frac{2\pi}{T} \Leftrightarrow f = \frac{\omega}{2\pi}$

f : frekuensi dan T : periode

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

λ : panjang gelombang

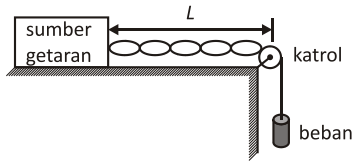
x : posisi dan t : waktu

ℓ : panjang tali

Cepat rambat gelombang dapat juga dirumuskan:

$$v = \lambda \cdot f = \frac{\omega}{k}$$

■ Percobaan Melde



Didapat cepat rambat gelombang pada dawai:

$$v = \sqrt{\frac{F}{\mu}}$$

- F = gaya tegangan tali (N)
 m = massa dawai sepanjang L (kg)
 L = panjang dawai (m)
 μ = massa per satuan panjang dawai (kg m s^{-1}),
 dengan $\mu = \frac{m}{L}$

B. GELOMBANG BUNYI

■ Jenis bunyi berdasarkan frekuensinya

1. **Infrasonik**; frekuensi < 20 Hz, dapat didengar oleh jangkrik dan anjing.
2. **Audiosonik**; frekuensi antara 20 Hz- 20.000 Hz, dapat didengar oleh manusia.
3. **Ultrasonik**; frekuensi > 20.000 Hz, dapat didengar oleh lumba-lumba dan kelelawar.

Bunyi dengan frekuensi teratur disebut *nada*, tinggi rendahnya nada ditentukan oleh frekuensi bunyi.

■ Cepat Rambat Bunyi

- Cepat rambat bunyi dalam gas.

Berdasarkan *Hukum Laplace*: $v = \sqrt{\gamma \frac{RT}{M}}$

- R = konstanta gas umum = $8,31 \times 10^3 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$
 T = suhu mutlak
 M = berat molekul (kg mol^{-1})
 γ = konstanta Laplace, bergantung jenis gas

- Cepat rambat bunyi dalam zat cair: $v = \sqrt{\frac{B}{\rho}}$

- B = modulus Bulk, (N m^{-2})
 ρ = massa jenis zat cair, (kg m^{-3})

- Cepat rambat bunyi dalam zat padat:

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

- E = modulus Young zat padat, (N m^{-2})
 ρ = masa jenis zat padat, (kg m^{-3})

■ Frekuensi pada Dawai dan Pipa organa

- Frekuensi Getaran Dalam Dawai:

$$f_n = \frac{(n+1)}{2L} \times v$$

- Frekuensi Pipa Organa Terbuka:

$$f_n = \frac{(n+1)}{2L} \times v$$

- Frekuensi Pipa Organa Tertutup:

$$f_n = \frac{(2n+1)}{4L} \times v$$

$$n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$n = 0 \Rightarrow \text{nada dasar}$$

$$n = 1 \Rightarrow \text{nada atas I}$$

$$n = 2 \Rightarrow \text{nada atas II}$$

■ Efek Doppler

- Jika sumber bunyi dan pendengar relatif mendekat, maka frekuensi terdengar lebih tinggi ($f_p > f_s$).
- Jika sumber bunyi dan pendengar relatif menjauh, maka frekuensi terdengar lebih rendah ($f_p < f_s$).
- Jika sumber bunyi dan pendengar relatif diam, maka frekuensi terdengar sama ($f_p = f_s$).

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

v_p (+): pendengar mendekat sumber bunyi.

v_s (+): sumber bunyi menjauh pendengar.

■ Energi Bunyi dan Daya

Energi Gelombang:

$$E = \frac{1}{2} m A^2 \omega^2 = 2\pi^2 m \cdot f^2 \cdot A^2$$

Daya: $P = \frac{E}{t}$

■ Intensitas Bunyi (Daya tiap satu-satuan luas)

$$I = \frac{P}{A} = \frac{E}{A \cdot t}$$

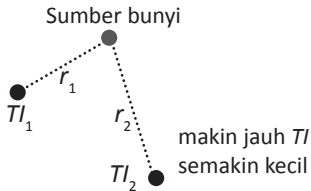
Untuk luasan bola: $I = \frac{P}{4\pi r^2}$

Taraf intensitas bunyi adalah tingkat/derajat kebisingan bunyi. Batas kebisingan bagi telinga manusia: $10^{-12} \text{ watt.m}^{-2}$ sampai 1 watt.m^{-2} .

Taraf Intensitas Bunyi diberikan:

$$TI = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad (\text{desi Bell atau dB})$$

Perbedaan taraf intensitas bunyi terjadi karena perbedaan jarak.



$$TI_2 = TI_1 + 10 \log \frac{I_2}{I_1}$$

$$TI_n = TI_1 + 10 \log n$$

Taraf intensitas bunyi n kali sumber \Rightarrow makin banyak makin besar.

TI_1 : taraf intensitas 1 sumber bunyi

TI_n : taraf intensitas n kali sumber bunyi

C. GELOMBANG ELEKTROMAGNETIK

Kecepatan rambat gelombang elektromagnetik dalam vakum memenuhi hubungan:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}}$$

μ_0 = permeabilitas vakum ($4\pi \times 10^{-7}$ Wb/A.m)

ϵ_0 = permittivitas vakum ($8,85 \times 10^{-12}$ C²/N.m²)

■ Sifat-sifat Gelombang Elektromagnetik

Berdasarkan hasil percobaan H.R.Hertz, gelombang elektromagnetik memiliki sifat-sifat sebagai berikut.

- Merupakan gelombang transversal.
- Dapat merambat dalam ruang hampa.
- Dapat mengalami refleksi, refraksi, difraksi.
- Dapat mengalami interferensi.
- Dapat mengalami polarisasi.
- Tidak dibelokkan oleh medan listrik maupun magnet.

■ Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Urutan spektrum gelombang elektromagnetik mulai dari frekuensi terkecil ke frekuensi terbesar:

- \Rightarrow gelombang radio
- \Rightarrow gelombang televisi
- \Rightarrow gelombang radar
- \Rightarrow sinar inframerah
- \Rightarrow cahaya tampak
- \Rightarrow sinar ultraviolet
- \Rightarrow sinar X
- \Rightarrow sinar gamma

merah
jingga
kuning
hijau
biru
nila
ungu



– frekuensi membesar
– panjang gelombang mengecil

■ Kuat Medan Listrik dan Kuat Medan Magnetik

Persamaan medan listrik dan magnetik masing-masing:

$$E = E_{maks} \cos(kx - \omega t)$$

$$B = B_{maks} \cos(kx - \omega t)$$

Maka akan diperoleh hubungan:

$$\frac{E_{maks}}{B_{maks}} = -\frac{E}{B} = \frac{\omega}{k} = c$$

E_{maks} = amplitudo medan listrik, (N/C)

B_{maks} = amplitudo medan magnetik, (Wb/m²)

c = laju gelombang elektromagnetik dalam vakum

■ Intensitas (laju energi tiap luasan) Gelombang Elektromagnetik

Intensitas gelombang elektromagnetik (laju energi per m²) disebut juga Poynting (lambang S), yang nilai rata-ratanya:

$$\bar{S} = I = \frac{P}{A} = \frac{E_m \cdot B_m}{2\mu_0} = \frac{E_m^2}{2\mu_0 \cdot c} = \frac{c \cdot B_m^2}{2\mu_0}$$

■ Rapat Energi Rata-rata

$$\bar{u} = \frac{\bar{S}}{c}$$

c = laju GEM dalam vakum

D. OPTIK FISIS

■ Warna Cahaya

- Cahaya polikromatik: cahaya yang dapat terurai menjadi beberapa macam warna.
- Cahaya monokromatik: hanya terdiri dari satu warna.
- 1 warna: memiliki satu kisaran panjang gelombang.

■ Dispersi Sinar Putih

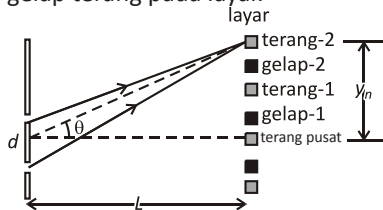
- **Dispersi** adalah penguraian cahaya menjadi komponen-komponen warna dasarnya.
- Sinar putih dapat terurai menjadi beberapa warna. Penguraian sinar putih dapat menggunakan prisma. Dari percobaan didapat deviasi minimum berurutan dari kecil ke besar: **merah - jingga - kuning - hijau - biru - nila - ungu**.
- Sudut dispersi (ϕ) adalah beda sudut deviasi minimum ungu dengan sudut deviasi minimum merah.

$$\begin{aligned}\varphi &= D_u - D_m \\ &= (n_u - 1) - (n_m - 1)\beta \\ &= (n_u - n_m)\beta\end{aligned}$$

n_u = indeks bias sinar ungu
 n_m = indeks bias sinar merah
 β = sudut prisma
 D_u = deviasi minimum ungu
 D_m = deviasi minimum merah

■ Percobaan Interferensi Thomas Young

Dengan membangkitkan sumber sinar koheren dengan menggunakan celah ganda. Hasil perpaduan (interferensi) berkas sinar adalah pola garis gelap terang pada layar.



- Interferensi maksimum (terang) terjadi:

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

- Interferensi minimum (gelap) terjadi:

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

$m = 1, 2, 3, \dots$

dengan:

d : jarak antar celah

θ : sudut antara terang pusat dengan terang ke- n

λ : panjang gelombang cahaya

Untuk sudut yang relatif kecil maka berlaku pendekatan:

$$\sin \theta \cong \frac{y_n}{L} = \tan \theta$$

y_n = jarak antara terang pusat dengan terang ke- n

L = jarak antara celah dan layar

■ Difraksi Celah Tunggal

Difraksi celah tunggal terjadi jika cahaya dirintangi oleh celah yang sempit.

- Interferensi maksimum terjadi jika:

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

$m = 1, 2, 3, \dots$

- Interferensi minimum terjadi jika:

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

$m = 1, 2, 3, \dots$

dengan d = lebar celah.

Untuk sudut yang relatif kecil maka berlaku pendekatan:

$$\sin \theta \cong \frac{y_n}{L} = \tan \theta$$

■ Difraksi pada Kisi (Celah Banyak)

Jika N menyatakan banyaknya garis (celah) per satuan panjang dan d adalah jarak antar kisi, maka:

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

- Interferensi maksimum (terang) terjadi:

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

$m = 0, 1, 2, \dots$

- Interferensi minimum terjadi jika:

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

$m = 1, 2, 3, \dots$

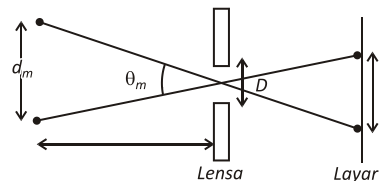
Untuk sudut yang relatif kecil maka berlaku pendekatan:

$$\sin \theta \cong \frac{y_n}{L} = \tan \theta$$

■ Jarak Terang/Gelap Berurutan

$$\Delta y = \frac{L}{d} \times \lambda$$

■ Perhitungan Difraksi pada Daya Urai Suatu Lensa



θ_m = sudut pemisah (sudut resolusi minimum)

Agar dua benda titik masih dapat dipisahkan secara tepat berlaku:

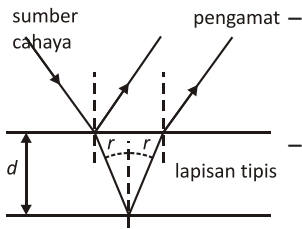
$$\sin \theta_m = 1,22 \frac{\lambda}{D}$$

Karena sudut θ_m sangat kecil, maka berlaku

$\sin \theta_m \cong \theta_m = \tan \theta_m = \frac{d_m}{L}$, sehingga persamaan menjadi:

$$\theta_m \cdot L = d_m = 1,22 \frac{\lambda \cdot L}{D}$$

■ Interferensi pada Lapisan Tipis



Interferensi maksimum:
 $2nd \cos r = (m - \frac{1}{2})\lambda$
 $m = 1, 2, \dots$

Interferensi minimum:
 $2nd \cos r = m\lambda$
 $m = 0, 1, 2, \dots$
 $n = \text{indeks bias lapisan tipis}$

■ Cincin Newton

- Interferensi maksimum (lingkaran terang) terjadi jika

$$n \cdot r_t^2 = (m - \frac{1}{2}) \cdot \lambda \cdot R$$

$m = 1, 2, 3, \dots$

$r_t = \text{jari-jari lingkaran terang ke-} m$

$n = \text{indeks bias medium}$

- Interferensi minimum (lingkaran gelap) terjadi jika:

$$n \cdot r_g^2 = m \cdot \lambda \cdot R$$

$m = 0, 1, 2, 3, \dots$

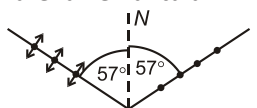
$r_g = \text{jari-jari lingkaran gelap ke-} m$

$n = \text{indeks bias medium}$

E. POLARISASI CAHAYA

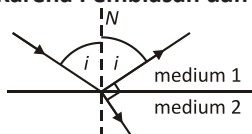
- Polarisasi** adalah proses penyerapan sebagian arah getar gelombang transversal.
- Akibat polarisasi, cahaya merambat dengan arah getar tertentu saja, sedang arah getar lain terserap atau terkurangi.

■ Polarisasi Karena Pemantulan



Sudut sinar datang yang menyebabkan cahaya terpolarisasi seperti pada gambar adalah 57° .

■ Polarisasi Karena Pembiasan dan Pemantulan



- Polarisasi dapat terjadi antara sudut sinar bias dan sinar pantul siku-siku $= 90^\circ$.
- Sudut datang yang menjadi sinar ini terpolarisasi disebut sudut Brewster (i_p).

