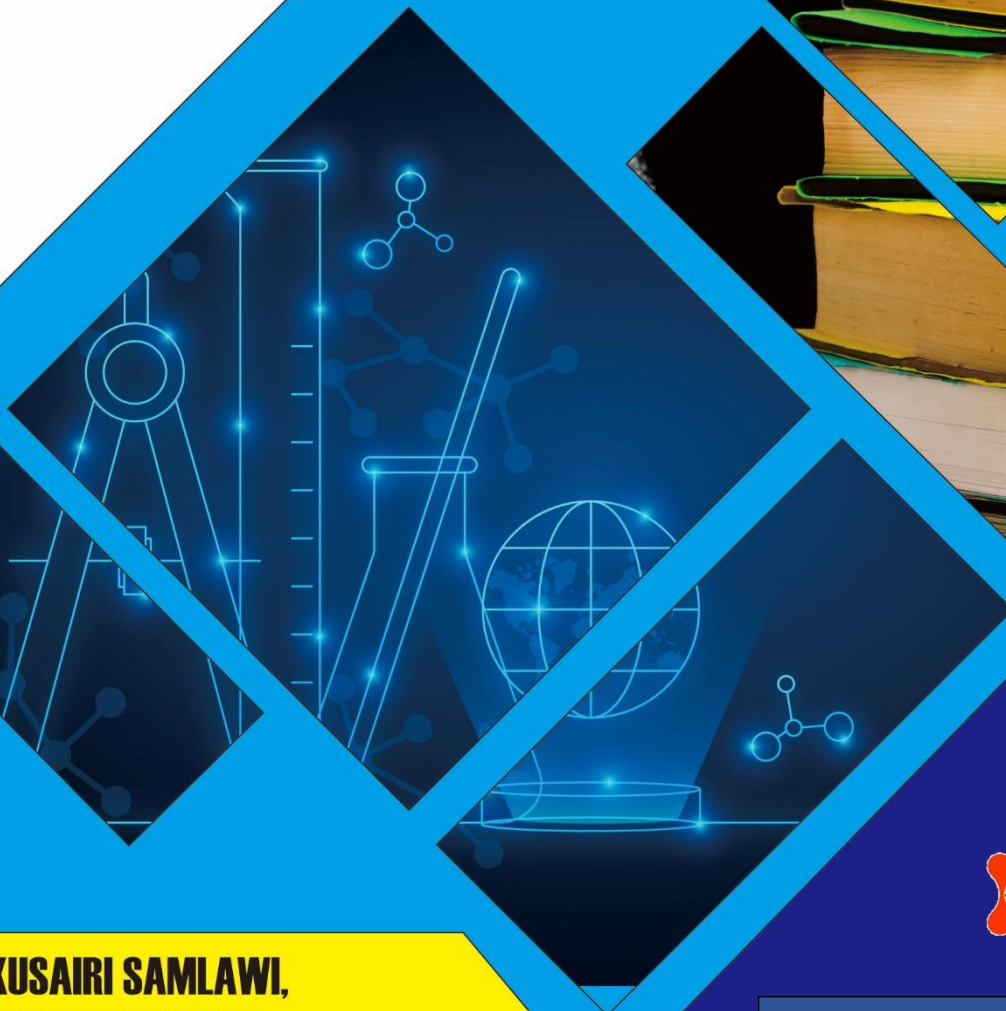


# FISIKA DASAR



**ACHMAD KUSAIRI SAMLAWI,  
AHMAD SAHRU ROMADHON ;**

Editor, Taufik Ardianto, Windar Adi Susilo;  
Desain Sampul, Dwi Syamsu Aidah Yahya;

978-623-6078-6

# FISIKA DASAR

**Penulis :**  
**ACHMAD KUSAIRI SAMLAWI**  
**AHMAD SAHRU ROMADHON**

**Diterbitkan oleh:**  **citra**  
dharma cindekia

## **Penerbit Yayasan Citra Dharma Cindekia**

*Bantengmati RT 04 RW 05, Ds. Karanganyar, Kec. Purwodadi. Kabupaten Grobogan. Jawa Tengah*  
*Web: <https://penerbit.citradharma.org/> ; Telp. 0895605883330 ;*  
*email: [citra.dharmacindekia@gmail.com](mailto:citra.dharmacindekia@gmail.com)*

---

**Hak cipta dilindungi oleh Undang-undang.**  
**Dilarang memperbanyak Buku ini sebagian atau**  
**seluruhnya, dalam bentuk dan cara apa pun, baik secara**  
**mekanik maupun elektronik, termasuk fotocopi,**  
**rekamandan lain-lain tanpa izin tertulis dari penerbit**

---

**Cetakan Pertama, November 2023**

Editor :  
**Taufiq Ardianto**  
**Windar Adi Susilo**

**ISBN: 978-623-6078-97-6**

## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayahNYA sehingga penyusunan Buku Referensi FISIKA TEKNIK dapat diselesaikan.

Buku Referensi Fisika Teknik ini disusun untuk memenuhi kebutuhan Buku referensi Mata Kuliah FISIKA di Fakultas Teknik, sehingga diharapkan buku referensi ini bisa membantu untuk memperkaya khasanah literatur di Fakultas Teknik pada umumnya, sedangkan penyampaianya disesuaikan dengan silabus masing-masing program studi atau jurusan

Ucapan terima kasih kami sampaikan semua pihak atas dukungan yang diberikan sehingga penyusunan buku referensi dapat dituntaskan.

Tak ada sesuatu yang sempurna, maka kritik dan saran kami harapkan dari semua pihak untuk perbaikan dan penyempurnaan buku referensi ini.

Bangkalan, 1 Agustus 2023

ACHMAD KUSAIRI SAMLAWI  
AHMAD SAHRU ROMADHON

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	
KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI .....	iii
BAB I. BESARAN DAN SISTEM SATUAN.....	1
1.1. Besaran .....	1
1.2. Sistem Satuan .....	1
1.3. Dimensi Besaran .....	3
1.4. Macam-macam Besaran .....	4
BAB II. KINEMATIKA PARTIKEL.....	11
2.1. Pengertian .....	11
2.2. Gerak .....	11
2.4. Kecepatan Sesaat ( $v$ ) .....	13
2.5. Percepatan Rata-rata ( $\bar{a}$ ) .....	13
2.6. Percepatan Sesaat ( $a$ ) .....	14
2.7. Gerak Lurus dengan Percepatan Konstan .....	16
2.9. Gerak Vertikal ke atas .....	20
2.10. Gerak Peluru (Gerak Projektil) .....	22
BAB III. DINAMIKA PARTIKEL .....	28
3.1. Pengertian .....	28
3.2. Berat.....	28
BAB IV. KERJA (USAHA) DAN ENERGI .....	55
4.1. Kerja oleh Gaya Tetap .....	55
4.2. Kerja oleh Gaya yang Berubah .....	55
4.3. Kerja dan Energi Kinetik.....	56
4.4. Gaya Konservatif dan Tidak Konservatif .....	58
4.5. Kerja dan Energi Potensial.....	59
4.6. Energi Mekanik ( $E_m$ ) .....	59
4.7. Daya.....	61
BAB V. IMPULS DAN MOMENTUM .....	64
5.1. Impuls dan momentum .....	64
5.2. Kekekalan Momentum Linier.....	67
5.3. Tumbukan Lenting dan Tak Lenting .....	70
5.4. Pusat massa.....	71
5.5. Gerakan dari Pusat Massa.....	72
5.6. Gaya Luar dan Pusat Massa dari Gerakan.....	73

BAB 6. ELEKTROSTATIKA.....	75
6.1. Gaya Listrik.....	75
6.2. Medan Listrik (Electrical Field) .....	79
6.3. Hukum Gauss.....	84
6.4. Energi Potensial Listrik .....	87
6.5. Potensial Listrik.....	88
6.6. Ekipotensial .....	91
6.7. Kapasitor dan Dielektrik .....	92
BAB 7. LISTRIK ARUS SEARAH.....	102
7.1. Arus Listrik.....	102
7.2. Resistansi dan Hukum Ohm .....	104
7.3. Rangkaian Resistor.....	104
7.4. Hukum Kirchhoff .....	108
7.5. Konsep Loop .....	110
7.6. Energi dan Daya Listrik.....	113
BAB 8. MEDAN MAGNETIK.....	115
8.1. Medan Magnet.....	115
8.2. Gaya Lorentz .....	116
8.3. Hukum Biot Savart.....	118
8.4. Fluks Magnet .....	126
BAB 9. INDUKSI MAGNETIK .....	128
9.1. Hukum Faraday .....	129
9.2. Hukum Lenz .....	130
9.3. Generator .....	132
9.4. Induktansi .....	134
9.5. Transformator .....	136
BAB 10. ARUS BOLAK-BALIK .....	139
10.1. Pengertian Arus Bolak-balik .....	139
10.2. Arus AC dalam Tahanan (Resistor).....	140
10.3. Arus AC dalam Kapasitor .....	142
10.4. Arus AC dalam Induktor .....	144
10.5. Impedansi .....	149
10.6. Resonansi Rangkaian Seri RLC .....	152

# BAB I. BESARAN DAN SISTEM SATUAN

## 1.1. Besaran

Fisika adalah ilmu yang mempelajari fenomena alam. Namun pada umumnya, pengamatan terhadap fenomena-fenomena alam kurang lengkap jika tidak dapat memberikan informasi yang kuantitatif (terukur). Maka dari itu diperlukan suatu pengukuran.

Pengukuran adalah cara untuk mendapatkan informasi yang kuantitatif terhadap sifat-sifat fisis. Artinya dengan pengukuran tersebut sifat-sifat fisis fenomena alam dapat dinyatakan dengan suatu bilangan. Sifat-sifat fisis ini disebut **Besaran**, misalnya : panjang, Volume, momentum, dll.

Dalam Fisika, besaran-besaran dapat dinyatakan dengan besaran lain yang lebih sederhana, misalnya : besaran gaya dinyatakan dengan besaran massa, panjang dan waktu. Ketiga besaran tidak dapat dinyatakan dengan besaran lain yang lebih sederhana. Besaran massa, panjang dan waktu dinamakan **Besaran Pokok (Besaran Dasar)**, sedangkan besaran yang diturunkan dari besaran Pokok disebut **Besaran Turunan**.

## 1.2. Sistem Satuan

Pengukuran terhadap sifat-sifat fisis dilakukan dengan membandingkan besaran yang akan diukur dengan suatu **Besaran Standar** yang dinyatakan dengan bilangan dan satuan. Besaran Standar hanya diberikan untuk besaran pokok saja.

Besaran-besaran pokok yang diakui berdasarkan perjanjian Internasional beserta satuannya (Sistem Internasional, SI) adalah sebagai berikut :

**BESARAN POKOK SI DAN SATUANNYA.**

No	BESARAN POKOK	SATUAN	SIMBOL	DIMENSI
1	Panjang	Meter	m	[L]
2	Massa	Kilogram	kg	[M]
3	Waktu	Sekon	s	[T]
4	Arus Listrik	Ampere	A	[I]
5	Temperatur/Suhu	Kelvin	K	[Θ]
6	Jumlah Zat	Mole	mol	[N]
7	Intensitas Cahaya	Kandela	cd	[J]

**BESARAN TAMBAHAN**

No	BESARAN	SATUAN	SIMBOL	DIMENSI
1	Sudut Datar	Radian	rad	[-]
2	Sudut Ruang	Steradian	ste	[-]

**BESARAN TURUNAN SI DAN SATUANNYA.**

No	BESARAN TURUNAN	SATUAN	SIMBOL
1	Kecepatan	m/s	v
2	Percepatan	m/s <sup>2</sup>	a
3	Massa Jenis	kg/m <sup>3</sup>	ρ
4	Luas	m <sup>2</sup>	A
5	Volume	m <sup>3</sup>	V
6	Berat	kg m/s <sup>2</sup>	w
7	Gaya	Newton	N
8	Energi	Joule	J
9	Daya	Watt	W
10	Tekanan	Pascal	Pa
11	Frekuensi	Hertz	Hz
12	Muatan Listrik	Coulomb	C
13	Beda Potensial	Volt	V
14	Hambatan Listrik	Ohm	Ω
15	Fluks Magnet	Weber	Wb
16	Fluks Cahaya	Lumen	ln

Disamping SI, ada beberapa Sistem Satuan lain yang sering digunakan, diantaranya :

No	SISTEM SATUAN	Panjang	Massa	Waktu	Gaya
1	Dinamis Besar (MKS)	m	kgm	s	Newton
2	Dinamis Kecil (CGS)	cm	gm	s	Dyne
3	Inggris Absolut	ft	lbm	s	Pdl
4	Inggris Teknik	ft	slug	s	lbf

Dalam SI awalan hanya diberikan pada satuan yang memiliki nama tersendiri dan dinyatakan dengan faktor  $10^{3n}$ , dengan n adalah bilangan bulat antara -6 sampai dengan +6.

n	+6	+5	+4	+3	+2	+1	-1	-2	-3	-4	-5	-6
$10^{3n}$	$10^{18}$	$10^{15}$	$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$	$10^{-15}$	$10^{-18}$
<b>Nama</b>	Eksa	Peta	Tera	Giga	Mega	Kilo	Milli	Mikro	Nano	Piko	Femto	Atto
<b>Simbol</b>	E	P	T	G	M	k	m	$\mu$	n	p	f	a

**Contoh 1.1 :**

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J} = 0,16 \cdot 10^{-18} \text{ J} = 0,16 \text{ aJ}.$$

**ATURAN :**

- Pakailah satu awalan saja:  
Untuk menyatakan  $10^{-12}\text{F}$  jika dituliskan  $1 \mu \mu \text{ F}$  adalah **salah**, seharusnya  $1 \text{ pF}$
- Awalan hanya boleh dibubuhkan pada satuan pokok :  
Misal : satuan luas  $\text{m}^2$  : Untuk menyatakan  $1000 \text{ m}^2$  **tidak boleh** dituliskan  $1 \text{ (kilo)m}^2$  atau  $1 \text{ km}^2$  tetapi  $1000 \text{ J}$  boleh dituliskan  $1 \text{ kJ}$ , karena Joule adalah nama tertentu satuan energi.
- Awalan menyatu dengan satuan pokoknya, sehingga ikut dipangkatkan, misal :  
 $1 \text{ km}^2$  berarti  $1 \times (1000 \text{ m})^2$ , maka sama dengan  $10^6 \text{ m}^2$

**1.3. Dimensi Besaran**

Dalam mekanika, semua besaran dapat dinyatakan dengan besaran pokok, yakni : panjang, masa dan waktu. Panjang dimensinya [L], massa dimensinya [M] dan waktu dimensinya [T] ; sedangkan besaran-besaran yang lain dapat dinyatakan dengan menggabungkan ketiga dimensi tersebut.

Contoh :

- Dimensi Kecepatan :  
Kecepatan =  $\frac{\text{Dimensi panjang}}{\text{Dimensi waktu}}$



$$= \frac{[L]}{[T]} = [L] [T]^{-1}$$

➤ Dimensi Gaya :

$$F = m a$$

*Dimensi gaya = Dimensi massa x Dimensi percepatan*

$$= \text{Dimensi massa} \times \frac{\text{Dimensi Kecepatan}}{\text{Dimensi waktu}}$$

$$= [M] \frac{[L]}{[T]} \frac{1}{[T]} = [M] [L] [T]^{-2}$$

Soal-Soal :

1. Tentukan Dimensi dari :

- |                |            |
|----------------|------------|
| a. Luas        | e. Berat   |
| b. Volume      | f. Energi  |
| c. Percepatan  | g. Daya    |
| d. Massa Jenis | h. Tekanan |

2. Ubahlah Sistem Satuan Berikut :

Jika diketahui :

No	SI	British
1	1 m	3.281 ft
2	1 kg	2.205 lb
3	1 N	0.2248 lbf

No	Besaran	SI	British
1	Luas	1 m <sup>2</sup>	Ft <sup>2</sup>
2	Volume	1 m <sup>3</sup>	Ft <sup>3</sup>
3	Kecepatan	1 m/s	Ft/s
4	Percepatan	1 m/s <sup>2</sup>	Ft/s <sup>2</sup>
5	Massa Jenis	1 kg/m <sup>3</sup>	Lb/ft <sup>3</sup>
6	Gaya	1 N/m <sup>2</sup>	Lbf/ft <sup>2</sup>

#### 1.4. Macam-macam Besaran

Dalam pemakaian perlu dibedakan mengenai Besaran Vektor dan Besaran Skalar.

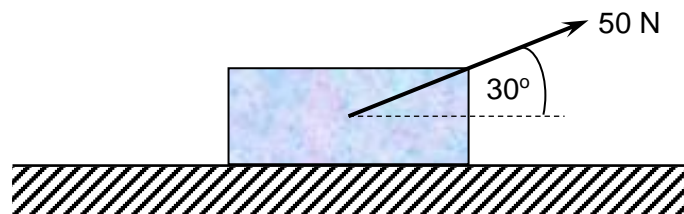
**Besaran Skalar** adalah besaran dalam Fisika yang hanya mempunyai besar saja, misal : Massa, Panjang, Luas, Volume, Suhu, dan lain-lain.

Besaran Vektor dapat digambarkan dengan sebuah anak panah yang panjangnya sesuai dengan besarnya.

**Besaran Vektor** adalah besaran dalam Fisika yang mempunyai besar dan arah, misal : percepatan, kecepatan, gaya, momentum, berat, dan lain-lain.

**Contoh 1.2 :**

Sebuah Vektor Gaya sebesar 50 N dengan arah  $30^\circ$  terhadap horizontal, dapat digambarkan :



**a. Resultan Sejumlah Vektor Gaya**

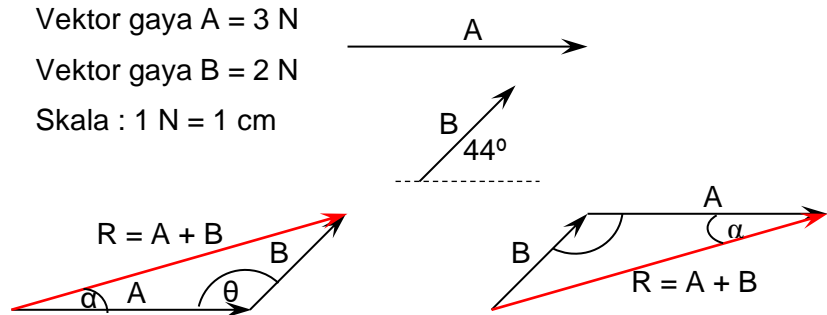
- Secara grafis (Metode Poligon)
- Menggunakan skala gaya

**Contoh 1.3 :**

Vektor gaya A = 3 N

Vektor gaya B = 2 N

Skala : 1 N = 1 cm



Diukur dengan penggaris : R = 4,7 cm berarti R = 4,7 N dan  $\theta = 136^\circ$

Jadi Resultan R = A + B = B + A

Besarnya R diukur dengan penggaris secermat mungkin dan sudut  $\alpha$  atau  $\theta$  diukur dengan busur derajat.

Dengan metode trigonometri bisa juga dihitung bila  $\theta$  adalah sudut antara vektor A dan vektor B maka R ditentukan berdasarkan :

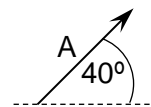
$$R^2 = A^2 + B^2 - 2AB \cos \theta$$

Sudut  $\alpha$  antara R dan A diperoleh dari hubungan :

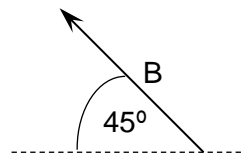
$$\frac{\sin \alpha}{B} = \frac{\sin \theta}{R}$$

**Contoh 1.4 :**

Vektor gaya A = 1,5 N



Vektor gaya B = 3 N



Vektor gaya C = 2 N



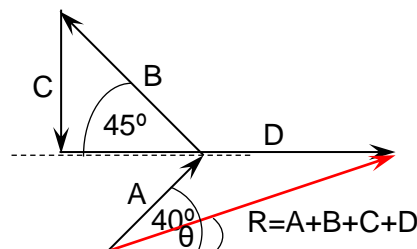
Vektor gaya D = 4 N



Skala : 1 N = 1 cm

Hitung Resultan dari ke-4 vektor gaya tersebut di atas !.

Penyelesaian :

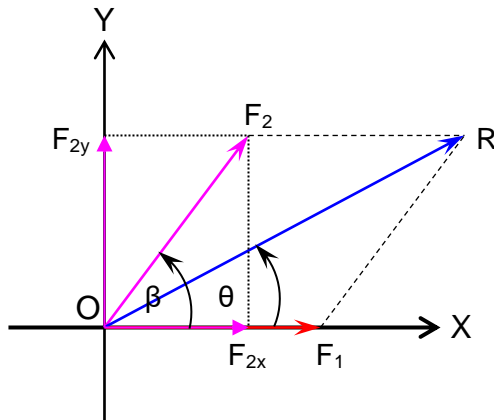


Diukur : \* dengan penggaris didapat R = 3,2 cm berarti

$$R = 3,2 \text{ N}$$

\* dengan busur derajat didapat  $\theta = 20^\circ$

- Secara Analisis dengan penguraian tegak lurus

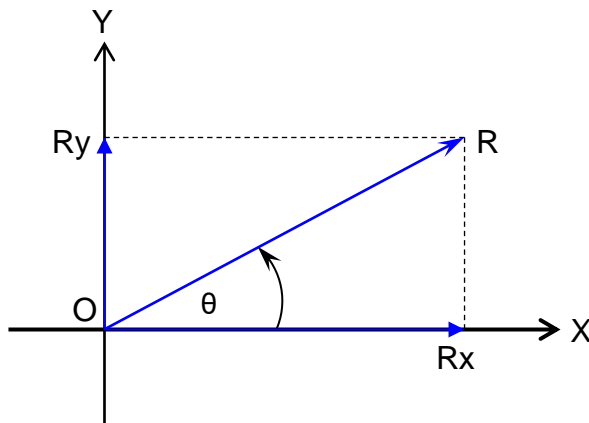


$$\sum F_x = R_x = F_1 + F_{2x}$$

$$R_x = F_1 + F_2 \cos \beta$$

$$\sum F_y = R_y = F_{2y}$$

$$R_y = F_2 \sin \beta$$



$$R_x = R \cos \theta$$

$$R_y = R \sin \theta$$

$$\text{Tg} \theta = \frac{R_y}{R_x}$$

$$\theta = \text{arc Tg} \frac{R_y}{R_x}$$

### Contoh 1.5 :

Diketahui :

Seperti gambar di atas :  $F_1 = 3 \text{ lb}$ ,  $F_2 = 4 \text{ lb}$ ,  $\beta = 60^\circ$

Ditanya :

Hitung resultan kedua gaya tersebut dan sudut  $\theta$  (sudut resultan gaya terhadap sumbu X).

Penyelesaian :

$$\sum F_x = R_x = F_1 + F_{2x}$$

$$R_x = F_1 + F_2 \cos \beta = 3 \text{ lb} + 4 \text{ lb} \cos 60^\circ$$

$$R_x = 5 \text{ lb}$$

$$\sum F_y = R_y = F_{2y}$$

$$R_y = F_2 \sin \beta = 4 \cdot 0,866 = 3,464 \text{ lb}$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2} = \sqrt{5^2 + 3,464^2} = 6,083 \text{ lb}$$

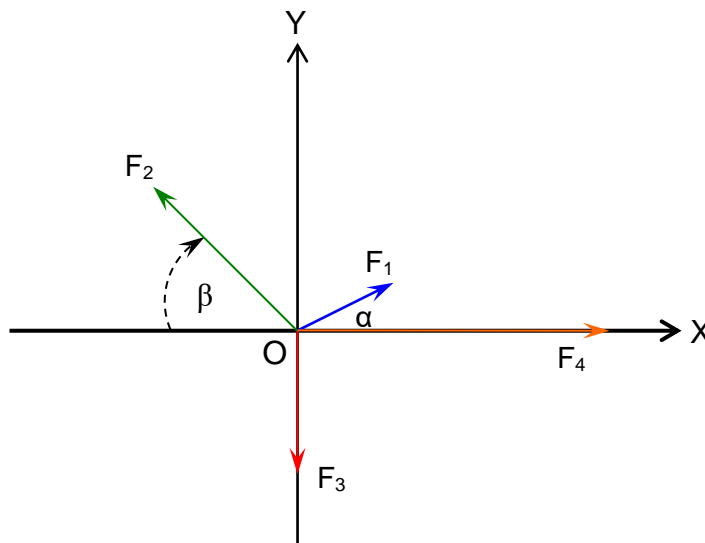
$$\theta = \text{arc Tg} \frac{R_y}{R_x} = \text{arc Tg} \frac{3,464}{5} = 34,714^\circ$$

**Contoh 1.6 :**

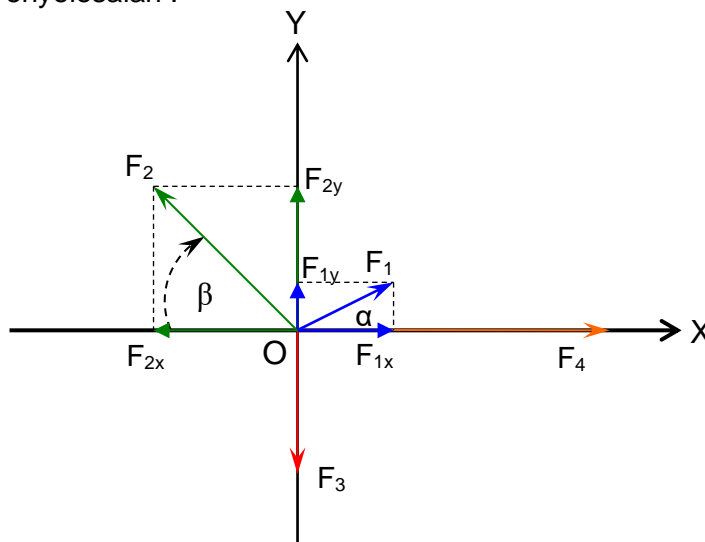
Diketahui : gaya  $F_1 = 1,5 \text{ N}$ ,  $F_2 = 3 \text{ N}$ ,  $F_3 = 2 \text{ N}$ , dan  $F_4 = 4 \text{ N}$

Sudut  $\alpha = 40^\circ$  dan sudut  $\beta = 45^\circ$

Ditanya : Hitung resultan ke empat gaya tersebut dan sudut  $\theta$  terhadap sumbu X.



Penyelesaian :



$$R_x = \sum F_x = F_{1x} - F_{2x} + F_4$$

$$R_x = F_1 \cos \alpha - F_2 \cos \beta + F_4$$

$$R_x = 1,5 \cos 40^\circ - 3 \cos 45^\circ + 4$$

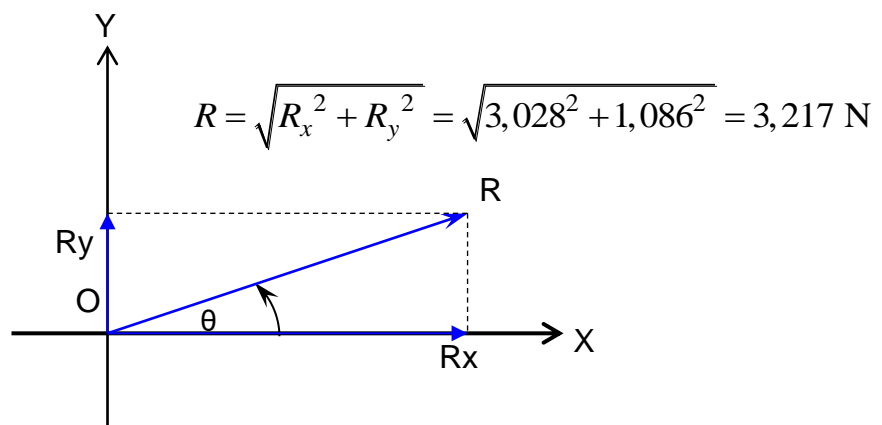
$$R_x = 3,028 \text{ N}$$

$$R_y = \sum F_y = F_{1y} + F_{2y} - F_3$$

$$R_y = F_1 \sin \alpha + F_2 \sin \beta - F_3$$

$$R_y = 1,5 \sin 40^\circ + 3 \sin 45^\circ - 2$$

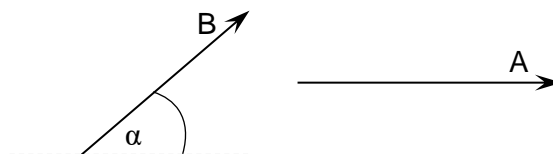
$$R_y = 1,086 \text{ N}$$



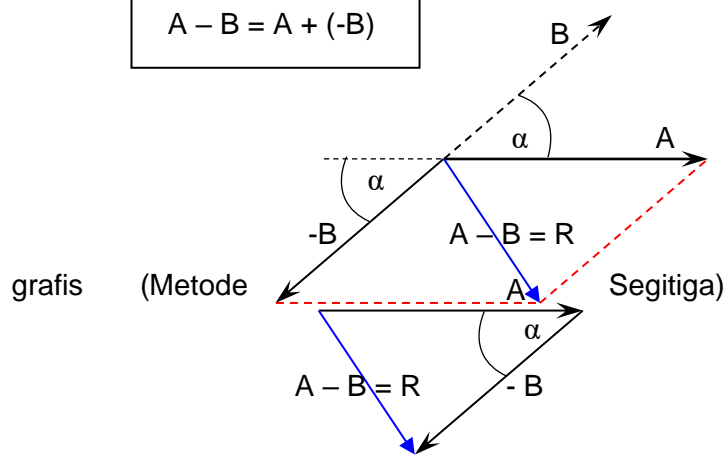
$$\theta = \text{arc Tg} \frac{R_y}{R_x} = \text{arc Tg} \frac{1,086}{3,028} = 19,73^\circ$$