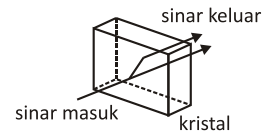
$$\tan i_p = \frac{n_2}{n_1}$$

$n_1 = \text{indeks bias medium 1}$

$n_2 = \text{indeks bias medium 2}$

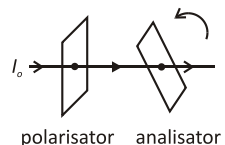
■ Polarisasi Karena Pembiasan Ganda

Polarisasi yang terjadi jika sinar dilewatkan pada sebuah bahan yang an-isotropik (arah perjalanan cahaya di setiap titik di dalam bahan tersebut tidak sama).



■ Polarisasi Karena Penyerapan Selektif

- Proses ini menggunakan dua lensa, polarisator, dan analisator.
- Mula-mula cahaya dilewatkan polarisator sehingga terpolarisasi. Untuk melihat bahwa cahaya tersebut terpolarisasi maka digunakan keping yang sama sebagai analisator. Dengan memutar analisator pada sumbu antara kedua keping dapat teramati penurunan intensitas karena telah terjadi penyerapan.



$$I = \frac{1}{2} I_0 \cos^2 \theta$$

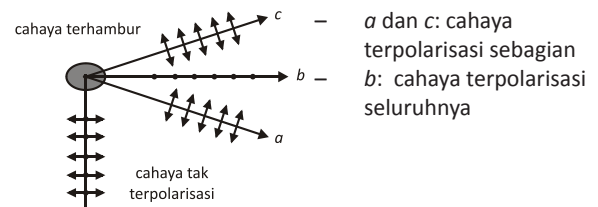
$I = \text{intensitas cahaya setelah melalui analisator}$

$I_0 = \text{intensitas cahaya setelah melalui polarisator}$

$\theta = \text{sudut antara analisator dan polarisator}$

■ Polarisasi Karena Hamburan

- Polarisasi juga dapat terjadi ketika cahaya tak terpolarisasi dilewatkan pada bahan, kemudian cahaya tersebut dihamburkan.



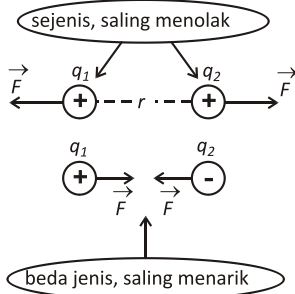
- a dan c : cahaya terpolarisasi sebagian
- b : cahaya terpolarisasi seluruhnya

- Contoh: cahaya matahari dihamburkan oleh molekul-molekul di atmosfer, hingga langit terlihat biru, karena cahaya biru paling banyak dihamburkan.

BAB 9

LISTRIK STATIS

A. HUKUM COULOMB



Besar gaya:

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

Jika tidak dalam ruang hampa, maka:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_r \cdot \epsilon_0}$$

ϵ_0 = permitivitas listrik dalam hampa

ϵ_r = permitivitas relatif bahan (di hampa $\epsilon_r = 1$)

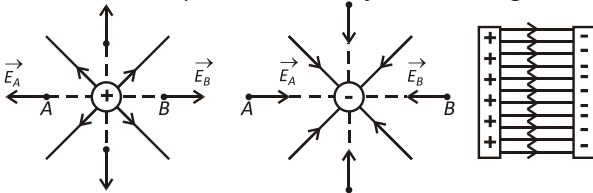
B. MEDAN LISTRIK DAN KUAT MEDAN LISTRIK

Medan Listrik: daerah dimana gaya listrik masih terjadi.

Kuat medan: $E = \frac{F}{q}$ atau **Gaya listrik:** $F = q \cdot E$

E : kuat medan listrik, merupakan besaran vektor.

Medan listrik merupakan vektor, arah \vec{E} menjauhi muatan sumber positif dan menuju muatan negatif.



1. Hukum Gauss

Fluks listrik total yang menembus suatu permukaan tertutup sama dengan jumlah aljabar muatan-muatan listrik yang dilingkupi oleh permukaan tertutup itu dibagi dengan permitivitas udara ϵ_0 .

$$\Phi = EA \cos \theta = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$$

E = kuat medan listrik, (N/C)

A = luas permukaan tertutup, (m^2)

Φ = fluks listrik

θ = sudut antara \vec{E} dan garis normal luasan

$\sum q$ = muatan total yang dilingkupi oleh permukaan tertutup

2. Energi Potensial Listrik

$$EP = k \frac{q \cdot q'}{r}$$

3. Potensial Listrik

$$V = \frac{EP}{q} \Leftrightarrow EP = q \cdot V$$

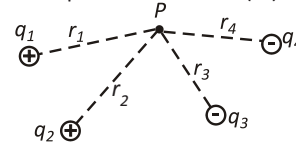
Potensial oleh muatan titik potensial:

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

V = potensial listrik pada jarak r dari muatan sumber (V)

q = muatan sumber (C)

r = jarak titik terhadap muatan sumber (m)



Potensial listrik di titik P yang ditimbulkan oleh 4 muatan sumber q_1, q_2, q_3 dan q_4 ditulis:

$$V_P = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 \\ = k \frac{q_1}{r_1} + k \frac{q_2}{r_2} - k \frac{q_3}{r_3} - k \frac{q_4}{r_4}$$

4. Usaha Untuk Memindahkan Muatan

$$W_{PQ} = q(V_2 - V_1) \\ = q \cdot \Delta V$$

5. Medan dan Potensial Listrik Beberapa Keadaan

■ Pada konduktor keping sejajar

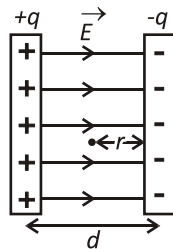
Rapat muatannya:

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

Kuat medan listrik antara keping:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

Kuat medan di luar keping: $E = 0$



- Potensial listrik di antara kedua keping ($0 < r \leq d$):

$$V = E \cdot r$$

- Potensial listrik di luar keping ($r > d$):

$$V = E \cdot d$$

■ Pada konduktor bola logam berongga

Bila konduktor bola berongga dimuati, maka muatan pada konduktor bola berongga akan menyebar di permukaan bola, sedang di dalam bola tidak ada muatan.

Kuat medan listrik:

- di dalam bola ($r < R$): $E = 0$
- di luar bola serta kulit ($r \geq R$):

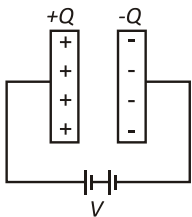
$$E = k \frac{q}{r^2}$$

R = jari-jari bola

Potensial listrik:

- di dalam bola: $V = k \frac{q}{R}$
- di luar bola serta di kulit: $V = k \frac{q}{r}$

C. KAPASITOR



Perbandingan antara Q dan V disebut kapasitansi kapasitor, yang diberi lambang C .

$$C = \frac{Q}{V}$$

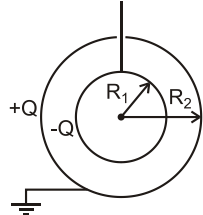
Q = besar muatan pada tiap-tiap keping (Q)
 V = beda potensial antara kedua keping (V)

■ Kapasitas Kapasitor

$$C_o = \frac{\epsilon_r \epsilon_o A}{d}$$

- A = luas tiap keping, (m^2)
- d = jarak antar keping, (m)
- ϵ_o = permitivitas listrik dalam vakum/udara
- ϵ_r = permitivitas relatif bahan

■ Untuk Bola



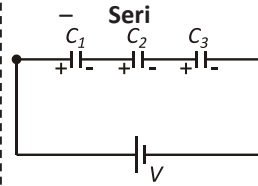
Beda potensial diberikan:

$$\Delta V = V_1 - V_2 = kQ \left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$$

$$C = \frac{R_2 R_1}{k(R_2 - R_1)} = \frac{4\pi \epsilon_o R_2 R_1}{R_2 - R_1}$$

Untuk yang hanya terdiri 1 bola konduktor saja, maka bisa dianggap $R_2 = \infty$.

■ Susunan Kapasitor



Beda potensial totalnya adalah:

$$V = V_1 + V_2 + V_3$$

$$V = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) \cdot Q$$

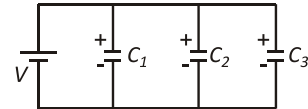
Dengan demikian pada rangkaian seri berlaku perbandingan tegangan:

$$V_1 : V_2 : V_3 = \frac{1}{C_1} : \frac{1}{C_2} : \frac{1}{C_3}$$

Dan didapat Kapasitas ekivalennya adalah:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

■ Paralel



Dengan demikian muatan totalnya adalah:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n$$

$$Q = (C_1 + C_2 + C_3 + \dots + C_n) \cdot V$$

Kapasitas ekivalennya adalah:

$$C = \frac{Q}{V} = C_1 + C_2 + C_3$$

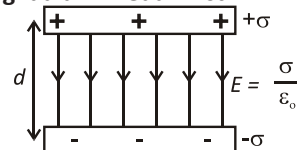
■ Energi yang Tersimpan dalam Kapasitor

Salah satu fungsi kapasitor adalah untuk menyimpan energi:

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

Karena $Q = CV$ maka: $W = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$

■ Rapat Energi dalam Medan Listrik



Hasil bagi antara W dan V disebut rapat energi listrik u_e . Jadi:

$$u_e = \frac{W}{V} = \frac{1}{2} \epsilon_o E^2$$

u_e = rapat energi listrik (J/m^3)

ϵ_o = permitivitas listrik dalam vakum (C^2/Nm^2)

E = kuat medan listrik (N/C)

Arus listrik adalah aliran dari elektron-elektron bebas dari suatu potensial rendah ke tinggi (dapat juga aliran muatan).

$$I = \frac{\Delta Q}{t}$$

I = kuat arus (A)

ΔQ = besar perubahan muatan (C)

t = waktu (s)

- Arah aliran muatan negatif berlawanan dengan arah arus listrik yang ditimbulkan.
- Arah aliran muatan positif searah dengan arah arus listrik yang ditimbulkan.

Dari percobaan oleh Ohm bahwa perbandingan antara beda potensial dengan kuat arus listrik nilainya selalu konstan, nilai tersebut disebut hambatan:

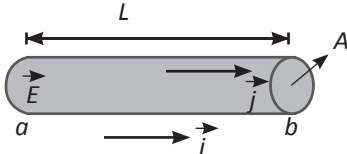
$$R = \frac{V}{I} \Leftrightarrow V = I \cdot R$$

V = beda potensial listrik (V)

I = kuat arus listrik (A)

R = hambatan (Ω)

Secara fisiknya hambatan dapat dicari, perhatikan gambar penghantar kawat homogen berikut ini.



Untuk penghantar kawat homogen dan berpenampang lintang sama, besaran $\rho \frac{L}{A}$ disebut hambatan penghantar. Jadi:

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

ρ = hambatan jenis bahan logam (Ω m),

L = panjang penghantar (m),

A = luas penampang lintang penghantar (m^2),

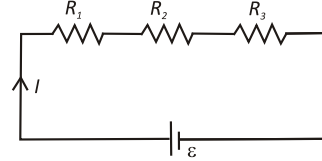
R = hambatan penghantar (Ω).

Nilai hambatan penghantar logam dapat berubah dikarenakan perubahan suhu:

$$R_t = R_o (1 + \alpha \cdot \Delta T)$$

Susunan Penghambat

Susunan Seri



$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

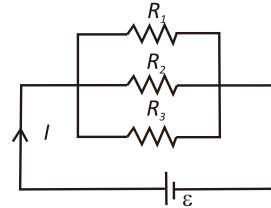
Sifat:

Arus: $I_{total} = I_1 = I_2 = I_3$

Hambatan: $\frac{V_{total}}{R_{total}} = \frac{V_1}{R_1} = \frac{V_2}{R_2} = \frac{V_3}{R_3}$

Beda potensial: $V_{total} = \varepsilon = V_1 + V_2 + V_3$

Susunan Paralel



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

Sifat:

Arus: $I_{total} = I_1 + I_2 + I_3$

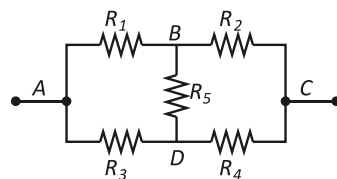
Perbandingan arus: $I_1 : I_2 : I_3 = \frac{1}{R_1} : \frac{1}{R_2} : \frac{1}{R_3}$

Beda potensial

$V_{total} = \varepsilon = V_1 = V_2 = V_3$

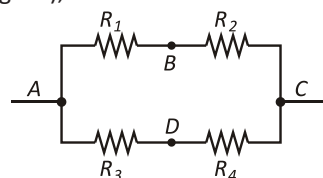
$(I_{total})(R_{total}) = I_1 R_1 = I_2 R_2 = I_3 R_3$

Susunan Jembatan Wheatstone

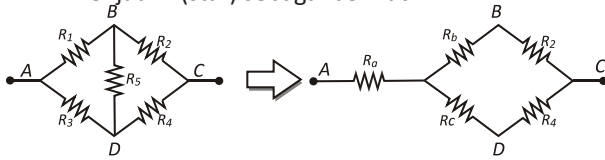


Cara menentukan hambatan ekuivalen pada susunan (rangkaian) jembatan Wheatstone.

Jika $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$, maka R_5 tidak berfungsi (dapat dihilangkan),



Jika $R_1 \cdot R_4 \neq R_2 \cdot R_3$, maka hambatan ekuivalennya dapat diselesaikan dengan transformasi Δ (delta) menjadi Y (star) sebagai berikut.



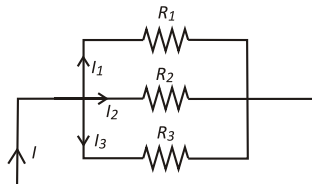
Dengan nilai-nilai R_a , R_b dan R_c sebagai berikut.

$$R_a = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_3 + R_5}; R_b = \frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_3 + R_5}; R_c = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_1 + R_3 + R_5}$$

■ Hukum Kirchhoff

1. Hukum I Kirchhoff

"Jumlah aljabar kuat arus listrik yang melalui titik cabang sama dengan nol."