**b. Selisih Vektor Gaya**

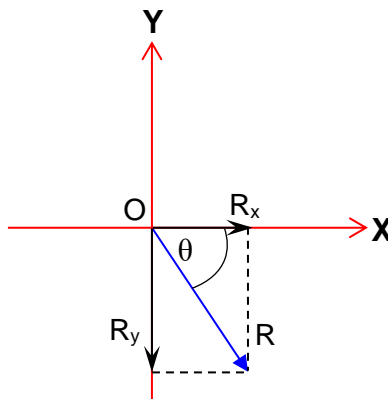
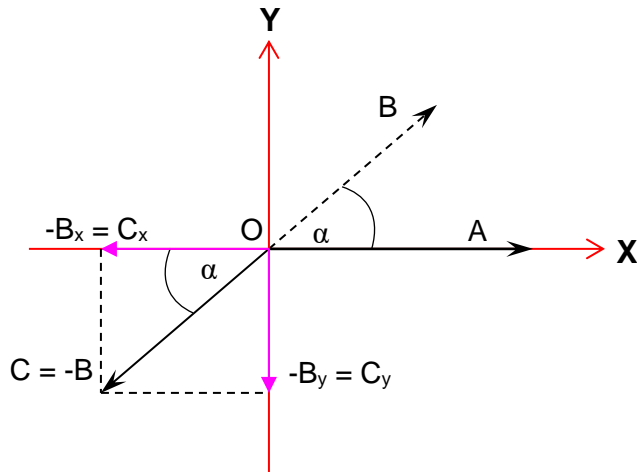
- Secara grafis (Metode Paralelogram atau jajaran genjang)



$$A - B = A + (-B)$$



- Secara Analitis (Metode Penguraian tegak lurus)



$$R_x = \sum F_x = A - C_x = A - C \cos \alpha$$

$$R_y = \sum F_y = -C_y$$

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}$$

$$\theta = \text{arc Tg} \frac{R_y}{R_x}$$

## BAB II. KINEMATIKA PARTIKEL

### 2.1. Pengertian

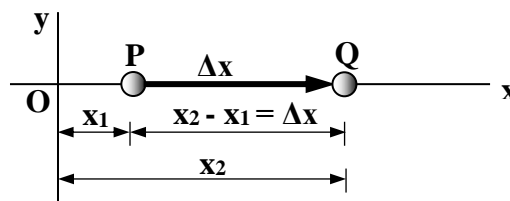
Cabang mekanika yang mempelajari gerakan benda dengan konsep ruang dan waktu tanpa memperhatikan penyebab geraknya disebut **kinematika**. Selama bergerak, selain mengalami translasi, benda dapat juga mengalami rotasi. Untuk menghindari terjadinya kerumitan, anggaplah benda tersebut merupakan benda ideal yang dapat diperlakukan sebagai sebuah **partikel**. Karena benda-benda ini diperlakukan sebagai partikel maka disebut **Kinematika Partikel**.

### 2.2. Gerak

Gerak dapat didefinisikan sebagai **perubahan letak** atau kedudukan suatu benda terhadap titik acuan atau titik asal tertentu. Letak sebuah benda dengan mudah dapat ditentukan berdasarkan proyeksinya pada ketiga sumbu suatu sistem koordinat tegak lurus (Koordinat Kartesius X-Y-Z).

Berdasarkan **lintasannya** gerak dapat dibedakan menjadi gerak lurus, gerak melingkar, gerak parabola, dll.

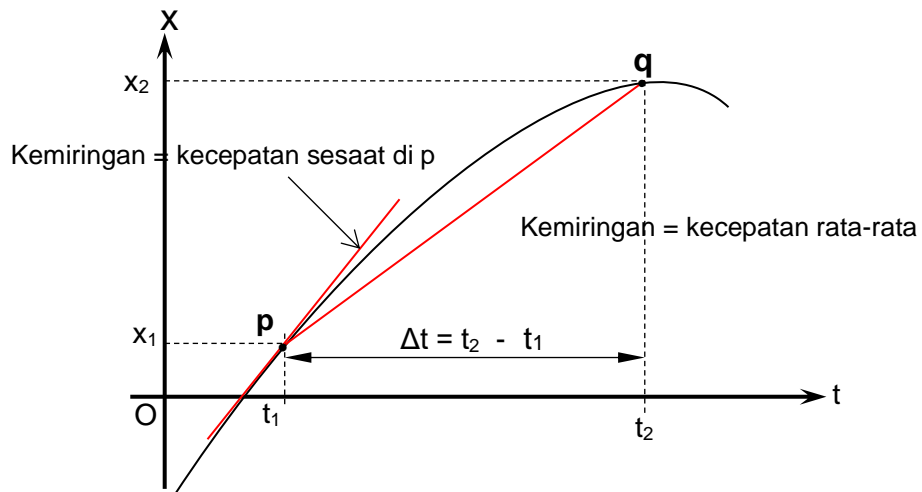
Gerak Lurus adalah suatu gerak yang lintasannya merupakan garis lurus.



Gambar 2.1. Partikel Bergerak pada sumbu-x

Suatu partikel berada pada posisi  $x_1$  pada saat  $t_1$  dan  $x_2$  pada saat  $t_2$ . Perubahan posisi  $x_2 - x_1 = \Delta x$  dinamakan **perpindahan** partikel.





Gambar 2.2. Grafik koordinat - waktu gerak

### 2.3. Kecepatan Rata-rata ( $\bar{v}$ )

Kecepatan rata-rata didefinisikan **sebagai perbandingan perubahan perpindahannya (posisi) dengan perubahan waktu.**

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

Pada gambar 2.2. dilukiskan sebagai kemiringan garis p-q. Kecepatan rata-rata adalah besaran vektor.

Persamaan diatas dapat diubah bentuknya menjadi :

$$x_2 - x_1 = \bar{v}(t_2 - t_1)$$

atau dapat dituliskan secara umum :

Jika pada kondisi awal :  $t_1 = t_0 = 0$  dengan posisi  $x_1 = x_0$ ,

dan pada kondisi akhir :  $t_2 = t$  dengan posisi  $x_2 = x$ ,

maka persamaan dapat dituliskan :

$$x - x_0 = \bar{v} t$$

Jika  $x_0 = 0$  maka persamaan menjadi lebih sederhana :

$$x = \bar{v} t$$

## 2.4. Kecepatan Sesaat ( $v$ )

Kecepatan sesaat adalah kecepatan partikel pada satu saat atau pada satu titik di lintasannya dan secara matematis didefinisikan sebagai harga limit dari kecepatan rata-rata bila jarak kedua titik tersebut semakin dekat, atau dapat dituliskan :

$$v = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{dx}{dt}$$

Pada gambar 2.2. dilukiskan sebagai kemiringan garis yang memotong titik  $p$ . **Kecepatan sesaat di  $p$**  sama dengan kemiringan tangen di  $p$ .

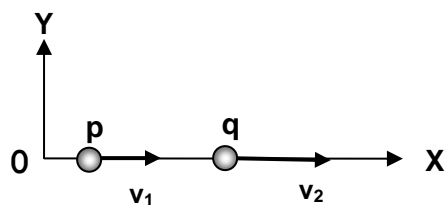
**“ Kecepatan sesaat pada saat tertentu adalah kemiringan garis yang menyinggung kurva  $x$  terhadap  $t$  pada saat itu”**

## 2.5. Percepatan Rata-rata ( $\bar{a}$ )

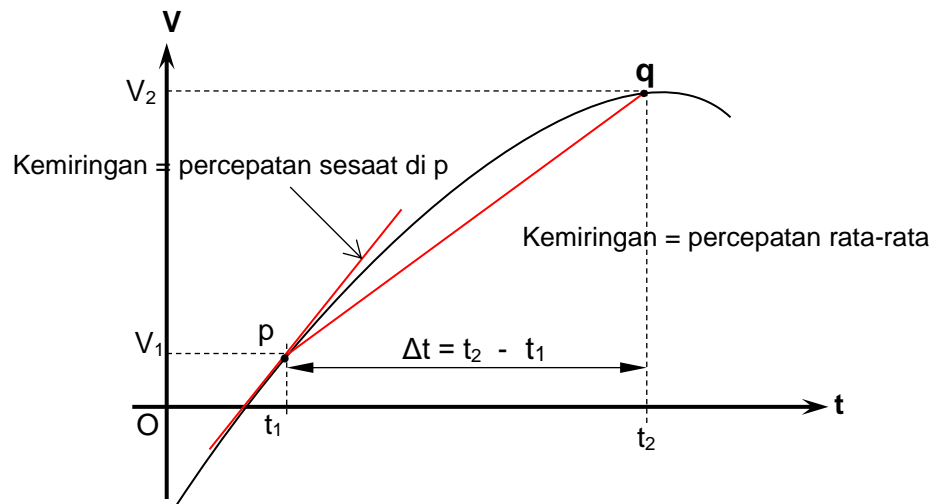
Percepatan rata-rata didefinisikan sebagai perbandingan antara perubahan kecepatan pada selang waktu tertentu.

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Pada gambar 2.4. dilukiskan sebagai kemiringan garis  $p$ - $q$ . Percepatan rata-rata adalah besaran vektor.



Gambar 2.3. Partikel Bergerak pada sumbu-x



Gambar 2.4. Grafik kecepatan - waktu gerak

## 2.6. Percepatan Sesaat (a)

Percepatan sesaat adalah percepatan partikel pada satu saat atau pada satu titik di lintasannya dan secara matematis didefinisikan sebagai harga limit dari percepatan rata-rata bila jarak kedua titik tersebut semakin dekat, atau dapat dituliskan :

$$a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{dv}{dt}$$

Pada gambar 2.4. dilukiskan sebagai kemiringan garis yang memotong titik p. Percepatan rata-rata adalah besaran vektor.

Dalam hukum-hukum mekanika, percepatan rata-rata tidak begitu banyak dipakai dan pada pembahasan selanjutnya yang dimaksudkan percepatan adalah percepatan sesaat. Definisi percepatan berlaku untuk sebarang lintasan, baik lintasan lurus maupun lengkung. Percepatan (a) dapat dirumuskan dalam berbagai bentuk, misalnya :

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} \left[ \frac{dx}{dt} \right] = \frac{d^2x}{dt^2}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \left[ \frac{dx}{dt} \right] = v \frac{dv}{dx}$$

**Contoh 2.1 :**

Persamaan gerak suatu partikel mengikuti persamaan  $x = a + bt^2$  dengan  $a = 20 \text{ cm}$  dan  $b = 4 \text{ cm s}^{-2}$ .

- [a]. Tentukan perpindahan partikel selang waktu antara  $t_1 = 2 \text{ s}$  dan  $t_2 = 5 \text{ s}$ .
- [b]. Tentukan kecepatan rata-rata selama selang waktu tersebut.
- [c]. Tentukanlah kecepatan sesaat pada waktu  $t_1 = 2 \text{ s}$ .

**Penyelesaian :**

[a]. Persamaan gerak :  $x = 20(\text{cm}) + 4(\text{cm s}^{-2})(t)^2(\text{s}^2)$ .

Pada  $t_1 = 2 \text{ s}$ , maka  $x_1 = 20(\text{cm}) + 4(\text{cm s}^{-2})(2)^2(\text{s}^2) = 36 \text{ cm}$

Pada  $t_2 = 5 \text{ s}$ , maka  $x_2 = 20(\text{cm}) + 4(\text{cm s}^{-2})(5)^2(\text{s}^2) = 120 \text{ cm}$

Perpindahannya =  $x_2 - x_1 = 120 - 36 = 84 \text{ cm}$ .

[b]. Kecepatan rata-rata selama selang waktu tersebut:

$$\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{120 - 36 \text{ cm}}{5 - 2 \text{ s}} = \frac{84}{3} \text{ cm s}^{-1} = 28 \text{ cm s}^{-1}$$

[c]. Kecepatan sesaat pada waktu  $t_1 = 2 \text{ s}$  :

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} [a + bt^2] = 2bt$$

pada  $t = 2 \text{ s}$ , maka kecepatan sesaat :

$$v = \frac{dx}{dt} = \frac{d}{dt} [a + bt^2] = 2bt = 2(4 \text{ cm s}^{-2})(2 \text{ s}) = 16 \text{ cm s}^{-1}$$

**Contoh 2.2 :**

Persamaan Kecepatan partikel,  $v = m + nt^2 \text{ [cm/s]}$ .

Dengan :  $m = 10 \text{ cm/s}$  dan  $n = 2 \text{ cm/s}^3$ .

- [a]. Tentukan perubahan kecepatan dalam selang waktu antara  $t_1 = 2 \text{ s}$  dengan  $t_2 = 5 \text{ s}$ .
- [b]. Tentukan percepatan rata-rata selama selang waktu tsb.
- [c]. Tentukan percepatan sesaat pada  $t_1 = 2 \text{ s}$ .

**Penyelesaian :**

[a]. Persamaan kecepatan :  $v = 10(\text{cm/s}) + 2(\text{cm s}^{-3})(t)^2(\text{s}^2)$ .

Pada  $t_1 = 2 \text{ s}$ , maka  $v_1 = 10(\text{cm/s}) + 2(\text{cm s}^{-3})(2)^2(\text{s}^2) = 18 \text{ cm/s}$

Pada  $t_2 = 5 \text{ s}$ , maka  $v_2 = 10(\text{cm/s}) + 2(\text{cm s}^{-3})(5)^2(\text{s}^2) = 60 \text{ cm/s}$

Perubahan kecepataannya =  $v_2 - v_1 = 60 - 18 = 34 \text{ cm/s}$ .

[b]. Percepatan rata-rata selama selang waktu tersebut:

$$\bar{a} = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{60 - 18 \text{ cm}}{5 - 2 \text{ s}} = \frac{42}{3} \text{ cm s}^{-2} = 14 \text{ cm s}^{-2}$$

[c]. Kecepatan sesaat pada waktu  $t_1 = 2 \text{ s}$  :

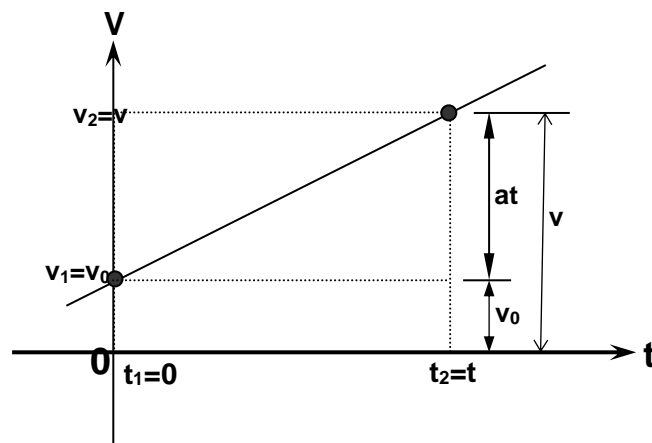
$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} [m + nt^2] = 2nt$$

pada  $t = 2 \text{ s}$ , maka kecepatan sesaat :

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt} [m + nt^2] = 2nt = 2(4 \text{ cm s}^{-2})(2 \text{ s}) = 8 \text{ cm s}^{-2}$$

## 2.7. Gerak Lurus dengan Percepatan Konstan

Gerak dipercepat yang paling sederhana ialah gerak lurus dengan percepatan konstan, artinya kecepatan berubah teratur selama gerak berlangsung. Jika digambarkan dalam grafik kecepatan-waktu (gambar 2.5.), diperoleh garis lurus yang artinya besar pertambahan kecepatan rata-rata sama besar dalam selang waktu yang sama besar pula sehingga percepatan rata-rata ( $\bar{a}$ ) dapat diganti dengan percepatan konstan (**a**).



Gambar 2.5. Grafik kecepatan - waktu

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Dari gambar dapat dilihat :

$t_1=0 : v_1=v_0$  dan  $t_2=t : v_2=v$ ,

maka :

$$a = \frac{v - v_0}{t - t_1} = \frac{v - v_0}{t - 0}$$

dan diperoleh :

$$\mathbf{v = v_0 + at}$$

Kecepatan rata-rata :

$$\bar{v} = \frac{v_0 + v}{2}$$

Jarak perpindahan yang ditempuh (posisi) :

$$x = \bar{v} t$$

$$x = \left( \frac{v_0 + v}{2} \right) t$$

$$x = \left( \frac{v_0 + v_0 + at}{2} \right) t$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

Dari persamaan :  $v = v_0 + at$

$$t = \frac{v - v_0}{a}$$

Dari Persamaan :  $x = \left( \frac{v_0 + v}{2} \right) t$  dengan mensubstitusi nilai t :

$$x = \left( \frac{v_0 + v}{2} \right) \left[ \frac{v - v_0}{a} \right] = \frac{v_2^2 - v_0^2}{2a}$$

$$v^2 = v_0^2 + 2ax$$

Persamaan-persamaan :

$$v = v_0 + at$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2ax$$

adalah **persamaan gerak dengan percepatan konstan**, untuk kejadian dimana partikel berada dititik pangkal pada saat  $t_1=0$ .

Untuk kejadian khusus, jika percepatannya nol, maka persamaannya menjadi lebih sederhana :

$$v = v_0 = \text{konstan}$$

$$x = vt$$

Dari penjabaran persamaan diatas Gerak Lurus dapat dibedakan menjadi dua :

#### 1. **Gerak Lurus Beraturan (GLB)**

Suatu benda disebut Bergerak Lurus Beraturan apabila lintasannya merupakan garis lurus dan kecepatannya setiap saat tetap atau suatu benda juga dikatakan Bergerak Lurus Beraturan apabila dalam selang waktu yang sama dapat menempuh jarak yang sama dan lintasannya merupakan garis lurus.

Persamaannya yang berlaku :

$$v = v_0 = \text{konstan}$$

$$x = vt$$

#### 2. **Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB)**

Suatu benda Bergerak Lurus Berubah Beraturan jika benda tersebut bergerak dengan lintasan garis lurus dan kecepatannya selalu berubah secara beraturan.

Persamaan yang berlaku :

$$v = v_0 + at$$

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

$$v^2 = v_0^2 + 2ax$$

**GLBB** dibagi menjadi dua macam :

- a. Gerak Lurus Berubah Beraturan dipercepat[+a].
- b. Gerak Lurus Berubah Beraturan diperlambat[-a].

### **Contoh 2.3 :**

Sebuah mobil mempunyai kecepatan tetap 60 km/jam. Berapa jarak yang ditempuh mobil dalam waktu 30 menit .

Penyelesaian :

$$x = vt$$

$$x = 60 \text{ km/j} (30 \text{ menit})(1 \text{ jam/ } 60 \text{ menit})$$

$$x = 30 \text{ km.}$$

### **Contoh 2.4 :**

Sebuah benda bergerak dengan kecepatan awal 10 m/s. Setelah bergerak 20 s benda tersebut berhenti. Tentukanlah :

[a]. Perlambatan yang dialami benda.

[b]. Jarak yang ditempuh dari keadaan awal sampai berhenti.

Penyelesaian :

$$v_0 = 10 \text{ m/s} : v_t = 0 \text{ (berhenti)}$$

$$t = 20 \text{ s.}$$

$$[a]. v = v_0 + at$$

$$0 = 10 \text{ m/s} + a(\text{m/s}^2)(20 \text{ s})$$

$$a = -\frac{10 \text{ m/s}}{20 \text{ s}} = -0.5 \text{ m/s}^2 \text{ (Perlambatan tanda } a = \text{ negatif).}$$

[b]. Jarak yang ditempuh :

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$$

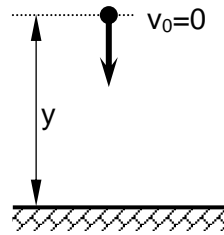
$$x = 10(\text{m/s})(20\text{s}) + \frac{1}{2}(-0.5\text{m/s}^2)(20\text{s})^2$$

$$x = 200 \text{ m} - 100 \text{ m} = 100 \text{ m}$$

## **2.8. Benda Jatuh Bebas**

Suatu benda dikatakan mengalami gerak jatuh bebas, apabila benda tersebut dilepaskan pada suatu ketinggian tertentu terhadap tanah, tanpa kecepatan awal. Benda akan jatuh ke bumi (tanah) karena benda tersebut mendapat percepatan gravitasi ( $g$ ) bumi yang arahnya selalu menuju ke pusat bumi





Gambar 2.6. Gerak Jatuh Bebas

Benda jatuh bebas dari ketinggian  $y$  dari permukaan tanah dan percepatan yang dialami sebesar  $g$ , maka berlakuk persamaan :

Kecepatan awal,  $v_0 = 0$

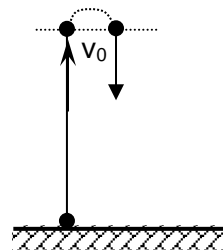
Percepatan,  $a = g$

Kecepatan setelah  $t$  detik,  $v = gt$

Jarak yang ditempuh,  $y = \frac{1}{2} g t^2$

## 2.9. Gerak Vertikal ke atas

Benda yang bergerak vertikal keatas karena dilemparkan dari permukaan tanah dengan kecepatan awal  $v_0$ , makin lama kecepatannya akan berkurang sehingga pada titik tertinggi kecepatan benda sama dengan nol, Benda akan berhenti sesaat kemudian akan berbalik arah kembali ke bawah. Pada saat benda bergerak vertikal ke atas benda itu mengalami perlambatan sebesar percepatan gravitasi bumi ( $g$ ).



Gambar 2.7. Gerak Vertikal ke atas

Kecepatan awal,  $v_0$

Percepatan,  $a = -g$

Kecepatan setelah  $t$  detik :  $v = v_0 - gt$

Jarak yang ditempuh :  $y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$

Untuk menghitung waktu yang diperlukan oleh sebuah benda yang dilemparkan vertikal ke atas mencapai titik tertinggi (maksimum) :

Pada titik tertinggi,  $v = 0$

$$v = v_0 - gt = 0$$

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

Tinggi maksimum,  $y_{maks}$

$$y_{maks} = v_0 [t_{maks}] - \frac{1}{2} g [t_{maks}]^2$$

### **Contoh 2.5 :**

Sebuah benda dilemparkan vertikal ke atas dengan kecepatan awal 20 m/s, percepatan gravitasi ( $g$ )= 10 m/s<sup>2</sup>, tentukan :

[a]. Waktu untuk sampai pada titik tertinggi.

[b]. Tinggi maksimum yang dapat dicapai.

Penyelesaian :

$$[a]. t_{maks} = \frac{v_0}{g} = \frac{20 \text{ m/s}}{10 \text{ m/s}^2} = 2 \text{ s}$$

[b].

$$y_{maks} = v_0 [t_{maks}] - \frac{1}{2} g [t_{maks}]^2 = (20 \text{ m/s})(2 \text{ s}) - \frac{1}{2} (10 \text{ m/s}^2)(2 \text{ s})^2$$

$$y_{maks} = 40 \text{ m} - 20 \text{ m} = 20 \text{ m}$$

## 2.10. Gerak Peluru (Gerak Projektil)

Salah satu contoh gerak lengkung dengan percepatan konstan adalah gerak peluru (proyektil). Gerak ini adalah gerak dua dimensi dari partikel yang dilemparkan miring ke udara. Pengaruh gesekan udara terhadap gerak ini dianggap dapat diabaikan.

Gerak peluru :

- percepatan konstan ( $g$ ) yang mengarah ke bawah
- tidak ada komponen percepatan dalam arah horisontal ( $a_x$ )  
Maka  $a_y = -g$  dan  $a_x = 0$
- pada saat  $t = 0$ , kecepatannya adalah  $V_0$  yang membentuk sudut  $\theta_0$  dengan sumbu x-positif. Sehingga komponen x dan y dari  $V_0$  adalah :

$$V_{0x} = V_0 \cos \theta_0 \text{ dan } V_{0y} = V_0 \sin \theta_0$$

Arah-x :

- Tidak ada komponen percepatan dalam arah horisontal maka komponen kecepatan dalam arah x adalah konstan, dengan

$$a_x = 0 \text{ dan } V_x = V_{0x} + a_x t$$

$$V_x = V_0 \cos \theta_0 + 0.t$$

$$V_x = V_0 \cos \theta_0$$

$$V_x = V_{0x}$$

Arah-y :

- Komponen vertikal berubah terhadap waktu, maka  $a_y = -g$  dengan  $a_x = 0$  dan  $V_{0y} = V_0 \sin \theta_0$  maka :

$$V_y = V_{0y} + a_y.t$$

$$V_y = V_0 \sin \theta_0 - gt$$

$$V_y = V_{0y} - gt$$

Besar resultan vektor kecepatan ( $V$ ) pada sembarang saat adalah

:

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2}$$

Sudut  $\theta$  yang dibentuk oleh vektor kecepatan dengan garis horisontal adalah :

$$\tan \theta = \frac{V_y}{V_x}$$

Besar koordinat x dan y :

\* Dengan  $x_0 = 0$ ,  $a_x = 0$  dan  $V_{ox} = V_0 \cos \theta_0$ , yaitu :

$$x = x_0 + V_{ox}.t + \frac{1}{2}a_x t^2$$

$$x = 0 + V_0 \cos \theta_0.t + \frac{1}{2}.0. t^2$$

$$x = V_0 \cos \theta_0.t$$

$$x = V_{ox}.t$$

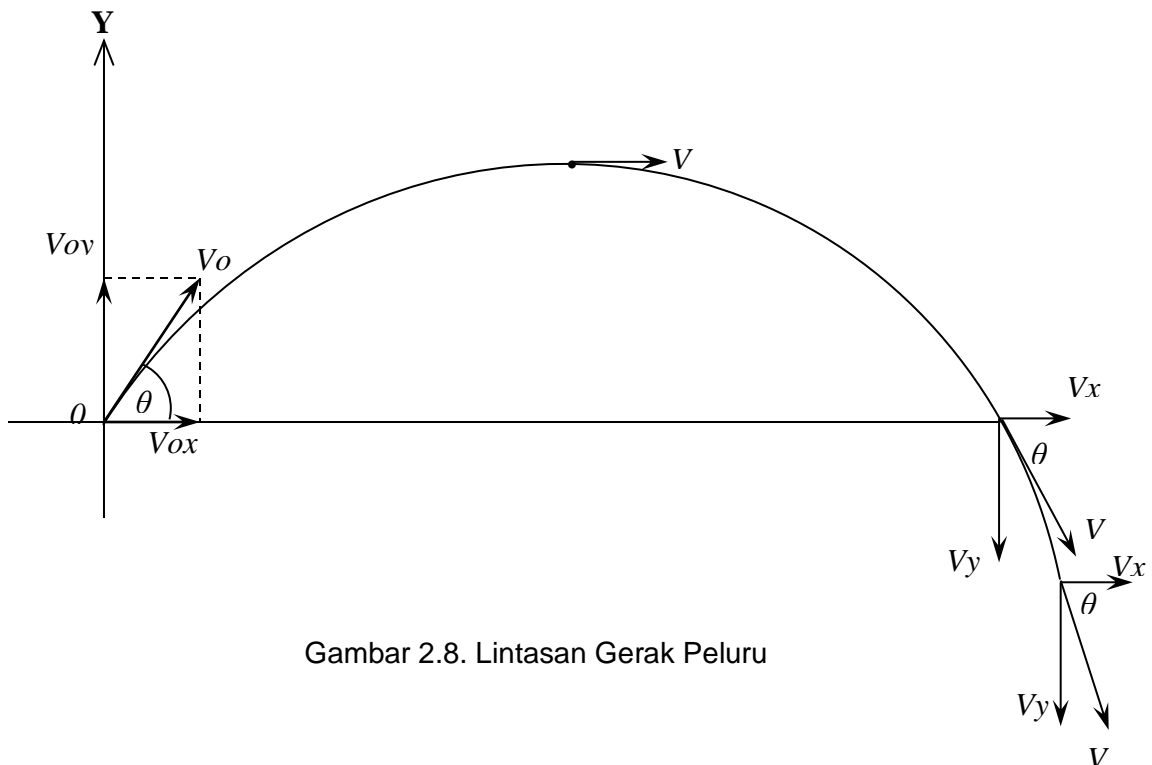
\* Dengan  $y_0 = 0$ ,  $a_y = -g$  dan  $V_{oy} = V_0 \sin \theta_0$ , yaitu :

$$y = y_0 + V_{oy}.t + \frac{1}{2}a_y t^2$$

$$y = 0 + V_0 \sin \theta_0 .t - \frac{1}{2} .g. t^2$$

$$y = V_0 \sin \theta_0 .t - \frac{1}{2} .g. t^2$$

$$y = V_{oy} .t - \frac{1}{2} .g. t^2$$



Gambar 2.8. Lintasan Gerak Peluru

**Contoh 2.6 :**

Seorang pemain bola menendang bola sehingga bola terpental dengan sudut  $37^\circ$  dari horisontal dengan laju awal 50 ft/s. Percepatan gravitasi  $g = 32 \text{ ft/s}^2$ .

- Tentukan waktu ( $t_1$ ) ketika bola mencapai titik tertinggi lintasannya!
- Berapa ketinggian melambungnya bola dalam waktu  $t_1$  tersebut?.
- Berapa jangkauan ( $x$ ) bola dan berapa lama ( $t_2$ ) bola melambung di udara?.
- Berapa kecepatan bola ketika kembali di tanah?.

Penyelesaian :

- Di titik tertinggi, komponen vertikal  $V_y$  adalah nol ( $V_y = 0$ )

$V_0 = 50 \text{ ft/s}$  ;  $g = 32 \text{ ft/s}^2$  dan  $\theta_0 = 37^\circ$  maka :

$$V_y = V_{0y} - g t_1$$

$$V_y = V_0 \sin \theta_0 - g t_1$$

$$0 = 50 \sin 37^\circ - 32t$$

$$t_1 = (50 \cdot 0,602)/32 = 0,941 \text{ s} \quad (\text{waktu untuk mencapai titik tertinggi})$$

- $t = 0,941 \text{ s}$

$$y = V_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$y = V_0 \sin \theta_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

$$y = 50 \sin 37^\circ (0,941) - \frac{1}{2} \cdot 32 \cdot (0,941)^2$$

$$y = 28,315 - 14,168$$

$$y = 14,147 \text{ ft}$$

- Jangkauan adalah jarak horisontal mulai dari titik awal sampai dengan titik lain.