Tanda positif (+) jika arah arus listrik menuju ke titik cabang.

Tanda negatif (-) jika arah arus listrik meninggalkan titik cabang yang sama.

$$\sum I = 0 \rightarrow I - I_1 - I_2 - I_3 = 0 \quad I = I_1 + I_2 + I_3$$

2. Hukum 2 Kirchhoff

"Dalam rangkaian tertutup (loop) jumlah aljabar GGL (ε) dan jumlah penurunan potensial (IR) sama dengan nol."

$$\sum IR + \sum \varepsilon = 0$$

Ketentuan tanda untuk ε dan I :

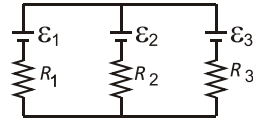
$\varepsilon = (+)$, jika gerak mengikuti arah loop bertemu dengan kutub (+) sumber tegangan terlebih dahulu.

$\varepsilon = (-)$, jika gerak mengikuti arah loop bertemu dengan kutub (-) sumber tegangan terlebih dahulu.

$I = (+)$, jika arah loop searah dengan arah arus.

$I = (-)$, jika arah loop berlawanan dengan arah arus.

Untuk rangkaian berikut dapat juga digunakan aturan loop, namun perhitungan akan panjang sehingga dapat juga digunakan rumus praktis untuk mencari arus.



$$I_2 = \frac{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)R_3 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_2)R_1}{R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_3}$$

■ Alat Ukur Listrik

1. Amperemeter

Batas ukur amperemeter dapat diperbesar n kali dengan menambahkan suatu hambatan paralel, disebut hambatan Shunt.

$$R_{sh} = \frac{1}{(n-1)} \cdot R_A$$

R_A = hambatan dalam amperemeter
 R_{sh} = hambatan shunt

2. Voltmeter

Batas ukur voltmeter dapat diperbesar dengan menambahkan suatu hambatan secara seri, disebut hambatan depan.

$$R_D = (n-1)R_v$$

R_v = hambatan dalam voltmeter
 R_D = hambatan depan
 n = pengali (kelipatan)

■ Energi dan Daya Listrik

– Energi Listrik

$$W = V \cdot I \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{V^2}{R} \times t$$

V : beda potensial, (V)

I : kuat arus listrik, (A)

R : hambatan listrik, (Ω)

t : waktu, (s)

– Daya Listrik

$$P = \frac{W}{t} = V \cdot I = \frac{V^2}{R} = I^2 \cdot R$$

Untuk alat dengan spesifikasi P_t watt, V_t volt, yang dipasang pada tegangan V ($V \neq V_t$), maka daya yang diserap alat:

$$P = \left(\frac{V}{V_t} \right)^2 \cdot P_t$$

P = daya listrik yang diserap

V = tegangan yang dipakai

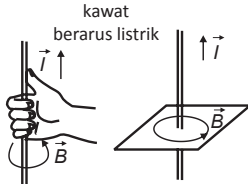
V_t = tegangan tertulis

P_t = daya tertulis

A. MEDAN MAGNET

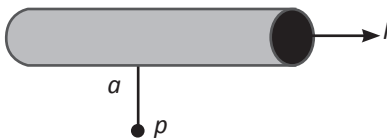
Medan Magnet di sekitar Kawat Berarus Listrik

Gunakan kaidah tangan kanan I seperti digambarkan di bawah:



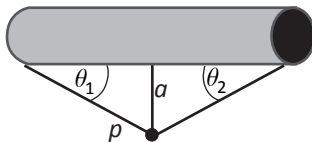
Kuat Medan Magnet

Kawat Berarus Listrik yang Panjangnya Tak Berhingga



$$B_p = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi a} \quad \mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Tm/A}$$

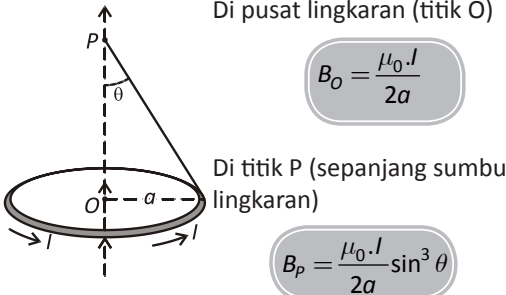
Kawat Berarus Listrik yang Panjangnya Berhingga



$$B_p = \frac{\mu_0 \cdot I}{4\pi \cdot a} (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)$$

Kuat Medan Magnet oleh Kawat Melingkar

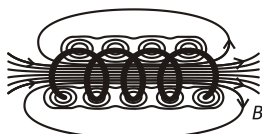
Di pusat lingkaran (titik O)



$$B_0 = \frac{\mu_0 \cdot I}{2a}$$

$$B_p = \frac{\mu_0 \cdot I}{2a} \sin^3 \theta$$

Kuat Medan Magnet oleh Solenoida



Solenoida adalah kumparan yang cukup panjang. Kuat medan induksi magnet adalah:
Di pusat solenoida: $B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{L}$
Di salah satu ujung: $B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2L}$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{L}$$

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2L}$$

N : jumlah lilitan solenoida
 L : panjang solenoid

Kuat Medan Induksi Magnet pada Toroida

Toroida adalah solenoida yang dibengkokkan hingga membentuk lingkaran. Kuat medan magnet dalam toroida yang berjarak r dari pusat lingkaran adalah:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I \cdot N}{2\pi r}$$

B. GAYA LORENTZ

Gaya Lorentz pada Kawat Berarus

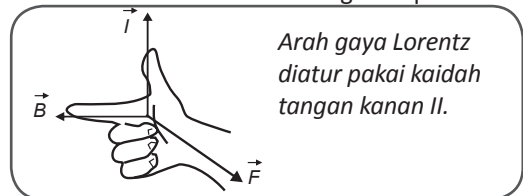
$$F_L = B \cdot I \cdot L \sin \theta$$

θ = sudut antara B dan I

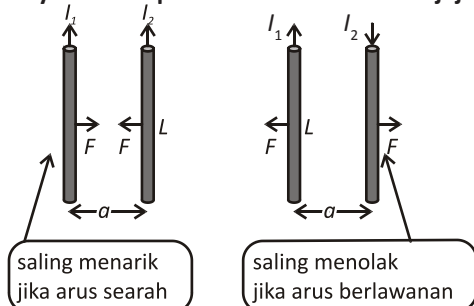
Gaya Lorentz pada Partikel Bermuatan

$$F_L = q \cdot v \cdot B \sin \theta$$

θ = sudut antara B dan arah gerak q



Gaya Lorentz pada Dua Kawat Lurus Sejajar



saling menarik jika arus searah

saling menolak jika arus berlawanan

$$\frac{F}{L} = \frac{\mu_0 \cdot I_1 \cdot I_2}{2\pi \cdot a}$$

■ Gerak melingkar muatan pada medan magnet homogen

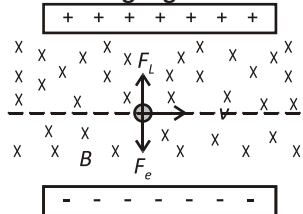
Bila partikel bermuatan bergerak dalam medan magnet homogen secara tegak lurus, maka yang terjadi partikel akan bergerak dengan lintasan melingkar. Jari-jari lintasan diberikan:

$$R = \frac{m \cdot v}{q \cdot B}$$

Jika muatan dipercepat dengan beda potensial ΔV maka:

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2 \cdot m \cdot (\Delta V)}{q}}$$

■ Gerak lurus muatan pada medan magnet dan listrik saling tegak lurus



$$v = \frac{E}{B}$$

BAB 12

INDUKSI ELEKTROMAGNETIK

A. FLUKS MAGNETIK

Fluks magnetik adalah banyaknya garis-garis magnet yang menembus secara tegak lurus pada suatu luasan.

$$\Phi_m = \vec{B} \cdot \vec{A} = B \cdot A \cdot \cos(\theta)$$

A = luas permukaan,

α = sudut antara vektor B dengan garis normal A .

B. HUKUM FARADAY DAN HUKUM LENZ

Hukum Imbas Faraday

Gaya gerak listrik (GGL) dalam sebuah rangkaian sebanding dengan laju perubahan fluks yang melalui rangkaian tersebut.

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi}{dt}$$

Untuk GGL rata-rata: $\bar{\varepsilon} = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$

N : banyaknya lilitan

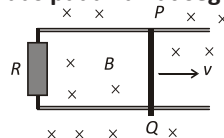
Tanda negatif (–) menunjukkan fluks yang muncul melawan perubahan. Seperti dijelaskan pada hukum Lenz.

Hukum Lenz

“Arus imbas akan muncul di dalam arah yang sedemikian rupa sehingga arah tersebut menentang perubahan yang menghasilkannya.”

C. PENERAPAN HUKUM FARADAY DAN HUKUM LENZ

■ Perubahan luas pada kawat segiempat



Bila kawat PQ digeser ke kanan, maka luasan segiempat akan berubah (bertambah besar/ berkurang) → Fluks juga berubah → timbul GGL:

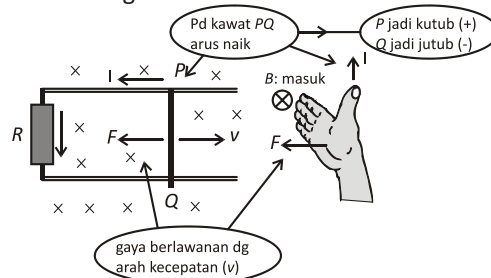
$$\varepsilon = -\ell \cdot B \cdot v$$

B = kuat medan magnet (T),

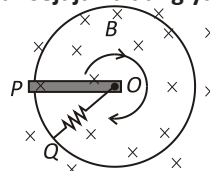
ℓ = panjang kawat PQ ,

v = laju gerak kawat PQ (m/s).

Untuk menentukan arah arus dapat diatur dengan kaidah tangan kanan II



■ Kawat diputar sejajar bidang yang tegak lurus B



Bila kawat OP diputar maka luasan juring OPQ akan berubah \rightarrow Fluks juga berubah \rightarrow timbul GGL. Besarnya:

$$\varepsilon = \frac{B \cdot \pi \cdot \ell^2}{T}$$

ℓ = panjang kawat OP (jari-jari)
 T = periode (waktu 1 kali putar)

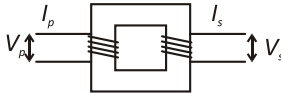
■ Generator AC

Pembuatan generator AC didasari pada konsep perubahan fluks magnetik akibat perubahan sudut.

$$\varepsilon = NBA\omega \sin(\omega t)$$

Besarnya GGL maksimum: $\varepsilon = NBA\omega$
 ω = laju putaran sudut

■ Transformator



$$\frac{V_s}{V_p} = \frac{N_s}{N_p}$$

- N_p dan N_s = jumlah lilitan pada kumparan primer dan sekunder,
- V_p dan V_s = Tegangan primer dan sekunder.

Efisiensi trafo diberikan:

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} = \frac{V_s \cdot I_s}{V_p \cdot I_p}$$

P_p = daya kumparan primer (watt),
 P_s = daya kumparan sekunder (watt).

■ Induktansi Diri

$$\varepsilon_{ind} = -L \frac{dI}{dt} \quad \text{atau} \quad \bar{\varepsilon}_{ind} = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

L = induktansi diri (henry),
 1 henry = 1 volt.detik/ampere.

Untuk solenoida atau toroida:

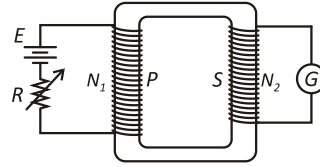
$$L = \frac{\mu_r \mu_0 N^2 A}{\ell}$$

N = jumlah lilitan solenoida atau toroida,
 A = luas penampang solenoida atau toroida (m^2),
 ℓ = panjang solenoida atau keliling toroida (m),
 μ_r = permeabilitas relatif bahan ; $\mu_r = 1$ (untuk hampa).

Energi yang tersimpan dalam solenoida atau toroida adalah:

$$W = \frac{1}{2} L I^2$$

■ Induktansi Bersama/Silang



GGL yang timbul pada kumparan primer (ε_1) maupun sekunder (ε_2) akibat fluks pada kumparan primer/sekunder disebut **induksi silang** atau **induksi timbal balik**.

Besarnya GGL induksi adalah:

- Di kumparan 1:

$$\varepsilon_1 = -N_1 \frac{d\Phi_{12}}{dt} = -M_{12} \frac{dI_2}{dt}$$

- Di kumparan 2:

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{d\Phi_{21}}{dt} = -M_{21} \frac{dI_1}{dt}$$

N_1 = jumlah lilitan di kumparan 1,
 N_2 = jumlah lilitan di kumparan 2,
 $d\Phi_{12}$ = perubahan fluks, timbul oleh kumparan 2 di kumparan 1,
 $d\Phi_{21}$ = perubahan fluks, timbul oleh kumparan 1 di kumparan 2,
 dI_1 = perubahan arus di kumparan 1 (A),
 dI_2 = perubahan arus di kumparan 2 (A),
 M_{12} = induktansi bersama dari kumparan 1 terhadap kumparan 2,
 M_{21} = induktansi bersama dari kumparan 2 terhadap kumparan 1.