Lama bola melambung di udara ( $t_2$ ) adalah 2 kali  $t_1$ .

$$t_2 = 2 t_1 \rightarrow t_2 = 2(0,941) = 1,882 \text{ s}$$

Atau menggunakan rumus  $y = V_0 \sin \theta_0 \cdot t_2 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_2^2$  dengan  $y = 0$ , sehingga :

$$t_2 = (2 V_0 \sin \theta_0)/g = (2 \cdot 50 \sin 37^\circ)/32 = 1,881 \text{ s}$$

$$\text{Jangkauan } x = V_0 \cos \theta_0 \cdot t$$

$$x = 50 \cos 37^\circ \cdot 1,881$$

$$x = 75,112 \text{ ft}$$

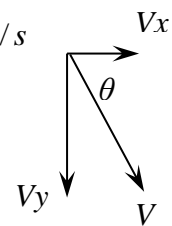
d. Kecepatan bola ketika kembali ke tanah =  $V$

$$V_x = V_0 \cos \theta_0 = 50 \cos 37^\circ = 39,932 \text{ ft/s}$$

$$V_y = V_0 \sin \theta_0 - g t_2 = 50 \sin 37^\circ - 32(1,881) = -30,101 \text{ ft/s}$$

$$V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} = \sqrt{39,932^2 + (-30)^2} = 49,946 \text{ ft/s}$$

$$\tan \theta = \frac{V_y}{V_x} = \frac{30}{39,932} \Rightarrow \theta = 36,917^\circ$$



### **Contoh 2.7 :**

Sebuah bola dilemparkan ke udara dengan kecepatan awal 50 m/s pada sudut  $37^\circ$  terhadap horisontal. Cari waktu total bola berada di udara dan jarak horisontal yang ditempuhnya jika diketahui  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

Penyelesaian :

$$V_0 = 50 \text{ m/s} ; \theta_0 = 37^\circ \text{ dan } g = 10 \text{ m/s}^2$$

Cara a).  $t_2 = 2 \cdot t_1 \rightarrow t_1$  adalah waktu untuk mencapai titik tertinggi  
 $t_2$  adalah lama bola melambung di udara

$$V_y = V_{0y} - g t_1$$

$$V_y = V_0 \sin \theta_0 - g t_1$$

Untuk titik tertinggi maka  $V_y = 0$

$$0 = 50 \sin 37^\circ - 10 t_1$$

$$10 t_1 = 30,091$$

$$t_1 = 3,009 \text{ s}$$

$$\text{Jadi } t_2 = 2 \cdot t_1 = 2 (3,009) = 6,018 \text{ s}$$

Cara b).  $y = V_{0y} \cdot t_2 - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t_2^2$

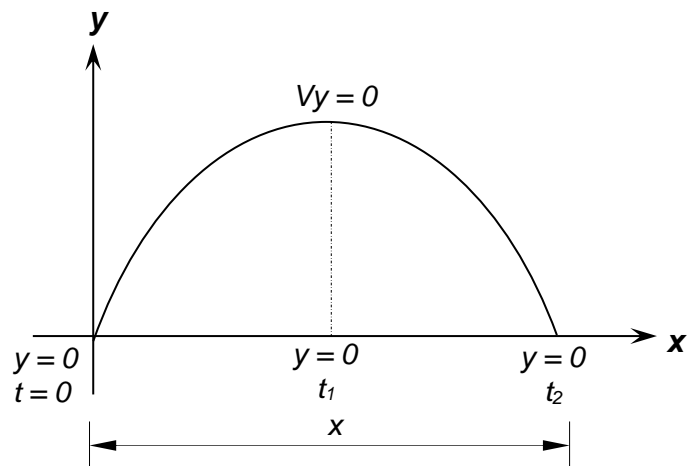
Dengan  $y = 0$

$$0 = 50 \sin 37^\circ t_2 - \frac{1}{2} \cdot 10 t_2^2$$

$$0 = t_2 (50 \sin 37^\circ - \frac{1}{2} \cdot 10 t_2)$$

$$t_2 = 2(50 \sin 37^\circ)/10$$

$$t_2 = 6,018 \text{ s}$$



- Jarak horisontal yang ditempuh (jangkauan) :

$$x = V_{ox} \cdot t$$

$$x = V_o \cos \theta_o \cdot t$$

$$x = 50 \cos 37^\circ \cdot 6,018$$

$$x = 240,309 \text{ m}$$

### **Contoh 2.8 :**

Seperti contoh soal 2.7., tetapi bola dilempar dari tebing yang berada 55 m di atas bidang datar. Dimana bola mendarat?.

Diketahui :  $V_o = 50 \text{ m/s}$

$$\theta_o = 37^\circ$$

$$g = 10 \text{ m/s}^2$$

Penyelesaian :

- Waktu naik (waktu untuk mencapai titik tertinggi) =  $t_1$

$$V_y = V_{oy} - g t_1$$

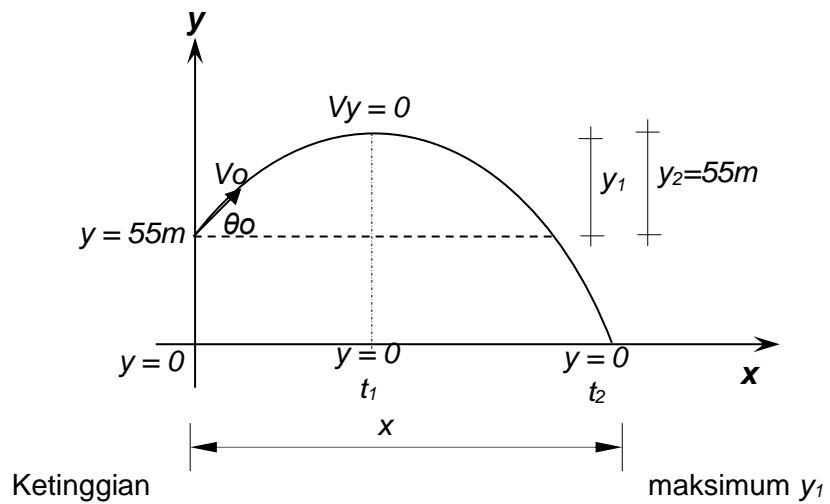
$$V_y = V_o \sin \theta_o - g t_1$$

Untuk titik tertinggi maka  $V_y = 0$

$$0 = 50 \sin 37^\circ - 10 t_1$$

$$10 t_1 = 30,091$$

$$t_1 = 3,009 \text{ s}$$



akan diperoleh :  $y_1 = V_{rata-rata} \cdot t_1$

$$y_1 = \frac{1}{2}(V_{oy} + V_y)t$$

$$y_1 = \frac{1}{2}(50 \sin 37^\circ + 0)3,009$$

$$y_1 = \frac{1}{2}(30,091 + 0)3,009$$

$$y_1 = 45,272 \text{ m}$$

Jarak turun  $\Delta y = y_1 + y_2 = 45,272 + 55 = 100,272 \text{ m}$

Waktu bola jatuh dari diam sejauh 100,272m adalah :

$$\Delta y = V_{oy} - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 \rightarrow V_{oy} = 0$$

$$100,272 = 0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot 10 \cdot t^2$$

$$t = \sqrt{20,054} = 4,478 \text{ s}$$

Jadi waktu total = waktu naik + waktu turun

$$t_2 = t_1 + t = 3,009 + 4,478 = 7,487 \text{ s}$$

Jarak horisontal selama waktu tersebut adalah :

$$x = V_{ox} \cdot t = V_0 \cos \theta_0 \cdot t = 50 \cos 37^\circ (7,487)$$

$$x = 298,9$$



## BAB III. DINAMIKA PARTIKEL

### 3.1. Pengertian

**Dinamika** adalah cabang ilmu mekanika yang mempelajari gerakan benda-benda dengan memperhatikan gaya-gaya yang bekerja pada benda tersebut.

Karena benda-benda ini diperlakukan sebagai partikel maka disebut **Dinamika Partikel**.

### 3.2. Berat

Berat suatu benda adalah gaya yang bekerja pada benda yang disebabkan oleh tarikan bumi. Gaya tarik bumi disebut Gaya Gravitasi.

Secara Matematik dapt dituliskan:

$$w = m g \quad \text{atau} \quad m = \frac{w}{g}$$

Dengan :  $w$  = gaya berat (N = kg m/s<sup>2</sup>)

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

$m$  = massa benda (kg)

atau  $w$  = gaya berat (lb = slug ft/s<sup>2</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi, (ft/s<sup>2</sup>)

$m$  = massa benda (slug)

### 3.3. Hukum I Newton (Keseimbangan)

“Setiap benda akan tetap dalam keadaan diam atau bergerak lurus beraturan, kecuali bila benda tersebut dipaksa untuk mengubah keadaannya oleh gaya-gaya yang dikerjakan padanya”.

A t a u :

“Bila Resultan gaya pada suatu benda nol, maka percepatannya nol maka benda diam atau bergerak lurus beraturan dan terjadi kesetimbangan” .

Secara matematis dituliskan :

$$\sum F = 0,$$

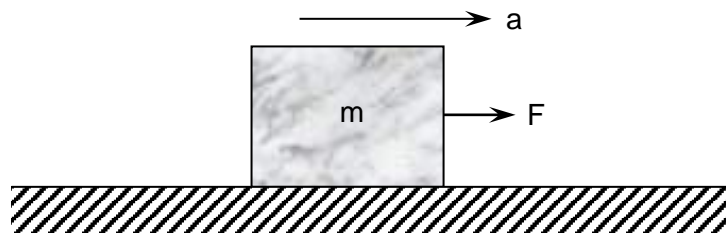
jika gaya dijabarkan terhadap arah sumbu X dan sumbu Y,

$$\text{maka : } \begin{aligned} \sum F_x &= 0 \\ \sum F_y &= 0 \end{aligned}$$

Hukum I Newton juga disebut Hukum Kelembaman (Inersia), karena pada dasarnya setiap benda itu bersifat lembam (ingin mempertahankan keadaannya).

### 3.4. Hukum II Newton

“Percepatan yang timbul pada suatu benda karena pengaruh suatu gaya tertentu, besarnya **berbanding lurus** dan **searah dengan gaya** itu sendiri dan **berbanding terbalik dengan massa** benda tersebut”.



Secara Matematis dituliskan :

$$a = \frac{\sum F}{m} \quad \text{atau} \quad \sum F = m a$$

dengan :  $\sum F$  = Resultan Gaya (Newton, N=kgm/s<sup>2</sup>)

m = Massa benda (Kg)

a = Percepatan pada benda (m/s<sup>2</sup>).

Hal khusus, jika a = 0, benda memiliki kecepatan tetap atau diam, maka keadaan ini melukiskan Hukum I Newton.

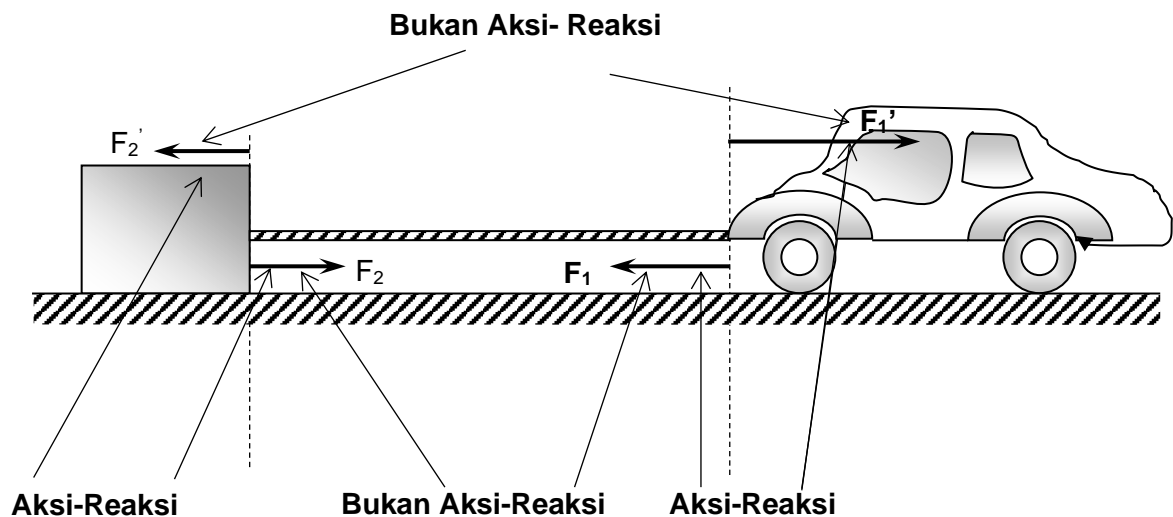
### 3.5. Hukum III Newton (Aksi-Reaksi)

“Terhadap setiap aksi senantiasa ada reaksi yang sama besar dan berlawanan arahnya atau interaksi timbal-balik antar dua benda senantiasa sama dan arahnya berlawanan”.

Gaya bekerja pada sebuah benda berasal dari benda lain yang merupakan lingkungannya, dengan kata lain merupakan hasil interaksi antara dua benda. Jika salah satu adalah ‘gaya aksi’ maka gaya lainnya ‘gaya reaksi’. Kedua gaya ‘aksi’ dan ‘reaksi’ ini bukanlah timbul sebagai sebab akibat, tetapi dua gaya yang selalu timbul bersama-sama, sehingga yang satu bukanlah merupakan sebab atau akibat dari yang lain.

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

Sebagai ilustrasi :



Gambar 3.2. Gaya aksi-reaksi bekerja pada benda yang sama (jadi  $F_2'$  dan  $F_1'$  serta  $F_1$  dan  $F_2$  bukan aksi-reaksi)

### 3.6. Gaya Gesek (Gesekan)

Sebagai ilustrasi : Sebuah buku diluncurkan diatas suatu lantai rata dan horizontal akan berkurang dan kemudian berhenti. Jelas terdapat suatu gaya dalam arah horizontal yang bekerja pada buku

dan arahnya berlawanan dengan gerak buku. Gaya tersebut adalah **gaya gesekan ( $f_g$ )**.

Gaya gesekan antara dua permukaan benda yang dalam keadaan diam relatif satu dengan yang lain disebut **gaya gesek statik ( $f_s$ )**.

Gaya gesekan antara dua permukaan benda yang bergerak relatif satu terhadap yang lain disebut **gaya gesek kinetik ( $f_k$ )**.

Gaya gesek statik maksimum sama dengan gaya terkecil yang diperlukan benda untuk mulai bergerak.

Gaya gesek statik maksimum dan gaya gesek kinetik antara dua permukaan kering tanpa pelumas mengikuti hukum empiris, yaitu:

- \* Gaya gesek tersebut tidak tergantung pada luas permukaan yang saling bergesekan.
- \* Besarnya sebanding dengan gaya Normal.

**Gaya Normal** adalah gaya yang dilakukan benda terhadap benda lain dalam arah tegak lurus bidang antar permukaan benda.

Secara Matematis dituliskan :

$$f_s \leq \mu_s N \quad \text{dan} \quad f_k = \mu_k N$$

Bila Gaya gesek statik maksimum maka :

$$f_s = \mu_s N$$

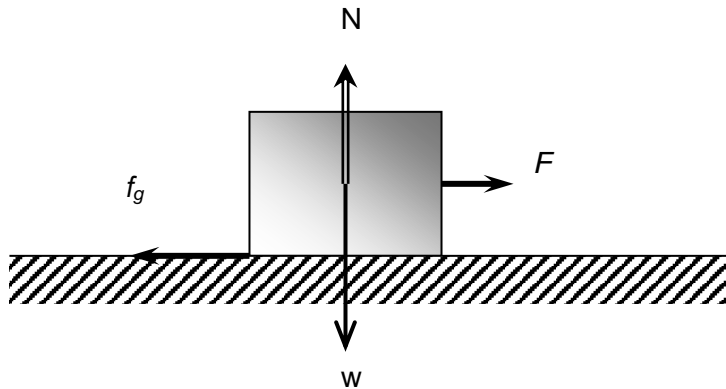
Dengan :  $f_s$  = gaya gesek statik

$f_k$  = gaya gesek kinetik

$\mu_s$  = koefisien gesek statik

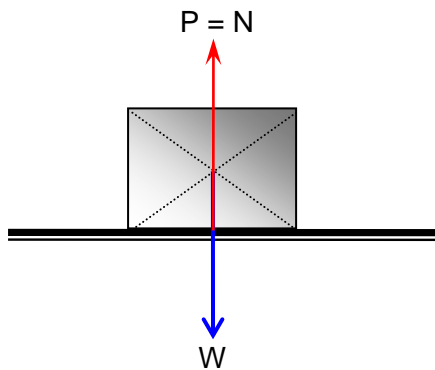
$\mu_k$  = koefisien gesek kinetik

N = gaya Normal

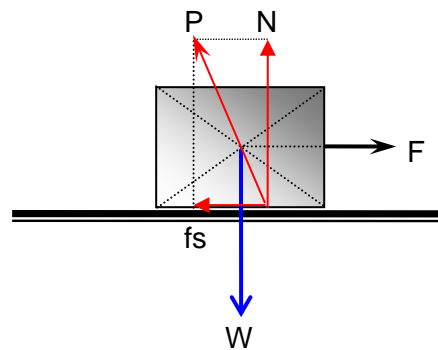


Jika  
 $F < f_g$  : benda diam  
 $F = f_g$  : benda tepat  
akan bergerak  
 $F > f_g$  : benda bergerak  
 $0 \leq [\mu_s, \mu_k] \leq 1$

[ Tidak ada gerak ]  
dimana  $F_s < \mu_s \cdot N$

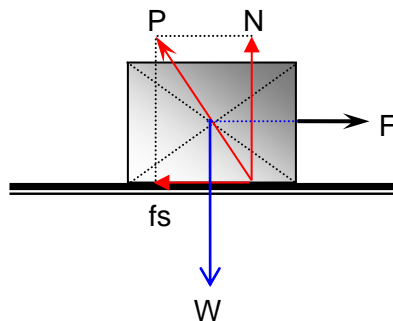


(a) Benda setimbang (diam)



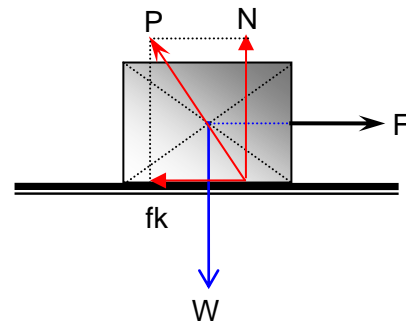
(b) Benda ditarik dengan gaya F tetapi masih belum bergerak

[Gerak mulai]  
dimana  $f_s = \mu_s \cdot N$



(c) F diperbesar sehingga gerak mulai, gaya gesek statik ( $f_s$ ) menjadi maksimum

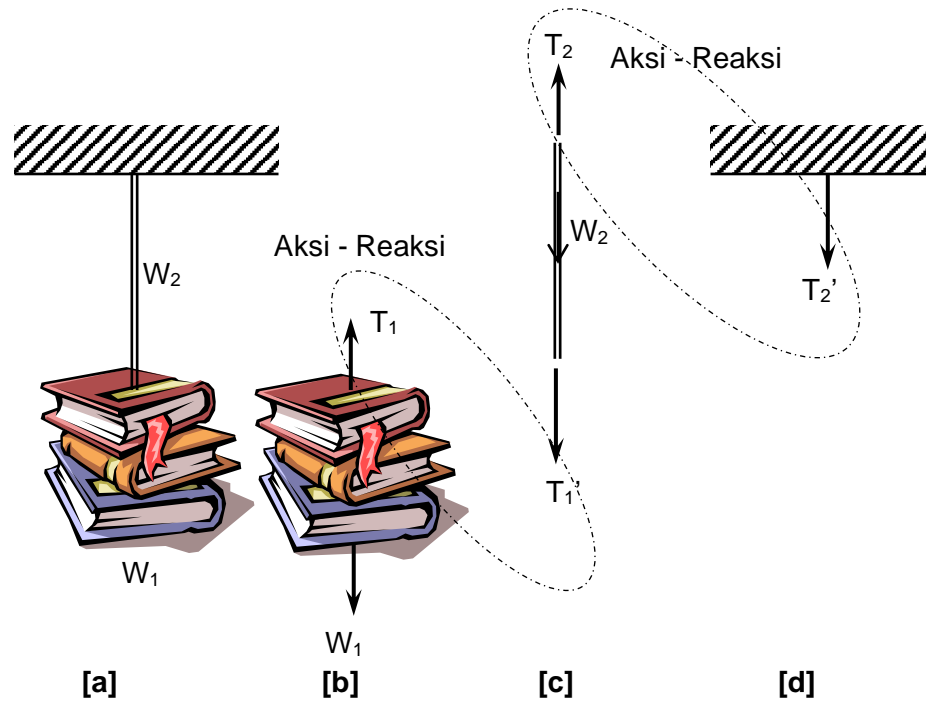
[Gerak sudah ada]  
dimana  $f_k = \mu_k \cdot N$



(d) F diperbesar lagi sehingga gerak sudah ada, gaya gesek menjadi kinetik ( $f_k$ )

Contoh-contoh Kasus Dinamika Partikel :

**Contoh 3.1 :**



Misal :  $w_1 = \text{berat buku} = 20 \text{ N}$   
 $w_2 = \text{berat tali} = 1 \text{ N}$

**[a]** Buku yang tergantung diam pada seutas tali vertikal.

$$\sum F = 0$$

**[b]** Terhadap sumbu X,  $\sum F_x = 0$ , tidak ada gaya terhadap sumbu X.

Terhadap Sumbu Y,  $\sum F_y = 0$ , (Hukum I Newton)

$$T_1 - W_1 = 0 ; T_1 = W_1 = 20 \text{ N}$$

Dari Hukum III Newton :

$$T_1 = T_1' = 20 \text{ N}$$

**[c]**  $\sum F_y = 0$ , Hukum I Newton

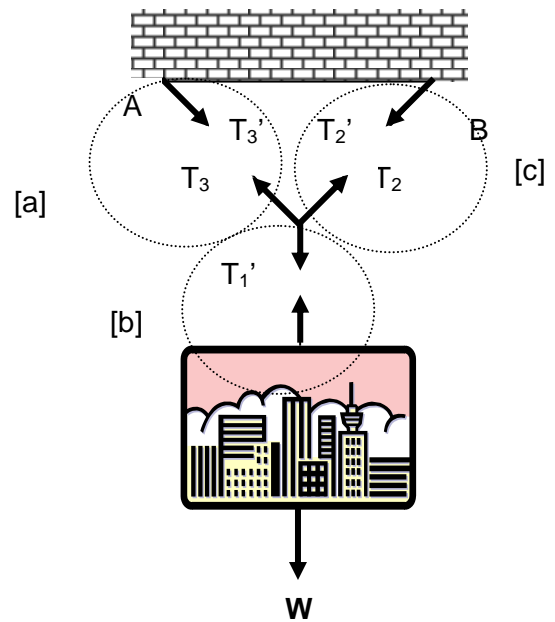
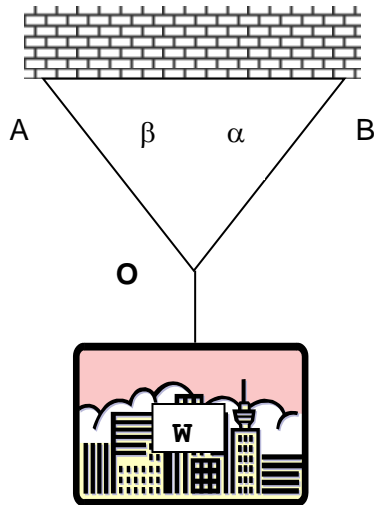
$$T_2 - W_2 - T_1' = 0$$

$$T_2 = W_2 + T_1' = 1 + 20 = 21 \text{ N}$$

Dari Hukum III Newton :

$$T_2' = T_2 = 21 \text{ N}$$

**Contoh 3.2 :**



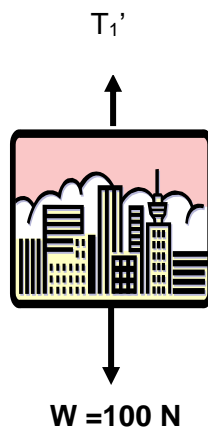
Jika  $W = 100 \text{ N}$

$$\alpha = 45^\circ : \beta = 60^\circ$$

Misal :  $T_1, T_2$  dan  $T_3$  adalah gaya-gaya yang dikerjakan oleh ketiga tali pada simpul dan  $T_1', T_2'$  dan  $T_3'$  merupakan reaksi terhadap gaya-gaya tersebut.

Hitung gaya yang bekerja pada  $T_1, T_2, T_3, T_1', T_2'$  dan  $T_3'$

[a] Hukum I Newton,

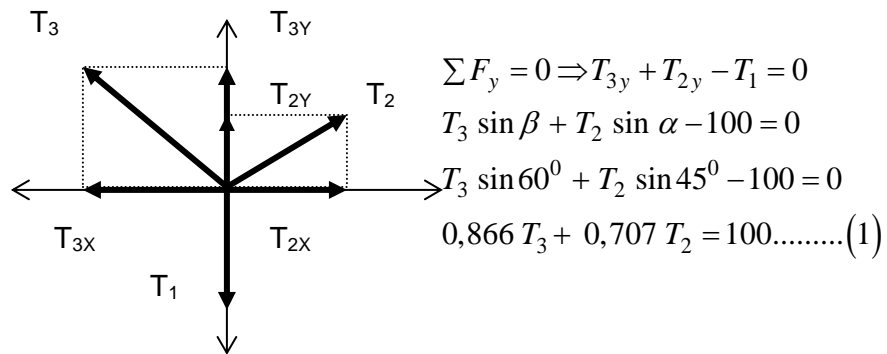


$$\sum F_y = 0 \Rightarrow T_1' - W = 0$$

$$T_1' = 100 \text{ N}$$

[b] Hukum III Newton  $T_1' = T_1 \Rightarrow T_1 = 100 \text{ N}$

[c] Hukum I Newton



$$\Sigma F_x = 0 \Rightarrow T_{2x} - T_{3x} = 0$$

$$T_2 \cos \alpha - T_3 \cos \beta = 0$$

$$T_2 \cos 45^\circ - T_3 \cos 60^\circ = 0$$

$$-0,5 T_3 + 0,707 T_2 = 0$$

$$T_3 = 1,414 T_2 \dots \dots (2)$$

Dari persamaan [2] disubstitusikan ke [1] diperoleh :

$$0,866 T_3 + 0,707 T_2 = 100$$

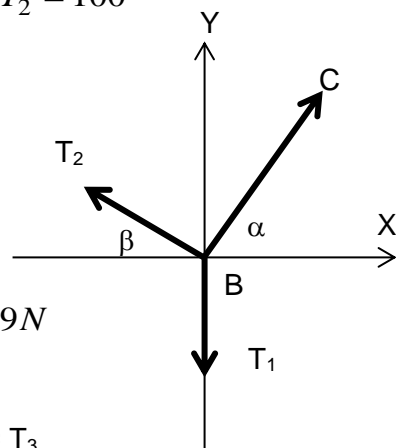
$$T_3 = 1,414 T_2$$

$$0,866 (1,414 T_2) + 0,707 T_2 = 100$$

$$(1,225 + 0,707) T_2 = 100$$

$$1,932 T_2 = 100$$

$$T_2 = \frac{100}{1,932} = 51,76 \text{ N}$$



$$T_3 = 1,414(51,76) = 73,189 \text{ N}$$

[d] Hukum III Newton,  $T_3' = T_3$

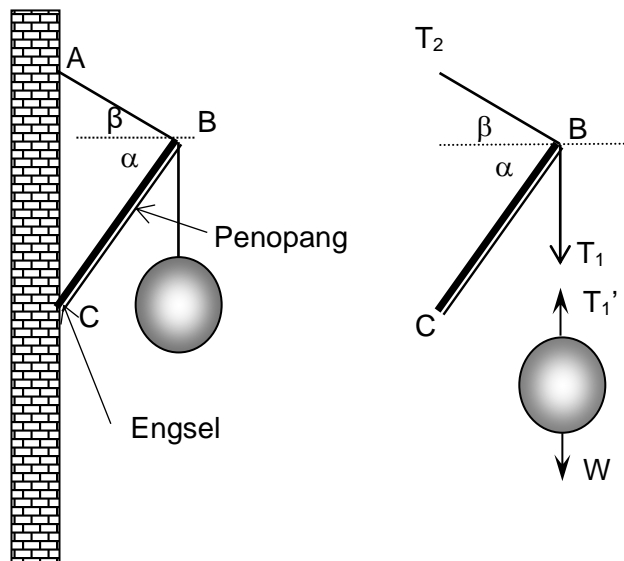
$$T_3' = 73,189 \text{ N}$$

[e] Hukum III Newton,  $T_2' = T_2$

$$T_2' = 51,76 \text{ N}$$



**Contoh 3.3 :**



$T_2$  adalah Gaya yang dilakukan Tali miring.

$T_1$  adalah Gaya yang dilakukan Tali Vertikal.

C adalah Gaya Engsel, Gaya C telah dipindahkan sepanjang garis kerjanya sampai di titik perpotongan B dari ketiga gaya tersebut.