Besar induktansi bersama:

$$M_{12} = \frac{N_1 \cdot \Phi_{12}}{I_2} = \frac{\mu_0 N_1 \cdot N_2 \cdot A_1}{\ell_2}$$

$$M_{21} = \frac{N_2 \cdot \Phi_{21}}{I_1} = \frac{\mu_0 N_1 \cdot N_2 \cdot A_2}{\ell_1}$$

D. ARUS AC

■ Sumber arus dan tegangan AC

$\varepsilon = NBA\omega \sin(\omega t) = \varepsilon_{\max} \cdot \sin(\omega t)$ atau lebih sering ditulis:

$$V = V_{\max} \cdot \sin(\omega t)$$

$$I = I_{\max} \cdot \sin(\omega t)$$

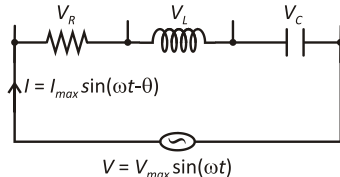
■ Nilai rata-rata arus dan tegangan bolak-balik

$$I_r = \frac{2 \cdot I_{\text{maks}}}{\pi} \text{ dan } V_r = \frac{2 \cdot V_{\text{maks}}}{\pi}$$

■ Nilai efektif arus dan tegangan bolak-balik

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_{\text{maks}}}{\sqrt{2}} \text{ dan } V_{\text{eff}} = \frac{V_{\text{maks}}}{\sqrt{2}}$$

■ Rangkaian seri R, L, dan C



$$V_R = V_{R-\text{max}} \sin(\omega t - \theta)$$

$$V_L = V_{L-\text{max}} \sin(\omega t - \theta + 90^\circ)$$

$$V_C = V_{C-\text{max}} \sin(\omega t - \theta - 90^\circ)$$

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2}$$

Karena pada rangkaian seri → arus sama besar maka:

$$I \cdot Z = \sqrt{(I \cdot R)^2 + ((I \cdot X_L) - (I \cdot X_C))^2}$$

- X_L reaktansi induktif (nilai hambatan pada induktor)

$$X_L = \omega \cdot L$$

- X_C reaktansi kapasitif (nilai hambatan pada induktor)

$$X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

- Z = Impedansi (nilai hambatan total)

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

- Fasa antara arus dan tegangannya adalah:

$$\cos \theta = \frac{R}{Z}$$

Ketika $X_L = X_C$ hal ini disebut keadaan "RESONANSI", yang terjadi ketika frekuensi (f) tegangan AC adalah:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC}}$$

■ Daya pada rangkaian arus bolak-balik

- Daya sesaat:

$$P = V_{\text{maks}} I_{\text{maks}} \left(\cos \theta \sin^2 \omega t + \frac{1}{2} \sin \theta \sin 2\omega t \right)$$

- Daya Rata-rata:

$$\bar{P} = \frac{1}{2} V_{\text{maks}} I_{\text{maks}} \cos \theta \text{ atau } \bar{P} = V_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cos \theta$$

$\cos \theta$ = faktor daya.

BAB 13

MEKANIKA FLUIDA

A. TEKANAN

1. Pengertian Tekanan

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

F = besar gaya yang tegak lurus bidang tekanan (N),

A = luas bidang tekanan (m^2),

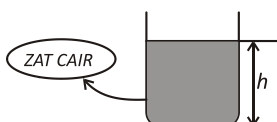
P = tekanan (N/m^2).

Satuan tekanan: atmosfer (atm) atau Pa (pascal) = N/m^2 (SI).

$$1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pa} \text{ dan}$$

$$1 \text{ atm} = 76 \text{ cmHg} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$$

2. Tekanan Hidrostatik



Tekanan pada dasar bejana yang disebabkan oleh berat zat cair yang diam di atasnya dinamakan *tekanan hidrostatik*, yang dirumuskan:

$$p_h = \frac{w}{A} = \rho \cdot g \cdot h$$

ρ = massa jenis zat cair (kg/m^3),

g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2),

h = kedalaman zat cair dari permukaannya (m),

p_h = tekanan hidrostatik pada kedalaman h (N/m^2).

Tekanan mutlak (total) pada kedalaman h dari permukaan zat cair adalah:

$$p_M = p_o + \rho \cdot g \cdot h$$

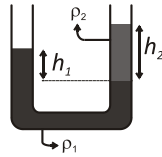
p_o = tekanan atmosfer

■ Hukum Pokok Hidrostatik

$$P_1 = P_2$$

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

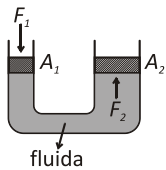
$$\rho_1 \cdot h_1 = \rho_2 \cdot h_2$$



- ρ_m = massa jenis minyak (kg/m^3)
 ρ_a = massa jenis air (kg/m^3)
 h_m = ketinggian minyak (m)
 h_a = beda tinggi kaki kiri dan kanan

3. Hukum Pascal

"Tekanan yang diberikan pada suatu zat cair yang ada di dalam ruang tertutup diteruskan ke segala arah dengan sama besar."



$$P_2 = P_1$$

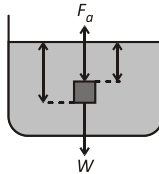
$$\frac{F_2}{A_2} = \frac{F_1}{A_1}$$

4. Hukum Archimedes

"Sebuah benda yang tercelup ke dalam zat cair (fluida) mengalami gaya apung yang besarnya sama dengan berat zat cair yang dipindahkannya."

$$F_a = \rho \cdot g \cdot V$$

- ρ = massa jenis air (kg/m^3),
 g = percepatan gravitasi bumi (m/s^2),
 V = volume benda yang tercelup (m^3),
 F_a = gaya apung = gaya Archimedes (N).



Akibatnya berat benda di dalam zat cair lebih kecil daripada beratnya di udara.

$$w_f = w - F_a$$

- w = berat benda di udara
 w_f = berat benda di dalam zat cair
 F_a = gaya apung

- Benda akan tenggelam, jika $\rho_{\text{benda}} > \rho_{\text{zat cair}}$
- Benda akan melayang, jika $\rho_{\text{benda}} = \rho_{\text{zat cair}}$
- Benda akan terapung, jika $\rho_{\text{benda}} < \rho_{\text{zat cair}}$

Pada kasus terapung berlaku:

$$\rho_{\text{benda}} \cdot V_{\text{benda}} = \rho_{\text{cair}} \cdot V_{\text{celup}}$$

5. Tegangan Permukaan

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

Keterangan:

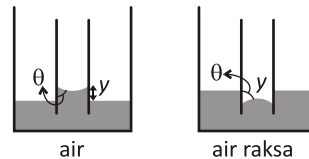
- F = gaya permukaan (N),
 ℓ = panjang permukaan (m),
 γ = tegangan permukaan (N/m).

Peristiwa terkait tegangan permukaan:

- Permukaan zat cair cenderung mempunyai luas yang sekecil-kecilnya. *Contoh:* Tetesan air hujan cenderung berbentuk bola.
- Permukaan zat cair cenderung mirip kulit elastis yang liat. *Contoh:* Nyamuk dapat hinggap di permukaan air.

6. Kapilaritas

Kapilaritas adalah gejala naik turunnya permukaan zat cair di dalam pembuluh yang sempit (pipa kapiler).



$$y = \frac{2\gamma \cos \theta}{\rho g r}$$

Keterangan:

- y = selisih tinggi permukaan zat cair (m),
 γ = tegangan permukaan (Nm^{-1}),
 ρ = massa jenis zat cair (kg/m^3),
 g = percepatan gravitasi (m/s^2),
 r = jari-jari pipa kapiler (m).

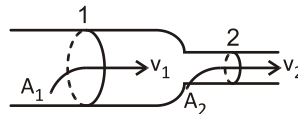
B. FLUIDA

1. Fluida Bergerak

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

- V = volume (m^3)
 v = laju aliran (m/s)
 Q = debit (m^3/s)
 t = waktu (sekon)
 A = luas (m^2)

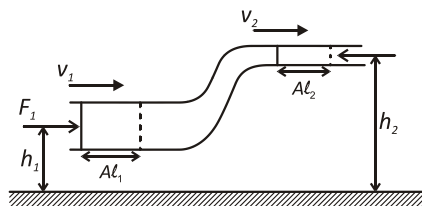
2. Persamaan Kontinuitas



$$Q_1 = Q_2$$

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

3. Persamaan Bernoulli



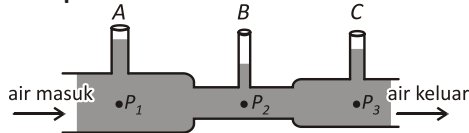
Berlaku:

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

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

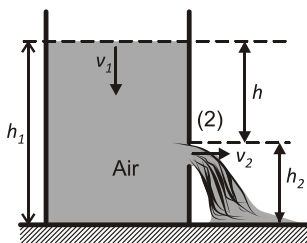
Penggunaan Persamaan Bernoulli

1. Pipa mendatar



Karena $v_1 < v_3 < v_2$ maka berlaku: $P_1 > P_3 > P_2$

2. Bejana dengan Lubang Aliran



$$v_2 = \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h}$$

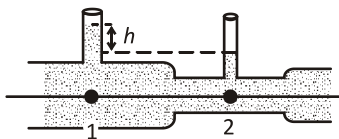
$$x = 2\sqrt{h(h_2)}$$

3. Venturimeter

Digunakan untuk mengukur laju aliran fluida.

Ada 2 jenis venturimeter, yaitu:

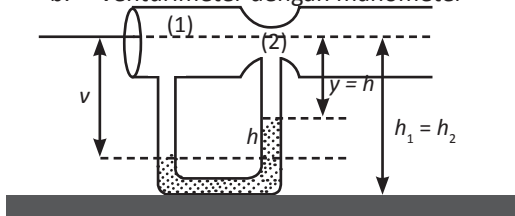
a. Venturimeter tanpa manometer



Laju aliran fluida di bagian pipa besar:

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

b. Venturimeter dengan manometer



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

A_1 = luas penampang tabung (1) (m^2),

A_2 = luas penampang tabung pada bagian (2) (m^2),

v_1 = kecepatan zat cair yang melewati A_1 (m/s),
 v_2 = kecepatan zat cair yang melewati A_2 (m/s),
 h = selisih tinggi zat cair di dalam pipa U (m),
 g = percepatan gravitasi (m/s^2),
 ρ = massa jenis zat cair di dalam tabung aliran (kg/m^3).

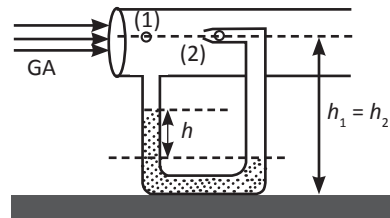
Pada venturimeter dengan manometer

ρ = massa jenis zat cair di dalam pipa U, (sering pakai Hg) (kg/m^3). Untuk mencari v_1 dapat digunakan rumus:

$$A_1 \cdot v_1 = A_2 \cdot v_2$$

4. Tabung Pitot

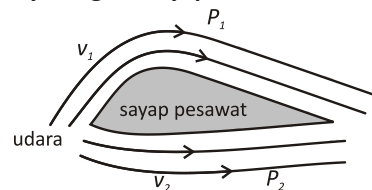
Tabung Pitot adalah alat untuk mengukur laju aliran gas. Ditunjukkan gambar berikut ini.



$$v_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot h \cdot (\rho')}{\rho}}$$

v_1 = laju gas dalam pipa aliran (ms^{-1}),
 ρ = massa jenis gas (kgm^{-3}),
 ρ' = massa jenis air raksa (kgm^{-3}),
 g = percepatan gravitasi (ms^{-2}),
 h = selisih tinggi permukaan air raksa (m).

5. Gaya Angkat Sayap Pesawat Terbang



Haruslah berlaku:

$$v_1 > v_2 \text{ dan } P_1 < P_2$$

Gaya angkat sayap:

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

F = gaya angkat sayap pesawat terbang (N),

P_2 = tekanan di bawah sayap (Nm^{-2}),

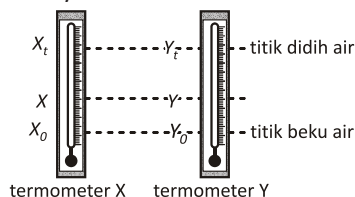
P_1 = tekanan di atas sayap (Nm^{-2}),

A = luas total bidang di bawah sayap (m^2).

BAB 14 ZAT DAN KALOR

A. SUHU

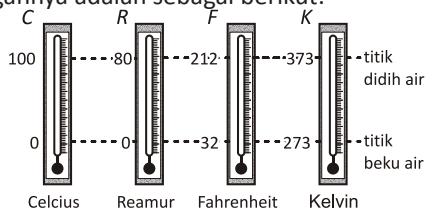
Hubungan antara skala termometer yang satu dengan lainnya diberikan:



$$\frac{X - X_0}{X_t - X_0} = \frac{Y - Y_0}{Y_t - Y_0}$$

- X : suhu yang ditunjukkan termometer X,
- Y : suhu yang ditunjukkan termometer Y.

Untuk skala **Celcius, Fahrenheit, Reamur, dan Kelvin** hubungannya adalah sebagai berikut:



$$C : R : (F - 32) = 5 : 4 : 9$$

$$K = 273 + C$$

B. PEMUAIAN

Kebanyakan zat memuai jika dipanaskan dan menyusut ketika didinginkan. Memuai berarti bertambah panjang, bertambah luas, dan bertambah volume.

1. Pemuaian Panjang

$$\Delta L = \alpha \cdot L_0 \cdot \Delta T$$

- L_0 = panjang mula-mula, (m)
 - ΔL = perubahan panjang, (m)
 - ΔT = perubahan suhu, (K atau $^{\circ}\text{C}$)
 - α = koefisien muai panjang, (/K atau $^{\circ}\text{C}$)
- Setelah suhu naik ΔT , panjangnya menjadi:
- $$L = L_0 + \Delta L$$

2. Pemuaian Luas

$$\Delta A = \beta \cdot A_0 \cdot \Delta T$$

- A_0 = luas mula-mula (m^2),
- ΔA = perubahan luas (m^2),
- β = koefisien muai luas (/K atau $^{\circ}\text{C}$), $\beta = 2\alpha$.

Setelah suhu naik ΔT , luasnya menjadi:

$$A = A_0 + \Delta A$$

3. Pemuaian Volume

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

- V_0 = volume mula-mula (m^3),
- ΔV = perubahan volume (m^3),
- ΔT = perubahan suhu ($^{\circ}\text{C}$),
- γ = koefisien muai volume (/ $^{\circ}\text{C}$), $\gamma = 3\alpha$.