**Diketahui :**

Massa **bola**,  $m = 5 \text{ kg}$

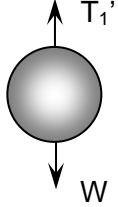
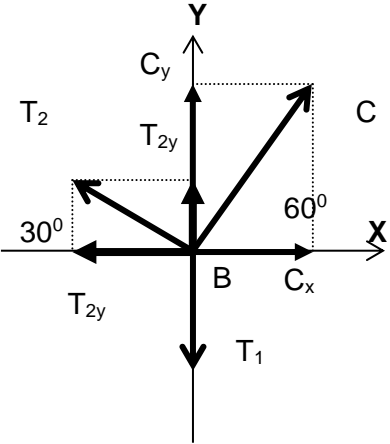
Percepatan gravitasi,  $g = 10 \text{ m/s}^2$

Sudut  $\alpha = 60^\circ$  dan sudut  $\beta = 30^\circ$

**Hitung :** Gaya Tali  $T_1$  dan  $T_2$  serta gaya Penopang C (Engsel)

**Penyelesaian :**

$$W = m g = 5 \text{ kg } 10 \text{ m/s}^2 = 50 \text{ kg m/s}^2 = 50 \text{ N}$$

	<p>Hukum I Newton :</p> $\sum F_y = 0 \Rightarrow T_1' - W = 0$ $T_1' = 50 \text{ N}$ <p>Hukum III Newton :</p> $T_1 = T_1' = 50 \text{ N}$
	<p>Hukum I Newton :</p> $\sum F_y = 0 \Rightarrow C_y + T_{2y} - T_1 = 0$ $C \sin \beta + T_2 \sin \alpha - 50 = 0$ $C \sin 60^\circ + T_2 \sin 30^\circ = 50$ $0,866 C + 0,5 T_2 = 50 \dots \dots \dots (1)$ $\sum F_x = 0 \Rightarrow C_x - T_{2x} = 0$ $C \cos \alpha - T_2 \cos \beta = 0$ $C \cos 60^\circ - T_2 \cos 30^\circ = 0$ $0,5 C - 0,866 T_2 = 0$ $0,5 C = 0,866 T_2$ $C = 1,732 T_2 \dots \dots \dots (2)$

Dari persamaan [2] disubstitusikan ke [1] diperoleh :

$$0,866 C + 0,5 T_2 = 50$$

$$C = 1,732 T_2$$

$$0,866 (1,732 T_2) + 0,5 T_2 = 50$$

$$(1,5 + 0,5) T_2 = 50$$

$$2 T_2 = 50$$

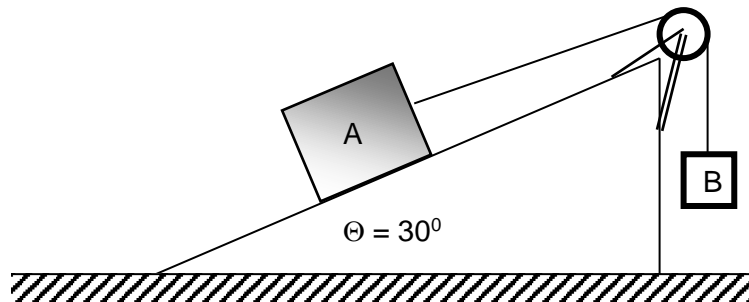
$$T_2 = \frac{50}{2} = 25 \text{ N}$$

$$C = 1,732 (25) \text{ N} = 43,3 \text{ N}$$

$$\therefore T_1 = 50 \text{ N} : T_2 = 25 \text{ N} : C = 43,3 \text{ N}$$

**Contoh 3.4 :**

Balok A seberat  $w_1$  terletak diatas bidang miring tanpa gesekan dengan sudut miring  $\Theta$ . Pusat berat balok berada ditengah-tengah benda. Seutas tali diikatkan pada tengah-tengah permukaan balok B yang beratnya  $w_2$ . Berat Tali dan gesekan kerekan dapat diabaikan. Jika  $w_1 = 100$  lb dan  $\Theta = 30^\circ$  maka tentukanlah berat  $w_2$  yang menyebabkan sistem dalam keadaan **diam** atau bergerak ke salah satu arah dengan **kecepatan tetap**.



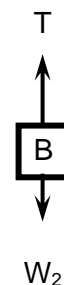
**Penyelesaian :**

Benda dalam keadaan diam atau bergerak dengan kecepatan tetap (Hukum I Newton), maka  $\sum F_x = 0$  ;  $\sum F_y = 0$

**Tinjau Benda B:**

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow T - W_2 = 0$$

$$T = W_2$$



**Tinjau Benda A :**

Pada Benda A bekerja :  $W_1$  = Berat benda

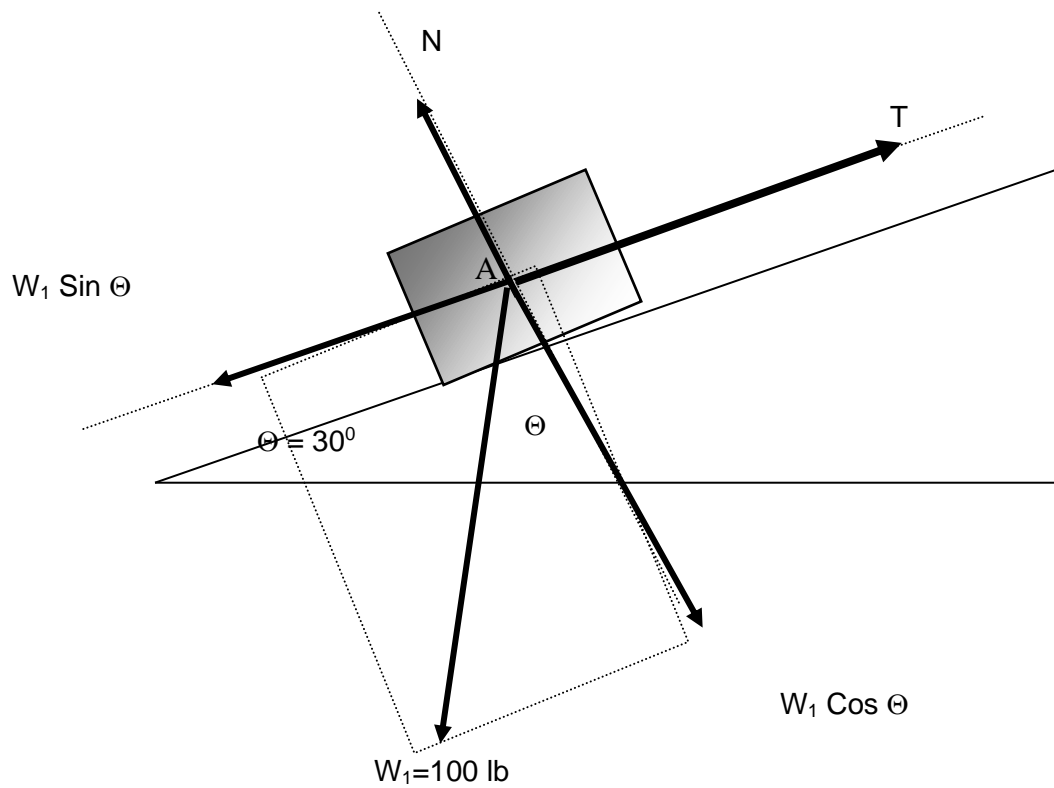
$T$  = Gaya Tali

$N$  = Gaya Normal yang dilakukan oleh bidang pada balok.

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow T - W_1 \sin \Theta = 0$$

$$T = 100 \sin 30^\circ = 50 \text{ lb}$$

$$\therefore T = W_2 = 50 \text{ lb.}$$



**Contoh 3.5 :**

Dua Buah benda  $m_1$  dan  $m_2$  dihubungkan ke katrol. Apabila massa tali diabaikan dan gaya gesekan antara tali dengan katrol diabaikan. **Jabarkan Percepatan Sistem tersebut.**

**Hukum II Newton :**

$$\sum F = ma$$

Untuk  $m_1 < m_2$  maka sistem akan bergerak ke arah  $m_2$  dengan percepatan  $a$ .

Tinjau benda  $m_1$ :

$$T = m_1 g + m_1 a \dots\dots\dots(1)$$

Tinjau benda  $m_2$ :

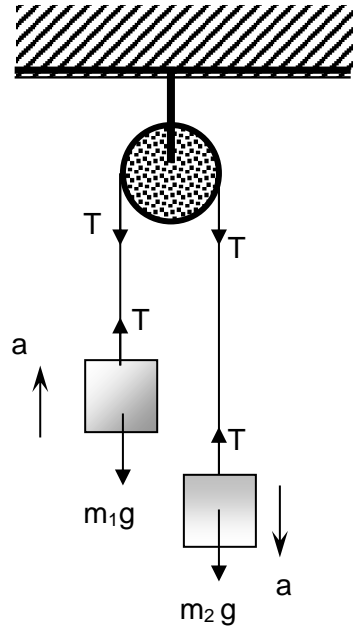
$$T = m_2 g - m_2 a \dots\dots\dots(2)$$

Karena gaya tegangan tali ( $T$ ) dimana-mana sama maka dari pers. (1) dan pers. (2) diperoleh:

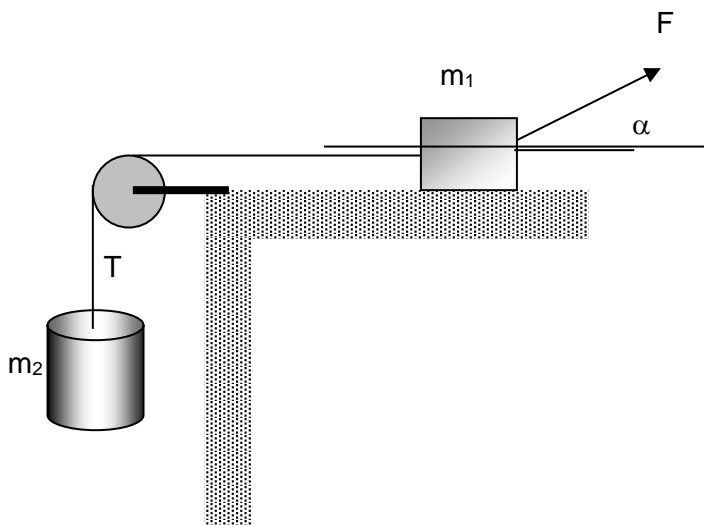
$$m_1 g + m_1 a = m_2 g + m_2 a$$

$$(m_1 + m_2)a = (m_2 - m_1)g$$

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



**Contoh 3.6 :**



**Diketahui :**

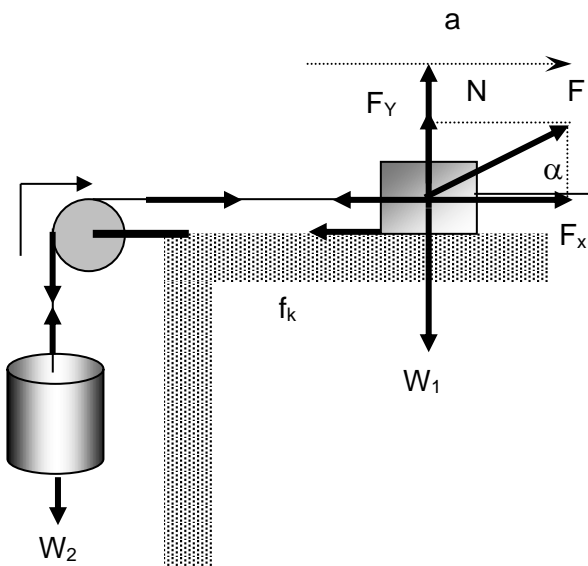
Benda  $m_1 = 10 \text{ kg}$  dan benda  $m_2 = 15 \text{ kg}$  dihubungkan dengan tali melalui sebuah katrol. Jika  $F=200 \text{ N}$ ,  $\alpha=30^\circ$  dan koefisien gesek kinetik antara  $m_2$  dan bidang,  $\mu_k = 0.5$ ,  $g = 10 \text{ m/s}^2$ .

**Hitung :**

[a] Percepatan ( $a$ ) sistem

tersebut

[b] Gaya Tegangan Tali ( $T$ )



**Penyelesaian :**

Tinjau benda  $m_1 = 10 \text{ kg}$

$$W_1 = m_1 g = 10 \text{ kg } 10 \text{ m/s}^2$$

$$W_1 = 100 \text{ N}$$

Hukum II Newton :

$$\sum F = m a \Rightarrow T - W_1 = m_1 a$$

$$T - 100 = 10 a \dots\dots\dots [1]$$

Tinjau benda  $m_2 = 15 \text{ kg}$

$$W_2 = m_2 g = 15 \text{ kg } 10 \text{ m/s}^2$$

$$W_2 = 150 \text{ N}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N - W_2 + F_y = 0$$

$$N - 150 + F \sin 30^\circ = 0$$

$$N = 150 - 200 \cdot 0.5$$

$$N = 50 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} \sum F_x &= m_2 a \\ F_x - f_k - T &= m_2 a \\ F \cos 30^\circ - \mu_k N - T &= 15 a \\ 200(0.866) - 0.5(50) - T &= 15 a \\ 148.2 - T &= 15 a \\ -T + 148.2 &= 15 a \dots\dots\dots [2] \end{aligned}$$

Dari Persamaan [1] dan [2] diperoleh :

$$T - 100 = 10 a \dots\dots\dots [1]$$

$$-T + 148.2 = 15 a \dots\dots\dots [2]$$

$$a = \frac{48.2}{25} = 1.928$$

$$T - 100 = 10(1.928) \Rightarrow T = 119.28 \text{ N}$$

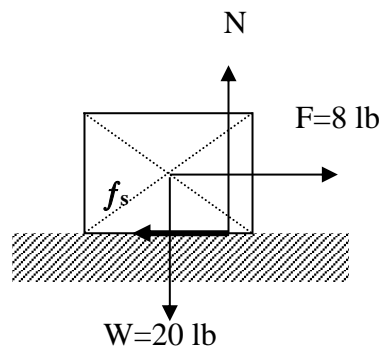
∴ [a] Percepatan sistem (a) = 1.928 m/s<sup>2</sup>

[b] Gaya Tegangan Tali (T) = 119.28 N

**Contoh 3.7:**

Sebuah Balok berat 20 lb jika gaya tegangan F yang bekerja pada balok diperbesar sampai melebihi 8 lb maka balok mulai meluncur. Begitu balok sudah bergerak dengan tambahan gaya sebesar 4 lb menyebabkan balok bergerak dengan kecepatan konstan. Tentukan koefisien gesekan statik dan koefisien gesekan kinetik.

**Penyelesaian :**



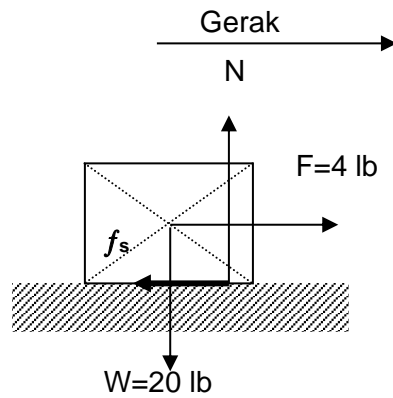
Balok masih diam dan gaya gesek statik maksimum :

$$f_s = \mu_s N$$

$$\mu_s = \frac{f_s}{N}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N - W = 0$$

$$N = 20 \text{ lb}$$



$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F - f_s = 0$$

$$f_s = 20 \text{ lb}$$

$$\mu_s = \frac{8 \text{ lb}}{20 \text{ lb}} = 0.4$$

Balok bergerak dengan kecepatan konstan :

$$f_k = \mu_k N$$

$$\mu_k = \frac{f_k}{N}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N - W = 0$$

$$N = 20 \text{ lb}$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F - f_k = 0$$

$$f_k = 4 \text{ lb}$$

$$\mu_k = \frac{4 \text{ lb}}{20 \text{ lb}}$$

$$\mu_k = 0.2$$

### **Contoh 3.8:**

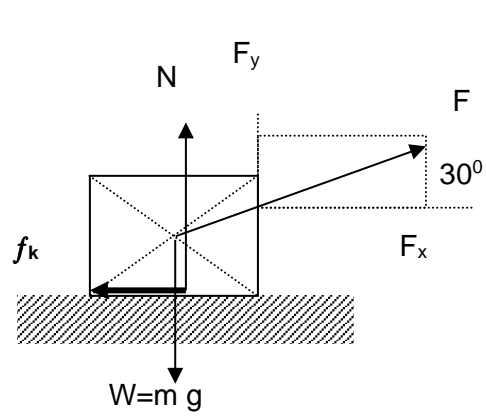
Hitung besar gaya  $F$  yang membentuk sudut  $30^\circ$  diatas horizontal, yang diperlukan untuk menyeret sebuah balok yang massanya 2 kg kekanan dengan kecepatan tetap. Jika koefisien gesekan kinetik antara balok dan permukaan ialah 0.2 dan percepatan gravitasi  $10 \text{ m/s}^2$ .