Setelah suhu naik ΔT , luasnya menjadi:

$$V = V_0 + \Delta V$$

Hukum pada Pemuaian Gas

Hukum Boyle–Gay Lussac

“Perbandingan antara hasil kali tekanan dan volume gas dengan suhu mutlaknya (satuan Kelvin) adalah konstan.”

$$\frac{P \cdot V}{T} = \text{tetap}$$

Jika pada suhu T_1 volume gas V_1 dan tekanannya P_1 dan pada suhu T_2 volume gas V_2 dan tekanannya P_2 maka berlaku:

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

C. KALOR

1. Kalor Menaikkan/Menurunkan Suhu

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

- m = massa benda (kg, gr),
- c = kalor jenis benda (J/kg K; kal/gr K),
- ΔT = perubahan suhu.

suhu naik → kalor diserap/diterima
suhu turun → kalor dilepas

2. Kalor Perubahan Wujud

$$Q = m \cdot L$$

- m = massa benda (kg, gr),
- L = kalor Laten/kalor lebur/kalor uap (J/kg; kal/gr).

Mencair, menguap → kalor diserap
Membeku, mengembun → kalor dilepas

3. Asas Black

$$\sum Q_{\text{lepas}} = \sum Q_{\text{diserap}}$$

D. PERPINDAHAN KALOR

Ada 3 cara perpindahan kalor, yaitu:

1. *Konduksi* (hantaran/rambatan) → biasa pada zat padat.
2. *Konveksi* (aliran) → biasa pada zat cair dan gas.
3. *Radiasi* (pancaran) → tanpa zat perantara.

1. Laju Perpindahan Kalor secara Konduksi

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

Q/t : laju kalor secara konduksi (J/s),

k : Konduktivitas (koefisien konduksi) termal zat, (W/m K),

A : luas penampang lintang (m^2),

ΔT : selisih suhu antara ujung-ujung zat padat (K),

L : panjang (tebal) zat padat (m).

Pada persambungan 2 konduktor berlaku laju rambatan kalor sama



$$h_x = h_y$$
$$k_x \frac{A_x \cdot (T_x - T)}{L_x} = k_y \frac{A_y \cdot (T - T_y)}{L_y}$$

2. Laju Perpindahan Kalor secara Konveksi

$$\frac{Q}{t} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

Q/t : laju kalor secara konveksi (J/s atau W),

A : luas permukaan benda yang kontak dengan fluida (m^2),

ΔT : beda suhu antara benda dan fluida ($^{\circ}\text{C}$ atau K),

h : koefisien konveksi (J/s m^2K).

3. Laju Perpindahan Kalor secara Radiasi

$$P = \frac{Q}{t} = e \sigma A T^4$$

P : daya (laju) radiasi energi (J/s atau W),

e : emisivitas permukaan,

σ : konstanta Stefan-Boltzmann ($\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$),

A : luas permukaan benda (m^2)

T : suhu mutlak benda (K),

Jika sebuah benda berada dalam kesetimbangan termis dengan sekitarnya, $T = T_s$, dan benda memancarkan serta menyerap radiasi pada laju yang sama, maka laju total radiasi sebuah benda pada suhu T dengan lingkungan pada suhu T_s adalah:

$$P_{\text{total}} = e s A (T^4 - T_s^4)$$

A. TEORI KINETIK GAS

1. Gas Ideal

Sifat-sifat gas ideal:

1. Gas ideal terdiri dari partikel-partikel yang tersebar merata dalam ruang dengan jumlah sangat banyak.
2. Partikel gas ideal bergerak secara acak.
3. Gerak partikel gas ideal mengikuti hukum Newton tentang gerak.
4. Ukuran partikel gas ideal jauh lebih kecil daripada jarak antara partikel-partikelnya.
5. Tidak ada gaya luar yang bekerja pada partikel gas, kecuali bila terjadi tumbukan.
6. Bila ada tumbukan antar partikel atau partikel dengan dinding, sifatnya lenting sempurna.

Rumus:

$$p \cdot V = nRT \text{ atau } p \cdot V = NkT$$

p = tekanan gas (Pa)

V = volume gas (m^3)

n = jumlah mol (gr/mol) = $n = \frac{m}{M_r} = \frac{N}{N_A}$

T = suhu mutlak (K)

R = tetapan gas umum = $8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

N = jumlah partikel gas

k = konstanta Boltzmann = $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

m = massa gas

M_r = berat molekul gas

$R = k \cdot N_A$

$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ molekul/mol}$

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{N_1 \cdot T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{N_2 \cdot T_2}$$

Dengan $N \simeq m \simeq n$.

Bila jumlah zat sudah tertentu/ zat tidak ada tambah dan kurang/ zat ada di ruang tertutup, berlaku: $N_1 = N_2$. Jadi,

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{p_2 \cdot V_2}{T_2}$$

2. Tekanan Gas Menurut Teori Kinetik

$$P = \frac{1}{3} \frac{N \cdot m_0 \cdot \bar{v}^2}{V}$$

P = tekanan gas (Pa)

N = jumlah molekul

\bar{v}^2 = rata-rata kuadrat kecepatan (m^2/s^2)

m_0 = massa sebuah partikel (molekul) (kg)

V = volume gas (m^3)

Karena $m_0 \cdot \bar{v}^2 = 2\bar{E}_k$ (2 kali energi kinetik rata-rata), maka:

$$P = \frac{2}{3} \frac{N \cdot \bar{E}_k}{V}$$

3. Temperatur Menurut Teori Kinetik Gas

$$\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$$

T = temperatur gas (Kelvin),

E_k = energi kinetik rata-rata,

k = tetapan Boltzmann = $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$.

4. Kecepatan Efektif Partikel Gas

$$\bar{v}_{r.m.s} = \sqrt{\frac{3k \cdot T}{m_0}} = \sqrt{\frac{3R \cdot T}{M}} = \sqrt{\frac{3P}{\rho}}$$

T = suhu mutlak gas,

M_r = berat molekul gas (kg/mol),

R = tetapan suhu umum ($8,314 \text{ J/mol K}$),

P = tekanan gas (Pa),

ρ = massa jenis gas,

k = tetapan Boltzmann,

m_0 = massa satu molekul gas.

5. Derajat Kebebasan

Derajat kebebasan adalah banyaknya bentuk energi yang dimiliki oleh molekul gas sesuai dengan jenis dan arah gerak. Derajat kebebasan ada tiga jenis.

- Derajat Kebebasan Translasi (X, Y, Z).
- Derajat Kebebasan Rotasi (Rotasi terhadap sumbu X, Y, Z).
- Derajat Kebebasan Vibrasi.

Prinsip ekuipartisi energi menyatakan bahwa tiap derajat kebebasan dalam molekul gas memberikan kontribusi (sumbangan) energi pada gas sebesar ($\frac{1}{2} kT$).

- Untuk gas monoatomik: derajat kebebasan: $f = 3$

Energi kinetik: $\bar{E}_k = f \left(\frac{1}{2} kT \right) = \frac{3}{2} kT$

Energi dalam:

$$\bar{E}_k = f \left(\frac{1}{2} NkT \right) = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} nRT$$

- Gas diatomik suhu rendah (± 250 K): $f = 3$

Energi kinetik: $\bar{E}_k = \frac{3}{2} kT$

Energi dalam: $\bar{E}_k = \frac{3}{2} NkT = \frac{3}{2} nRT$

- Gas diatomik suhu sedang (± 500 K): $f = 5$

Energi kinetik: $\bar{E}_k = \frac{5}{2} kT$

Energi dalam: $\bar{E}_k = \frac{5}{2} NkT = \frac{5}{2} nRT$

- Gas diatomik suhu tinggi (± 1000 K): $f = 7$

Energi kinetik: $\bar{E}_k = \frac{7}{2} kT$

Energi dalam: $\bar{E}_k = \frac{7}{2} NkT = \frac{7}{2} nRT$

- Gas poliatomik: $f = 9$

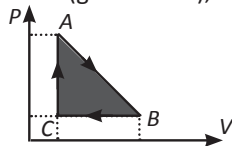
B. TERMODINAMIKA

1. Usaha oleh Gas Ideal

$$W = \int_{V_1}^{V_2} P \cdot dV$$

P : tekanan gas (Pa)
 V : volume gas (m^3)

Sehingga jika diberikan perubahan tekanan terhadap volume (grafik $P - V$), maka:



Usaha dari B ke C:

W_{BC} = Luasan segiempat xCBY

Usaha dari A ke B:

W_{AB} = Luasan trapesium ABYx

Usaha siklus = netto = W_{ABCA} = Luasan segitiga ABC

2. Usaha dalam berbagai Proses

- a. **Proses isobarik** (Tekanan: $P = \text{konstan}$)

$$W = P(V_2 - V_1)$$

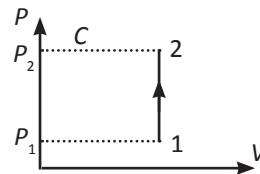
Catatan:

Proses terjadi perubahan volume, dan suhu mutlak gas, berlaku: $\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$

- b. **Proses isokhorik** (Proses iso-volume, Volume: $V = \text{konstan}$)

$$W = 0$$

Diagram $P - V$ pada proses isokhorik



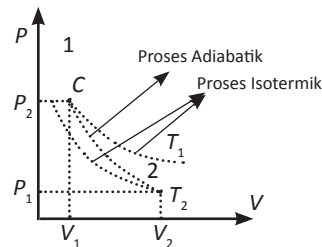
Untuk 2 keadaan yang berbeda berlaku:

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

- c. **Proses isotermis** (Suhu mutlak: $T = \text{konstan}$)

$$W = nRT \ln \frac{V_2}{V_1} \text{ atau } W = nRT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

- d. **Proses adiabatik** adalah proses yang berlangsung tanpa adanya kalor yang masuk ke sistem atau keluar dari sistem $Q = 0$. Di bawah adalah diagram $p - V$ pada proses adiabatik dan isotermik.



Proses adiabatik berlaku juga:

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

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

γ = tetapan Laplace (gas monoatomik $\gamma = 1,4$; gas diatomik suhu sedang $\gamma = 1,67$),

C_p = kapasitas kalor jenis gas pada tekanan tetap,
 C_v = kapasitas kalor jenis gas pada volume tetap.

Usaha dirumuskan:

$$W = \frac{1}{\gamma - 1} (p_1 V_1 - p_2 V_2) \text{ atau } W = \frac{nR}{\gamma - 1} (T_1 - T_2)$$

3. Hukum I Termodinamika

"Energi kalor mengalir ke dalam sebuah sistem, akan diterima sistem untuk mengubah energi di dalamnya dan atau melakukan usaha terhadap lingkungannya."

$$Q = W + \Delta U$$

Q = banyaknya kalor yang diserap/dilepaskan oleh sistem.

W = usaha yang dilakukan oleh gas terhadap lingkungan.

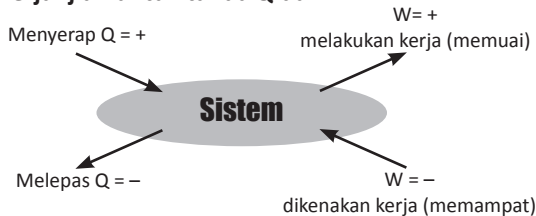
ΔU = perubahan energi-energi dalam sistem.

Perubahan Energi-dalam

Untuk gas monoatomik: $\Delta U = \frac{3}{2} nR\Delta T$

Untuk gas diatomik suhu sedang: $\Delta U = \frac{5}{2} nR\Delta T$

Perjanjian untuk tanda Q dan W



4. Kapasitas Kalor Gas

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

Kapasitas kalor gas pada tekanan tetap C_p dan Kapasitas kalor gas pada volume tetap C_v , hubungan keduanya adalah:

$$C_p - C_v = nR$$

C_p = kapasitas kalor gas pada tekanan tetap

C_v = kapasitas kalor gas pada volume tetap

Sehingga berlaku:

- Gas monoatomik dan diatomik suhu rendah:

$$C_v = \frac{3}{2} nR \text{ dan } C_p = \frac{5}{2} nR$$

- Gas diatomik suhu sedang:

$$C_v = \frac{5}{2} nR \text{ dan } C_p = \frac{7}{2} nR$$

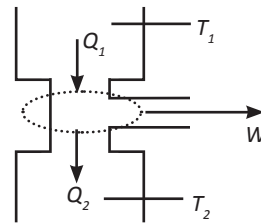
- Gas diatomik suhu tinggi:

$$C_v = \frac{7}{2} nR \text{ dan } C_p = \frac{9}{2} nR$$

5. Efisiensi Mesin

■ Mesin Pemanas Carnot

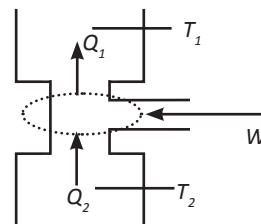
Diagram alir:



$$\begin{aligned} T_1 &> T_2 \\ \eta &= \frac{W}{Q_1} \\ \eta &= \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \\ \eta &= \frac{T_1 - T_2}{T_1} \end{aligned}$$

■ Mesin Pendingin Carnot

Diagram Alir:



$$\begin{aligned} T_1 &> T_2 \\ K &= \frac{Q_2}{W} \\ K &= \frac{Q_2}{Q_1 - Q_2} \\ K &= \frac{T_2}{T_1 - T_2} \end{aligned}$$

η = efisiensi mesin pemanas Carnot,

W = usaha yang dilakukan oleh mesin (J),

Q_1 = kalor yang diserap dari reservoir suhu tinggi (J),

Q_2 = kalor yang dilepas ke reservoir suhu rendah (J),

T_1 = suhu dari reservoir tinggi (K),

T_2 = suhu dari reservoir rendah (K),

K = Koefisien performansi mesin pendingin.

6. Hukum II Termodinamika

■ Pernyataan Clausius:

"Kalor mengalir secara spontan dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah dan tidak mengalir secara spontan dalam arah kebalikannya."

■ Pernyataan Kelvin-Vlanck:

"Tidak mungkin membangun suatu mesin yang bekerja dalam satu siklus dengan mengambil panas dari suatu benda reservoir dan menghasilkan kerja sebesar panas yang diambil."

■ Hukum II Termodinamika dinyatakan dalam entropi

"Total entropi jagad raya tidak berubah ketika proses reversible terjadi bertambah ketika proses ireversibel terjadi."

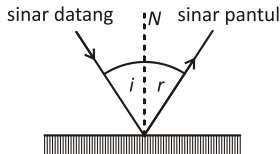
Perubahan Entropi:

$$\Delta S = \left(\frac{Q}{T} \right)_{\text{reversibel}}$$

A. PEMANTULAN CAHAYA

1. Hukum Pemantulan Cahaya

- Sinar datang, garis normal, sinar pantul ada pada satu bidang datar.
- Sudut datang (i) = sudut pantul (r).



2. Pemantulan Cahaya pada Cermin Datar

Sifat-sifatnya:

- maya,
- tegak seperti bendanya,
- sama besar dengan bendanya,
- jarak bayangan ke cermin = jarak benda ke cermin,
- banyaknya bayangan dari dua buah cermin datar diletakkan saling membentuk sudut α :

$$n = \frac{360^\circ}{\alpha} - 1$$

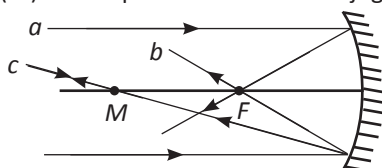
B. CERMIN CEKUNG DAN CERMIN CEMBUNG

1. Pembentukan Bayangan pada Cermin Cekung dan Cembung

Cermin Cekung

Sinar istimewa cermin cekung, yaitu:

- sinar datang yang sejajar dengan sumbu utama akan dipantulkan melalui titik fokus utama (F),
- sinar datang yang melalui titik fokus utama (F) akan dipantulkan sejajar sumbu utama,
- sinar datang yang melalui titik kelengkungan (M) akan dipantulkan melalui M juga.



Sifat bayangan yang dibentuk oleh cermin cekung

	Sifat bayangan
Benda ruang III, bayangan ruang II	nyata, terbalik, diperkecil
Benda ruang II, bayangan ruang III	nyata, terbalik, diperbesar
Benda ruang I, bayangan ruang IV	maya, tegak diperbesar

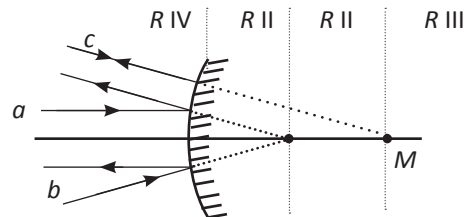
Hubungan antara ruang benda (R_{benda}) dan ruang bayangan (R_{bay}), yaitu:

$$R_{\text{benda}} + R_{\text{bay}} = 5$$

Cermin Cembung

Sinar-sinar istimewa pada cermin cembung:

- sinar datang sejajar sumbu utama, dipantulkan seolah-olah berasal dari titik fokus,
- sinar datang menuju fokus, dipantulkan sejajar sumbu utama,
- sinar datang menuju jari-jari M atau pusat kelengkungan, dipantulkan melalui M juga.



Sifat bayangan: maya, tegak, diperkecil.

2. Rumus Pembentukan Bayangan dan Perbesaran Bayangan pada Cermin

Rumus:

$$\frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} = \frac{1}{f} = \frac{2}{R}$$

$$M = \left| \frac{s_i}{s_o} \right| = \left| \frac{h_i}{h_o} \right|$$

$$R = 2f$$

Keterangan:

s_o = jarak benda dari cermin,
 s_i = jarak bayangan dari cermin,
 f = jarak fokus dari cermin,
 R = jari-jari,
 M = perbesaran bayangan,
 h_o = tinggi benda,
 h_i = tinggi bayangan.

C. PEMBIASAN CAHAYA

Pembiasan cahaya yaitu peristiwa pembelokkan arah rambatan cahaya karena melewati dua medium yang berbeda kecepatan optiknya.

1. Hukum Pembiasan Menurut Snellius

- Sinar datang, garis normal, dan sinar bias terletak pada satu bidang datar dan berpotongan pada satu titik.
- Sinar datang dari medium kurang rapat ke medium lebih rapat akan dibiaskan mendekati garis normal. Jika sebaliknya akan dibiaskan menjauhi garis normal.

Indeks bias mutlak (n):

$$n = \frac{c}{c_n}$$

Indeks bias relatif:

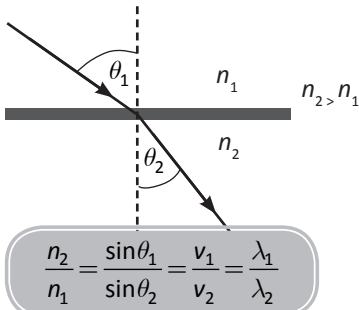
$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c_2}{c_1}$$

c = cepat rambat cahaya pada ruang hampa = 3×10^8 m/s,

c_n = cepat rambat cahaya dalam medium.

n_1 = indeks bias medium 1.

c_1 = cepat rambat cahaya dalam medium 1.



θ_1 = sudut datang; θ_2 = sudut bias

n_1 = indeks bias mutlak medium I

n_2 = indeks bias mutlak medium II

v_1 = kecepatan cahaya dalam medium I

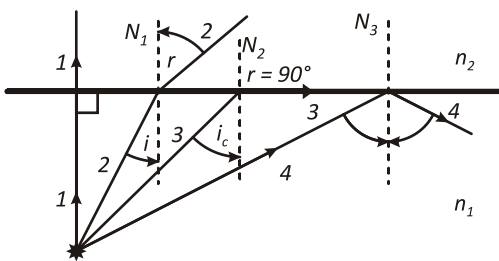
v_2 = kecepatan cahaya dalam medium II

λ_1 = panjang gelombang cahaya dalam medium I

λ_2 = panjang gelombang cahaya dalam medium II

$\frac{n_2}{n_1}$ = indeks bias relatif medium II terhadap medium I

2. Pemantulan Sempurna



- Sinar (3) sudut datang = i_c , dibiaskan berimpitan permukaan bidang batas.
- Sinar (4) sudut datang $> i_c$, dipantulkan total oleh permukaan bidang batas.

Jadi syarat terjadinya pemantulan total adalah

- Sinar merambat dari rapat ke kurang rapat.
- Sudut datang (i) $>$ sudut kritis (i_c).

Sudut kritis atau sudut batas adalah sudut datang yang sudut biasnya adalah

$$\sin(i_c) = \frac{n_2}{n_1}$$

n_1 = indeks bias medium I
 n_2 = indeks bias medium II

3. Kedalaman Semu

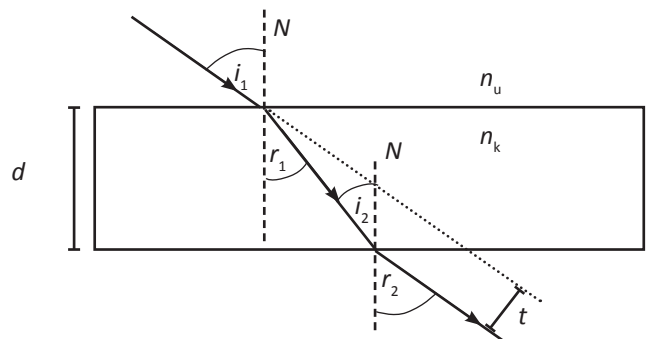
Rumus:

$$d' = \frac{n_2}{n_1} \times d$$

d' = kedalaman semu

d = kedalaman sesungguhnya

4. Pembiasan Cahaya pada Kaca Planparalel



$$t = d \frac{\sin(i_1 - r_1)}{\cos(r_1)}$$

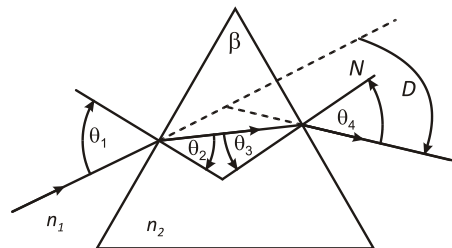
t = pergeseran sinar

d = tebal kaca planparalel

i_1 = sudut datang mula-mula

r_1 = sudut bias di dalam kaca

5. Pembiasan Cahaya pada Prisma



- Sudut deviasi (D) dirumuskan:

$$D = \theta_1 + \theta_4 - \beta \text{ dan } \beta = \theta_2 + \theta_3$$

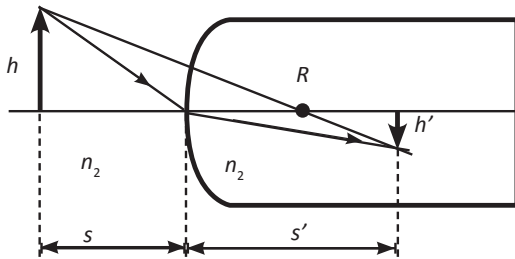
- Sudut deviasi = minimum jika: $\theta_2 = \theta_3$ dan $\theta_1 = \theta_4$

- Besar sudut deviasi minimum dapat ditentukan dengan rumus:

- $n_1 \sin \frac{1}{2}(D_m + \beta) = n_2 \sin \frac{1}{2}\beta$, untuk $(\beta \geq 15^\circ)$
- $D_m = \left(\frac{n_2}{n_1} - 1\right)\beta$, untuk $(\beta < 15^\circ)$

6. Pembiasan pada Permukaan Sferik

Pembentukan bayangan yang dibentuk oleh permukaan sferik (lengkung bola) dengan jari-jari R ditunjukkan pada gambar berikut.



Hubungan antara s , s' , dan R : $\frac{n_1}{s} + \frac{n_2}{s'} = \frac{n_2 - n_1}{R}$

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

- n_1 = indeks bias medium tempat benda berada
- n_2 = indeks bias medium tempat pengamatan
- s = jarak benda
- s' = jarak bayangan
- R = jari-jari kelengkungan

Perjanjian tanda untuk s , s' dan R :

- s (-) = (benda maya) jika letak benda di belakang permukaan sferik.
 - s' (-) = (bayangan maya) jika letak bayangan di depan permukaan sferik.
 - R = (+) jika titik pusat kelengkungan di belakang permukaan sferik, (-) jika titik pusat kelengkungan di depan permukaan sferik.
- Depan permukaan sferik = tempat di mana sinar datang.

D. LENS

1. Lensa Tipis

Jarak fokus pada lensa tipis:

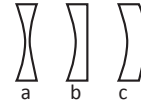
$$\frac{1}{f} = \left(\frac{n_l}{n_m} - 1\right) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right)$$

- f = jarak fokus lensa tipis
- n_l = indeks bias lensa
- n_m = indeks bias medium tempat lensa berada
- R_1 = jari-jari kelengkungan I
- R_2 = jari-jari kelengkungan II

- R + Jika permukaannya cembung
- Jika permukaannya cekung
- \sim Jika permukaannya datar

2. Lensa Cekung (Konkaf, Lensa Negatif (-))

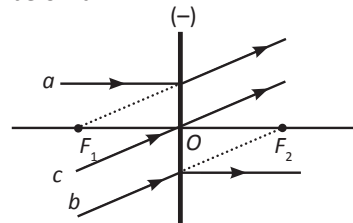
Sifat: menyebarkan cahaya (divergen).



Lensa bikonkaf (cekung rangkap (a)), lensa plankonkaf (cekung datar(b)), dan lensa konveks-konkaf (cekung cembung (c)).

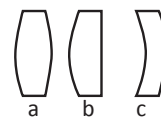
Sinar-sinar istimewa pada lensa cekung:

- Sinar datang sejajar sumbu utama dibiaskan seolah-olah berasal dari fokus pertama.
- Sinar datang menuju ke fokus kedua dibiaskan sejajar sumbu utama.
- Sinar datang melalui titik pusat lensa tidak dibelokkan.



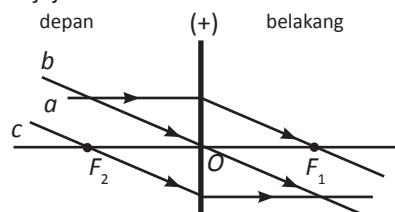
3. Lensa Cembung (Konveks, Lensa Positif (+))

Lensa cembung terdiri dari lensa cembung-cembung (bikonveks (a)), lensa cembung datar (plankonveks (b)), lensa cekung cembung (konkaf konveks (c))

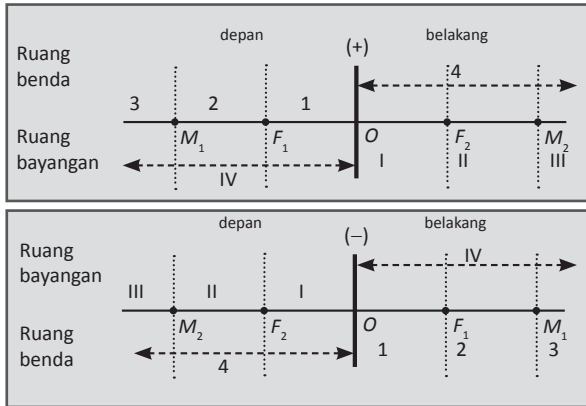


Sinar-sinar istimewa pada lensa cembung:

- Sinar datang sejajar sumbu utama dibiaskan melalui titik fokus.
- Sinar datang melalui titik pusat lensa tidak dibelokkan.
- Sinar datang melalui titik fokus dibiaskan sejajar sumbu utama.



4. Metode Penomoran Ruang untuk Lensa



- Nomor ruang benda + nomor ruang bayangan = 5
- Nomor ruang benda < Nomor ruang bayangan → diperbesar dan kebalikannya
- Bayangan di depan lensa → Maya, tegak
- Bayangan di belakang lensa → Nyata, terbalik

5. Rumus Pada Lensa Cekung dan Cembung

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{s_o} + \frac{1}{s_i} \quad M = \left| \frac{s_i}{s_o} \right| = \left| \frac{h_i}{h_o} \right|$$

- f (+) untuk lensa cembung dan f (-) untuk lensa cekung,
- jarak benda s_o (+) jika terletak di depan benda,
- jarak bayangan s_i (+) jika berada di belakang lensa.

6. Kekuatan Lensa

$$P = \frac{100}{f} \quad P = \text{dioptri (D); } f \text{ dalam cm}$$

7. Lensa Gabungan

Jarak fokus lensa gabungan berhimpit dirumuskan:

$$\frac{1}{f_{gab}} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} + \frac{1}{f_3} + \dots$$

E. ALAT-ALAT OPTIK

1. Mata dan Kaca Mata

a. Mata normal

Titik dekat: $PP = \pm 25$ cm dan
Titik jauh: $PR = \infty$ (tak hingga)

b. Cacat mata miopi (rabun jauh)

Titik dekat: $PP = \pm 25$ cm dan

Titik jauh: $PR < \infty$

Ditolong pakai lensa negatif: $p = -\frac{100}{PR}$

c. Hipermetropi (rabun dekat)

Titik dekat: $PP > \pm 25$ cm dan

Titik jauh: $PR = \infty$

Di tolong dengan lensa positif:

$$p = \frac{100}{s_n} - \frac{100}{PP}$$

Biasanya $s_n = 25$ cm.

2. Lup (Kaca Pembesar)

- Mata berakomodasi maksimum: $M = \frac{s_n}{f} + 1$
- Mata berakomodasi minimum: $M = \frac{s_n}{f}$
- Pengamatan pada akomodasi x
Bayangan $s' = -x$ = titik jauh pengamat
- Perbesaran: $M_\alpha = \frac{s_n}{f} + \frac{s_n}{x}$

3. Mikroskop

- Perbesaran lensa objektif:

$$M_{ob} = \left| \frac{h_{ob}'}{h_{ob}} \right| = \left| \frac{s_{ob}'}{s_{ob}} \right| = \left| \frac{f_{ob}}{s_{ob} - f_{ob}} \right|$$

- Perbesaran lensa okuler:

– Akomodasi maksimum ($s'_{ok} = -s_n$):

$$M_{ok} = \frac{s_n}{f_{ok}} + 1$$

– Akomodasi minimum ($s_{ok} = f_{ok}$ dan s'_{ok}):

$$M_{ok} = \frac{s_n}{f_{ok}}$$

- Pembesaran total mikroskop:

$$M_{tot} = M_{ob} \times M_{ok}$$

- Jarak antara lensa obyektif dan lensa okuler:

$$d = s'_{ob} + s_{ok}$$

4. Teropong Bintang/Teropong Astronomi

- Tanpa Akomodasi

– Perbesaran angular: $M_\alpha = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$

f_{ok} = jarak fokus lensa obyektif

f_{ob} = jarak fokus lensa okuler

– Panjang teropong dirumuskan:

$$d = f_{ob} + f_{ok}$$

■ Akomodasi maksimum

– Perbesaran angular: $M_{\alpha} = \frac{f_{ob}}{s_{ok}}$

s_{ok} = jarak benda (bayangan lensa obyektif) ke lensa okuler

– Panjang teropong dirumuskan:
$$d = f_{ob} + s_{ok}$$

5. Teropong Pantul

Perbesaran angular: $M_{\alpha} = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$

f_{ok} = jarak fokus lensa obyektif

f_{ob} = jarak fokus lensa okuler

6. Teropong Bumi/Yojana/Teropong Medan

■ Perbesaran tanpa akomodasi:

$$M_{\alpha} = \frac{s'_{ob}}{f_{ok}} = \frac{f_{ob}}{f_{ok}}$$

■ Perbesaran akomodasi maksimum:

$$M_{\alpha} = \frac{s'_{ob}}{s_{ok}}$$

s'_{ob} = jarak bayangan lensa obyektif

f_{ob} = jarak fokus lensa obyektif

f_{ok} = jarak fokus lensa okuler

s_{ok} = jarak benda (bayangan lensa pembalik) ke lensa okuler.

■ Panjang teropong dirumuskan:

$$d = s'_{ob} + 4f_p + s_{ok}$$

■ Pengamatan tanpa akomodasi:

$$d = f_{ob} + 4f_p + f_{ok}$$

f_p = jarak fokus lensa pembalik

7. Teropong Panggung/Teropong Galilei/Teropong Sandiwara

■ Perbesaran angular tanpa akomodasi:

$$M_{\alpha} = \frac{s'_{ob}}{f_{ok}}$$

■ Panjang teropong: $d = s'_{ob} - f_{ok}$

■ Perbesaran angular tanpa akomodasi:

$$M_{\alpha} = \frac{s'_{ob}}{s_{ok}}$$

BAB 17 TEORI RELATIVITAS KHUSUS

A. TEORI RELATIVITAS EINSTEIN

Postulat pertama:

“Hukum-hukum fisika dapat dinyatakan dalam persamaan yang berbentuk sama dalam semua kerangka acuan inersial”

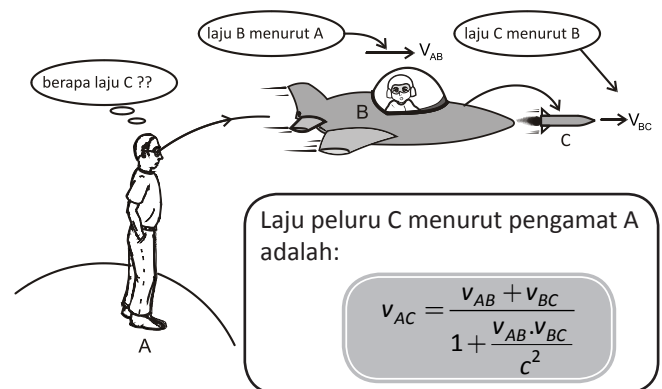
Postulat kedua:

“Kelajuan cahaya dalam ruang hampa adalah sama untuk semua pengamat, tidak bergantung pada gerak relatif antara pengamat dan sumber cahaya”

Akibat postulat kedua Einstein besaran-besaran fisika nilainya menjadi bersifat relatif bergantung pada kerangka acuan satu dengan lainnya (pembuktian dengan perhitungan transformasi Lorentz).

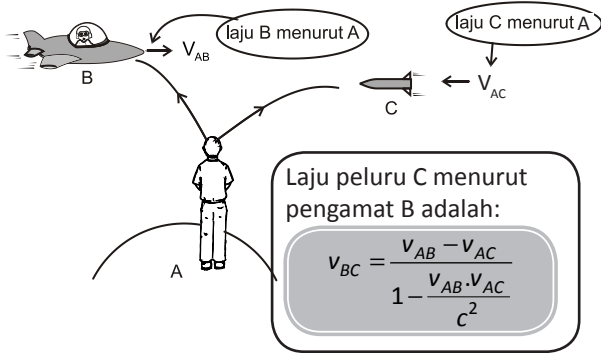
B KECEPATAN RELATIVITAS

Kecepatan bersifat relatif yang berdasar teori relativitas khusus dapat digambarkan dengan:



Catatan:

Jika arah berlawanan laju bertanda negatif (–).



Catatan:

Jika arah berlawanan laju bertanda negatif (-).

1. Relativitas Panjang

Sebuah benda dengan panjang L_0 akan terukur memendek menjadi L bila benda dan kerangka pengukur saling bergerak dengan kecepatan relatif v . Maka diberikan persamaan:

$$L = L_0 \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

2. Relativitas Massa

Sebuah benda dengan panjang m_0 akan terukur lebih berat (m), bila benda dan kerangka pengukur saling bergerak dengan kecepatan relatif v . Maka diberikan persamaan:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

3. Dilatasi Waktu

Relativitas khusus mengharuskan kita memandang perbedaan selang waktu antara dua kerangka yang bergerak dengan kecepatan relatif v . Maka diberikan persamaan:

$$\Delta t = \frac{\Delta t_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

Δt_0 = selang waktu yang terukur oleh "pengukur waktu" yang diam relatif terhadap pengamat.

Δt = selang waktu yang terukur oleh "pengukur waktu" yang bergerak relatif terhadap pengamat.

Catatan:

$$v = 0,6c \Rightarrow \sqrt{1 - v^2/c^2} = 0,8$$

$$v = 0,8c \Rightarrow \sqrt{1 - v^2/c^2} = 0,6$$

$$v = \frac{1}{2}c \Rightarrow \sqrt{1 - v^2/c^2} = \frac{1}{2}\sqrt{3}$$

C. MOMENTUM DAN ENERGI RELATIVISTIK

1. Momentum Relativistik

Untuk mempertahankan hukum kekekalan momentum linier tetap berlaku dalam relativitas Einstein, maka momentum relativistik didefinisikan sebagai:

$$p = m \cdot v = \frac{m_0 v}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

2. Energi Relativistik

Menurut Einstein massa adalah bentuk lain dari energi, suatu benda saat diam bermassa m_0 , maka benda tersebut memiliki energi (energi diam):

$$E_0 = m_0 c^2$$

Bila benda bergerak dengan laju v maka massa bertambah dan energi bertambah, energi total:

$$E_t = \frac{m_0 c^2}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = m \cdot c^2$$

Karena dengan bergerak, maka energinya ditambah dengan energi gerak (E_k) maka:

$$E_t = E_k + E_0$$

3. Hubungan Energi dan Momentum diberikan:

$$E_t^2 = E_0^2 + p^2 c^2$$

A. RADIASI KALOR

- Energi radiasi: $E = e \cdot \sigma \cdot T^4 \cdot A \cdot t$

e : Emisivitas = koefisien emisi, ($0 \leq e \leq 1$)

σ : Tetapan Stefan-Boltzmann = $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$

T : Suhu mutlak benda, (kelvin)

- Daya Radiasi: $P = \frac{E}{t}$

- Intensitas Radiasi: $I = \frac{P}{A_o}$

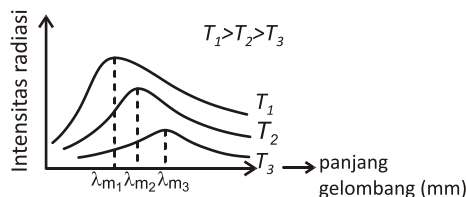
A_o = luasan yang ditembus oleh radiasi kalor (seringnya berupa luasan bola $4\pi \cdot R^2$).

- Benda hitam sempurna memiliki nilai $e = 1$.

B. INTENSITAS RADIASI BENDA HITAM

Benda hitam pada suhu tertentu akan meradiasikan energi dalam bentuk gelombang elektromagnetik dengan panjang gelombang yang bervariasi.

Hubungan antara panjang gelombang pada intensitas maksimum dan saat suhu mutlaknya tertentu diselidiki oleh Wien didapat grafik seperti di bawah:



Dari grafik dapat dirumuskan (pergeseran Wien):

$$\lambda_m \cdot T = c$$

λ_m = panjang gelombang pada intensitas maksimum (m),

T = suhu mutlak benda (kelvin),

c = konstanta Wien = $2,989 \times 10^{-3} \text{ mK}$.

C. TEORI FOTON

Menurut Plank:

1. Molekul-molekul yang bergetar akan memancarkan energi diskrit:

$$E_n = n \cdot h \cdot f$$

n = bilangan bulat positif : 1, 2, 3, ..., yang dinamakan bilangan kuantum.

f = frekuensi getaran molekul-molekul.

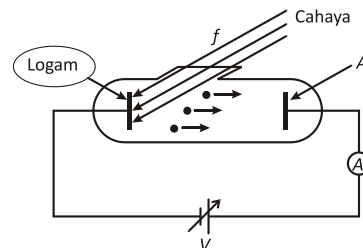
h = tetapan Planck, yang besarnya: $h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js}$.

2. Molekul-molekul memancarkan atau menyerap energi dalam bentuk satuan-satuan diskrit yang disebut **foton** atau **kuinta**. Tiap-tiap foton mempunyai energi sebesar:

$$E = h \cdot f$$

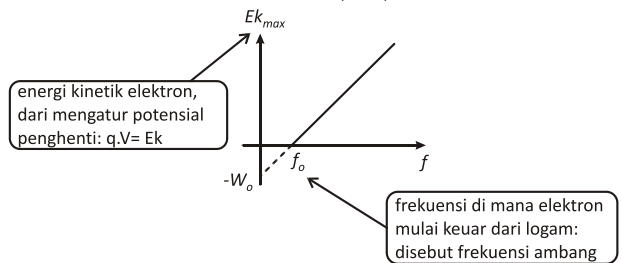
Molekul akan memancarkan atau menyerap energi hanya ketika molekul itu berubah tingkat energinya. Jika molekul tetap tinggal pada satu tingkat energi tertentu, maka tidak ada energi yang dipancarkan atau diserapnya.

D. EFEK FOTOLISTRIK



Ketika frekuensi cahaya diubah-ubah maka didapatlah grafik sebagai berikut.

Grafik ($E_k - f$)



Penjelasan Einstein tentang Efek Fotolistrik

Menurut Einstein, cahaya merambat dalam bentuk paket-paket energi disebut *foton*. Foton berperilaku seperti partikel dan tiap foton mengandung energi sebesar:

$$E = h \cdot f = h \frac{c}{\lambda}$$

Ketika foton cahaya membentur permukaan logam, energi satu foton cahaya ini diserap seluruhnya oleh sebuah elektron. Bila energi foton sebesar hf ini cukup besar, maka sebagian energi digunakan untuk melepaskan elektron dari ikatannya, dan sisanya

dipakai untuk energi kinetik elektron.

$$h.f = \underbrace{h.f_o}_{W_o} + Ek_{\max}$$

hf = energi foton cahaya yang digunakan,

hf_o = energi foton minimal diperlukan untuk melepaskan elektron = energi ambang = fungsi kerja (ditulis W_o),

EK_{\max} = energi kinetik maksimum fotoelektron.

E. EFEK COMPTON

- **Efek Compton** adalah peristiwa terhamburnya sinar-X akibat tumbukan dengan elektron. Panjang gelombang sinar-X yang terhambur menjadi lebih besar dari sebelum tumbukan.
- Foton (GEM, termasuk cahaya) memiliki sifat sebagai materi, tapi tetap saja foton tidak bermassa dan tidak pula bermuatan, hanya dia memiliki **momentum** (terkait tumbukkan) besarnya:

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

- Dari hukum kekekalan momentum serta kekekalan energi panjang gelombang pada hamburan Compton diperoleh:

$$\lambda' = \lambda + \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta)$$

λ = panjang gelombang foton sebelum tumbukan,

λ' = panjang gelombang foton setelah tumbukan,

h = tetapan Planck,

m = massa elektron,

c = kecepatan cahaya dalam vakum,

θ = sudut hamburan foton terhadap arah semula.

F. PRODUKSI PASANGAN

Selain dua peristiwa di atas ada juga peristiwa lain yakni produksi pasangan adalah peristiwa dimana foton lenyap dan menjelma menjadi dua materi saling anti, contoh elektron dan positron, persamaannya:

$$E_{\text{foton}} = E_{\text{materi}} \Rightarrow h.f = 2m_o c^2 + Ek_{\text{tot}}$$

f = frekuensi gelombang foton,

h = tetapan Planck,

m_o = massa diam elektron/positron,

c = kecepatan cahaya dalam vakum,

EK_{tot} = energi kinetik total (kedua materi).

Dapat juga proses kebalikan dari produksi pasangan di mana materi lenyap dan menjelma menjadi foton.

$$E_{\text{materi}} = E_{\text{foton}}$$

G. HIPOTESA DE BROGLIE

Dari hal di atas De Broglie beranggapan cahaya (foton) punya sifat sebagai partikel, maka partikel juga harus punya sifat sebagai cahaya (GEM), yang mana partikel bergerak memiliki panjang gelombang:

$$\lambda = \frac{h}{m.v}$$

λ = panjang gelombang de Broglie,

m = massa partikel,

v = kecepatan partikel.

Dan jika partikel dipercepat oleh suatu beda potensial, maka panjang gelombang diberikan:

$$\lambda = \frac{h}{mv} = \frac{h}{\sqrt{2mq(\Delta V)}}$$

q = muatan partikel,

ΔV = beda potensial.

A. SPEKTRUM ATOM HIDROGEN

1. Spektrum garis atom hidrogen mempunyai keteraturan jarak garis-garisnya, semakin ke kiri semakin rapat.
2. Bila elektron bertransisi dari kulit luar ke dalam maka atom akan melepaskan energi berupa foton. Analisis terhadap gelombang yang dipancarkan atom hidrogen digambarkan dalam bentuk garis-garis spektrum, yang besarnya diberikan:

$$\frac{1}{\lambda} = R \left[\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2} \right]$$

Keterangan:

λ = panjang gelombang

R = tetapan Rydberg ($1,0074 \times 10^7 \text{ m}^{-1}$)

n_B = kulit yang dituju

3. Deret-deret spektrum atom hidrogen lainnya adalah:

- 1) *Deret Lyman*; terletak pada daerah ultra ungu.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(1 - \frac{1}{n^2} \right); n = 2, 3, 4, \dots$$

- 2) *Deret Balmer*; terletak pada daerah cahaya tampak.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right); n = 3, 4, 5, \dots$$

- 3) *Deret Paschen*; terletak pada daerah infra merah-1.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2} \right); n = 4, 5, 6, \dots$$

- 4) *Deret Brackett*; terletak pada daerah infra merah-2.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{4^2} - \frac{1}{n^2} \right); n = 5, 6, 7, \dots$$

- 5) *Deret Pfund*; terletak pada daerah infra merah-3.

$$\frac{1}{\lambda} = R \left(\frac{1}{5^2} - \frac{1}{n^2} \right); n = 6, 7, 8, \dots$$

B. MODEL ATOM BOHR

Model Atom Niels Bohr didasarkan atas dua postulat fundamental, yaitu:

1. Elektron pada atom hidrogen tidak menempati sembarang orbit, tetapi hanya pada salah satu orbit tertentu yang momentum angulernya sama dengan kelipatan harga, atau:

$$m.v.r = n \left(\frac{h}{2\pi} \right); n = 1, 2, 3, \dots$$

Pada lintasan orbit tertentu itu, elektron mengelilingi inti tanpa memancarkan energi, dinamakan *orbit stasioner*.

Berdasarkan postulat ini dapat diturunkan suatu hubungan:

$$r_n = 5,3 \cdot 10^{-11} \cdot n^2$$

$$E_m = -\frac{13,6}{n^2} \text{ (dalam eV)}$$

$$E_m = -\frac{2,174 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ (dalam J)}$$

Pada atom lain dengan atom 1 elektron maka

$$E_m = -\frac{13,6 (Z^2)}{n^2} \text{ (dalam eV)}$$

Keterangan:

- $n = 1, 2, 3, \dots$
(-) menunjukkan energi total E_n merupakan energi ikat.
- Untuk $n = 1$
 $r_1 = 5,3 \cdot 10^{-11}$ meter, merupakan jari-jari *terkecil*, disebut *jari-jari Bohr*
 $E_1 = -13,6$ eV, merupakan energi ikat terbesar, yaitu pada saat elektron berada pada jari-jari Bohr.
- Untuk $n = \infty$
 $r_\infty = \infty$, elektron sangat jauh dari inti
 $E_\infty = 0$, elektron tidak lagi terikat oleh inti
- Z = nomor atom

2. Bila ada energi radiasi yang dipancarkan atau diserap oleh atom, energi harus berupa paket-paket energi (foton) yang besarnya sama dengan perubahan energi di dalam atom.

$h \cdot f = E_1 - E_2$ dengan ketentuan:

- $E_1 > E_2$; energi radiasi hf dipancarkan atom
 - $E_1 < E_2$; energi radiasi hf diserap atom
- E_1 = energi awal atom; E_2 = energi keadaan akhir atom.

Namun demikian ada beberapa hal terkait dengan elektron pada kulit atom.

Elektron dapat berpindah dari satu kulit ke kulit

lain dengan disertai melepas/menyerap energi (ΔE).

- Dari luar ke dalam \rightarrow melepas ΔE = negatif.
- Dari dalam ke luar \rightarrow menyerap ΔE = positif.

Besar ΔE pada transisi atom Hidrogen:

$$\Delta E = -13,6 \left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2} \right) \text{ eV}$$

Besar ΔE pada transisi atom bukan Hidrogen dengan ion satu elektron:

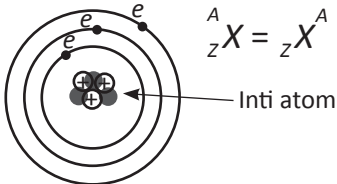
$$\Delta E = -13,6 \left(\frac{1}{n_B^2} - \frac{1}{n_A^2} \right) \cdot Z^2 \text{ eV}$$

BAB 20

FISIKA INTI DAN RADIOAKTIVITAS

A. ATOM

Inti atom disusun oleh nuklida yang didominasi oleh proton dan netron:



- X = lambang atom (unsur, partikel juga)
 Z = nomor atom (jumlah proton)
 A = nomor massa (jumlah proton + netron)

Jumlah neutron: $N = A - Z$

Untuk Atom bukan ion Z selain menunjukkan jumlah proton, juga menunjukkan **jumlah elektron**.

Untuk unsur yang sama \rightarrow memiliki Z yang sama meskipun A kadang berbeda (isotop). Contoh:

Tembaga: $^{61}_{29}\text{Cu}$, $^{63}_{29}\text{Cu}$, $^{65}_{29}\text{Cu}$, dan lainnya.

Karbon: $^{11}_6\text{C}$, $^{12}_6\text{C}$, $^{14}_6\text{C}$, dan lainnya.

Simbol nomor atom dan nomor massa juga dipakai untuk partikel-partikel:

Elektron = $^0_{-1}e$ = sinar β	Sinar γ = $^0_0\gamma$ = Gel. Elektro magnet
Positron = 0_1e	Detron = ^2_1H (inti dari atom detrium ^2_1H)
Proton = 1_1p	Triton = ^3_1H
Neutron = 1_0n	Neutrino = $^0_0\nu$
Sinar α = inti He = ^4_2He	Antineutrino = $^0_0\bar{\nu}$

B. DEFEN MASSA

Beberapa proton dan neutron bergabung membentuk inti atom, ternyata massa inti yang terbentuk selalu lebih kecil dari jumlah massa pembentuknya, selisih massa tersebut disebut *defek massa*.

$$\Delta m = Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n - m_{\text{inti}}$$

m_p : massa proton dan m_n : massa neutron

Defek massa inilah yang digunakan sebagai energi pengikat inti, disebut *energi ikat inti*.

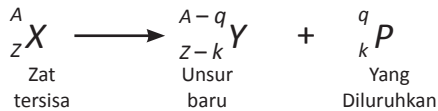
$$E_{\text{ikat}} = \Delta m \cdot c^2 \quad (\text{kgm}^2/\text{s}^2)$$

$$E_{\text{ikat}} = \Delta m \cdot (931 \text{ MeV})$$

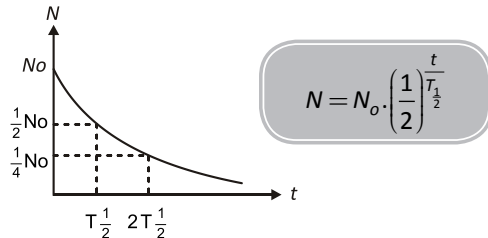
C. RADIOAKTIVITAS

- Kestabilan inti atom ditentukan oleh banyaknya proton (Z) dan netron (N) dalam inti. Syarat nuklida mantap:
 - Untuk $Z \leq 20$, nilai $\frac{N}{Z} = 1$
 - Untuk $(20 < Z < 83)$, nilai $\frac{N}{Z} \simeq \pm 1,5$
- Nuklida-nuklida yang tidak stabil akan berusaha untuk menjadi stabil dengan beberapa cara seperti: (nuklida sebutan A_ZX)
 - Meluruh, memancarkan partikel beta negatif ($e = ^0_{-1}\beta^0$) hingga muncul unsur baru dengan Z tambah 1 dan N kurang 1 dari sebelumnya.
 - Meluruhkan partikel beta positif ($e^+ = ^0_{+1}\beta^0$), hingga ada unsur baru dengan Z kurang 1 dan N tambah 1 dari sebelumnya.
 - Meluruh dengan memancarkan partikel alfa ($^4_2\text{He}^4$), sehingga Z berkurang 2 dan N berkurang 2.
 - Selain peluruhan dapat juga proses penangkapan e dan e^+ .

- Proses inti meluruh menuju stabil sering disebut radioaktivitas yang reaksinya dapat dituliskan:



Yang mana jumlah zat tersisa terhadap waktu dari hasil eksperimen dapat digambarkan:



N = jumlah zat sisa (menunjuk kuantitas zat: massa, jumlah partikel, mol, %, bagian),

N_0 = jumlah awal (menunjuk kuantitas zat: massa, jumlah partikel, mol, 100%, 1 bagian),

t = waktu berjalan,

$T_{\frac{1}{2}}$ = waktu paruh (saat $N = \frac{1}{2} N_0$).

Untuk tiap-tiap zat radioaktif memiliki waktu paruh sendiri-sendiri yang sering juga dinyatakan dengan konstanta peluruhan (λ).

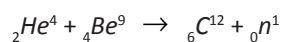
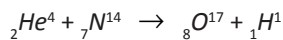
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{0,693}{T_{\frac{1}{2}}}$$

D. REAKSI INTI

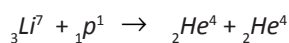
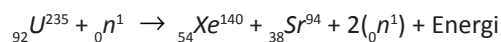
Reaksi inti adalah proses perubahan susunan inti atom akibat tumbukan dengan partikel-partikel atau inti lain yang berenergi tinggi dan terbentuklah inti baru yang berbeda dengan inti semula.

Contoh-contoh:

- Reaksi Fusi** (terbentuk inti atom yang lebih berat)

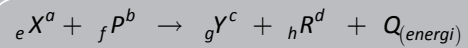


- Reaksi Fisi** (terbentuk inti atom-atom lebih ringan)



Ketetapan pada Reaksi Inti

Misalkan diberikan reaksi inti seperti di bawah:



Pada Reaksi inti (termasuk peluruhan) selalu berlaku:

- Hukum kekekalan nomor atom

Jumlah nomor atom, sebelum reaksi = sesudah reaksi

$$e + f = g + h$$

- Hukum kekekalan nomor massa

Jumlah nomor massa, sebelum reaksi = sesudah reaksi

$$a + b = c + d$$

- Hukum kekekalan energi

Jumlah energi, sebelum reaksi = sesudah reaksi

Dengan 1 sma setara 931 MeV, maka:

$$Q = \{(m_x + m_p) - (m_y + m_r)\} \times 931 \text{ MeV}$$

$Q > 0$ dibebaskan energi (eksotermik)

$Q < 0$ diserap energi (endotermik)

- Hukum kekekalan momentum Linier

Jumlah momentum linier, sebelum reaksi = sesudah reaksi

$$\text{momentum } ({}_e^aX) + \text{momentum } ({}_f^bP) = \text{momentum } ({}_g^cY) + \text{momentum } ({}_h^dR)$$

- Hukum kekekalan momentum Sudut

Jumlah momentum sudut, sebelum reaksi = sesudah reaksi