### **Penyelesaian :**

Balok bergerak dengan kecepatan tetap :

$$W = m g = 20 \text{ N}$$





$$f_s = \mu_s N$$

$$\mu_s = \frac{f_s}{N}$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N - W + F_y = 0$$

$$N - 20 + F \sin 30^\circ = 0$$

$$N = 20 - 0.5 F$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_x - f_k = 0$$

$$F \cos 30^\circ - \mu_k N = 0$$

$$0.866 F - 0.2(20 - 0.5 F) = 0$$

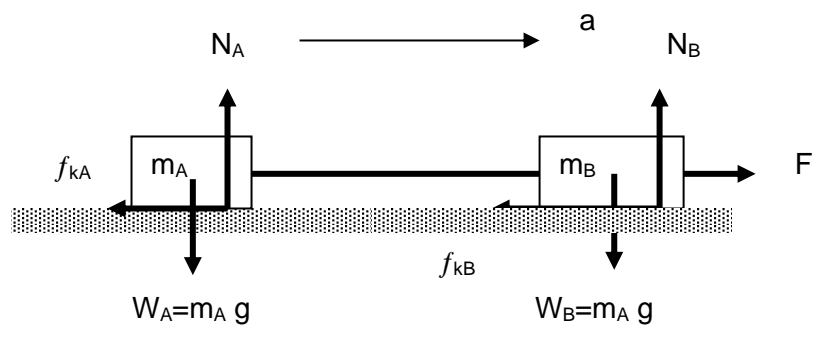
$$0.866 F + 0.1 F - 4 = 0$$

$$0.966 F = 4$$

$$F = \frac{4}{0.966} = 4.141 \text{ N}$$

**Contoh 3.9 :**

Penjabaran rumus mencari percepatan dalam suatu sistem.



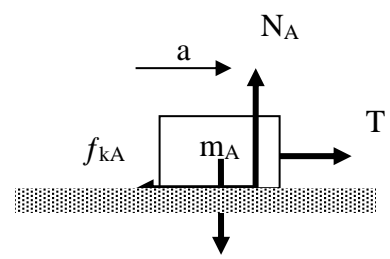
**Tinjau benda A :**

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N_A - W_A = 0$$

$$N_A = W_A$$

$$\sum F_x = m_A a \Rightarrow T - f_{kA} = m_A a$$

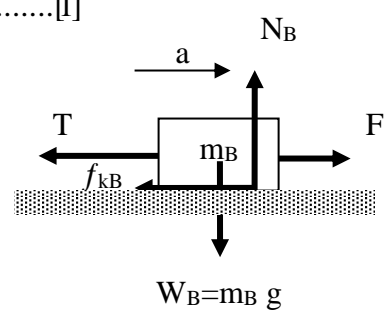
$$T - \mu_{kA} N_A = m_A a \dots \dots \dots [1]$$



**Tinjau benda B :**

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow N_B - W_B = 0$$

$$N_B = W_B$$



$$\sum F_x = m_B a \Rightarrow F - T - f_{kB} = m_B a$$

$$F - T - \mu_{kB} N_B = m_B a \dots \dots \dots [2]$$

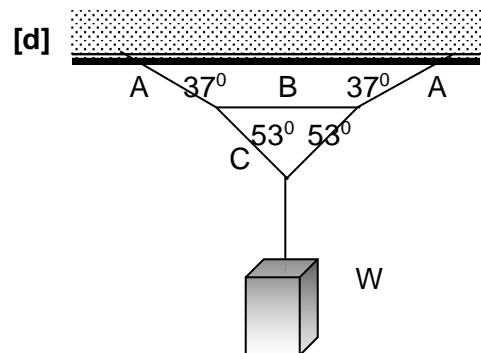
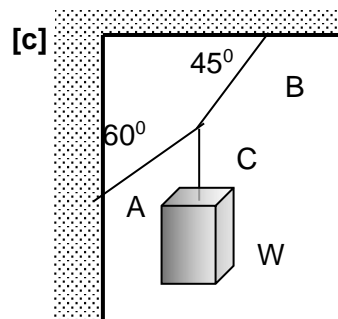
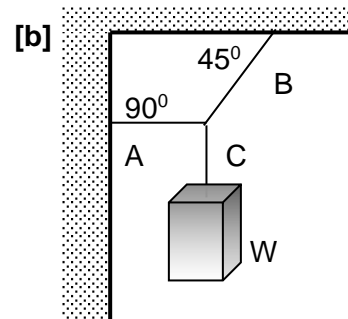
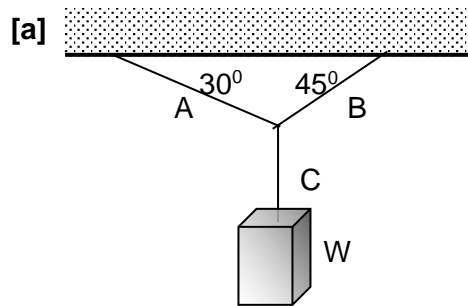
Persamaan [1] disubstitusikan ke persamaan [2], maka diperoleh :

$$a = \frac{F - \mu_{kA} N_A - \mu_{kB} N_B}{m_A + m_B}$$

**Soal-Soal :**

**Soal 1.**

Tentukan gaya tegangan tiap tali, jika berat benda 100 N.



**Soal 2.**

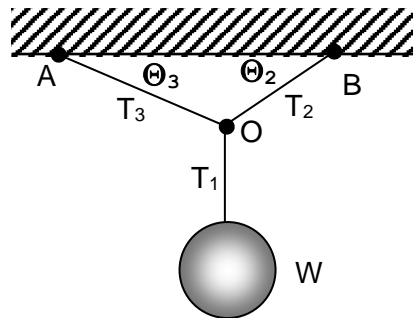
Tentukan gaya tegangan T2 dan T3 jika berat balok 25 N.

[a] Jika  $\theta_2 = \theta_3 = 60^\circ$

[b] Jika  $\theta_2 = \theta_3 = 10^\circ$

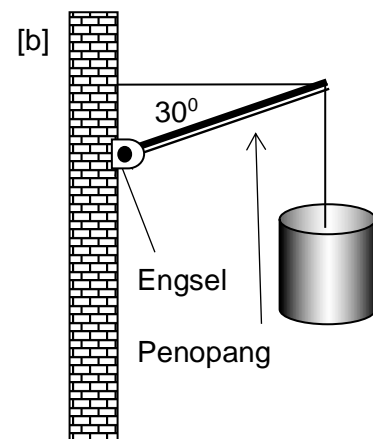
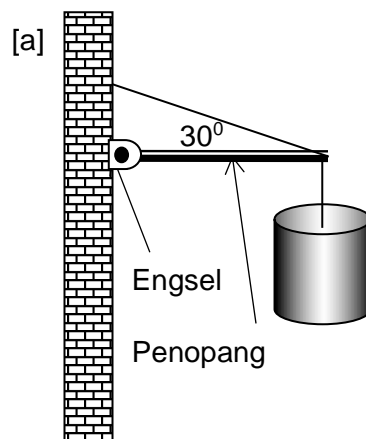
[c] Jika  $\theta_2 = 60^\circ$  dan  $\theta_3 = 0^\circ$

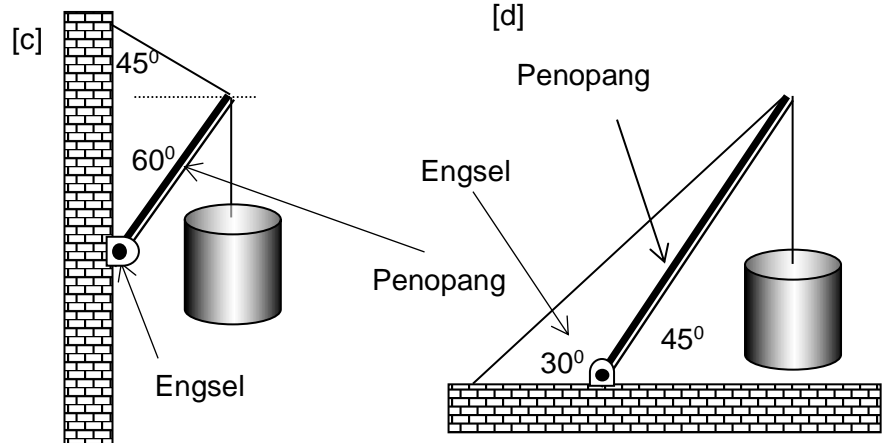
[d] Jika AB = 5 m, AO = 3 m dan OB = 4 m

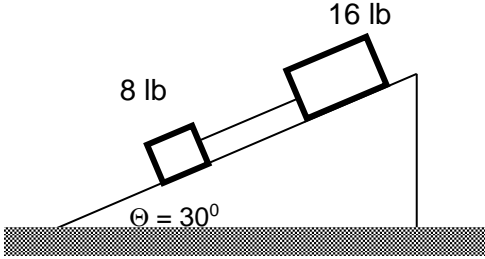
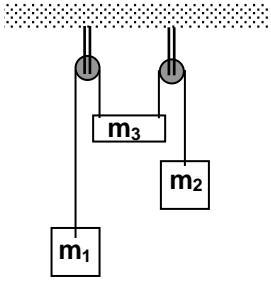
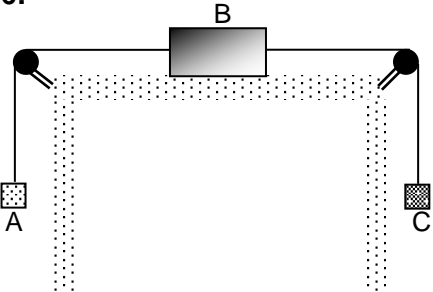


**Soal 3.**

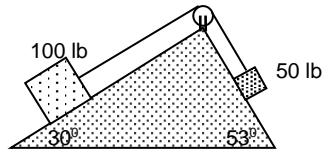
Tentukan gaya tegangan T dalam kabel dan besar serta arah gaya C yang dilakukan oleh engsel pada balok penopang dalam tiap struktur. Jika berat benda tergantung adalah 500 N, berat penopang diabaikan.





<p><b>Soal 4 :</b></p> 	<p>Dua buah balok, beratnya 8 lb dan 16 lb, dihubungkan oleh seutas tali dan meluncur turun di atas sebuah bidang miring <math>30^\circ</math>. Koefisien gesekan kinetik antara balok 8 lb dan bidang 0,25 dan antara balok 16 lb dan bidang 0,5.</p> <p>[a]. Hitung percepatan tiap balok. [b]. Hitung tegangan dalam tali</p>
<p><b>Soal 5 :</b></p> 	<p>Hitung percepatan sistem dan tegangan-tegangan dalam tali yang menahan benda-benda bermassa <math>m_1</math> dan <math>m_2</math>. Abaikan gaya gesekan dan massa kedua karekan.</p>
<p><b>Soal 6:</b></p> 	<p>Balok A beratnya 3 lb dan balok B beratnya 30 lb. Koefisien gesekan antara B dan permukaan horizontal 0,1</p> <p>[a]. Berapa berat balok C jika percepatan B <math>6 \text{ ft/s}^2</math>. [b]. Berapa tegangan dalam tiap tali apabila percepatan B sebesar <math>6 \text{ ft/s}^2</math>.</p>

**Soal 7:**



Dua buah balok dihubungkan dengan tali melalui sebuah kerekan kecil tanpa gesekan.

[a].Arah kemana sistem bergerak.

[b].Berapa Percepatan.

[c].Berapa tegangan tali.

### 3.7. Gaya Sentripetal

Bila suatu benda bergerak melingkar beraturan dengan besar kecepatan yang tetap, benda tersebut akan mengalami **percepatan sentripetal** sebesar  $V^2/r$  dan arahnya menuju pusat lingkaran sebagai akibat dari perubahan arah kecepatan. Benda yang mengalami percepatan tidak berada pada kondisi setimbang. Maka dari itu, tentunya ada gaya yang bekerja padanya.

Menurut Hukum Newton II :

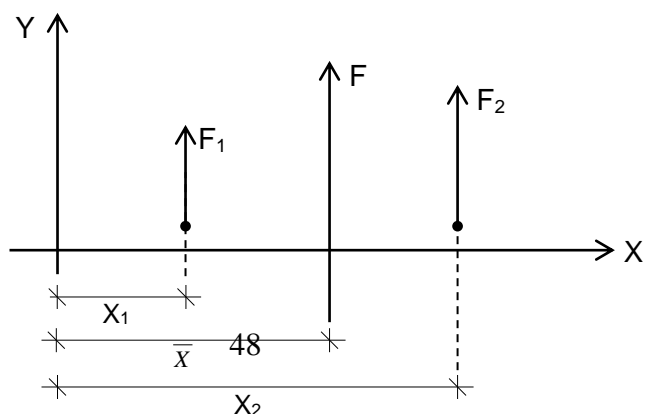
$$F = m a$$

$$F = m V^2/r$$

Arah gaya ini selalu sama dengan arah percepatan sentripetalnya dan disebut ***gaya sentripetal***.

Dari uraian di atas, dapat diambil kesimpulan bahwa harus ada suatu gaya yang menarik ke arah pusat lingkaran supaya suatu benda yang melakukan gerak melingkar selalu tetap dalam lintasannya.

### 3.8. Resultan Gaya Sejajar



$$R = \Sigma F_y = F_1 + F_2$$

$$\Sigma \Gamma_O = F_1 \cdot X_1 + F_2 \cdot X_2$$

$$R \bar{X} = (F_1 + F_2) \bar{X}$$

$$(F_1 + F_2) \bar{X} = F_1 \cdot X_1 + F_2 \cdot X_2$$

$$\bar{X} = \frac{F_1 X_1 + F_2 X_2}{(F_1 + F_2)}$$

**Contoh 3.10 :**

Jika :  $F_1 = 10 \text{ N}$  &  $F_2 = 15 \text{ N}$

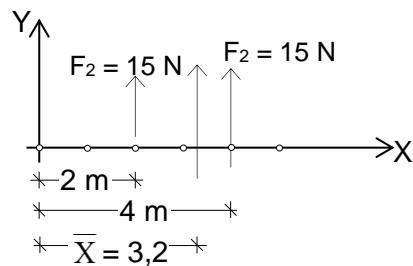
$X_1 = 2 \text{ m}$  &  $X_2 = 4 \text{ m}$

**Cari : R dan  $\bar{X}$  ?**

$$\Sigma F_y = R = F_1 + F_2 = 10 + 15 = 25 \text{ N}$$

$$\bar{X} = \frac{10(2) + 15(4)}{10 + 15} = \frac{20 + 60}{25}$$

$$\bar{X} = \frac{80}{25} = 3,2 \text{ m}$$



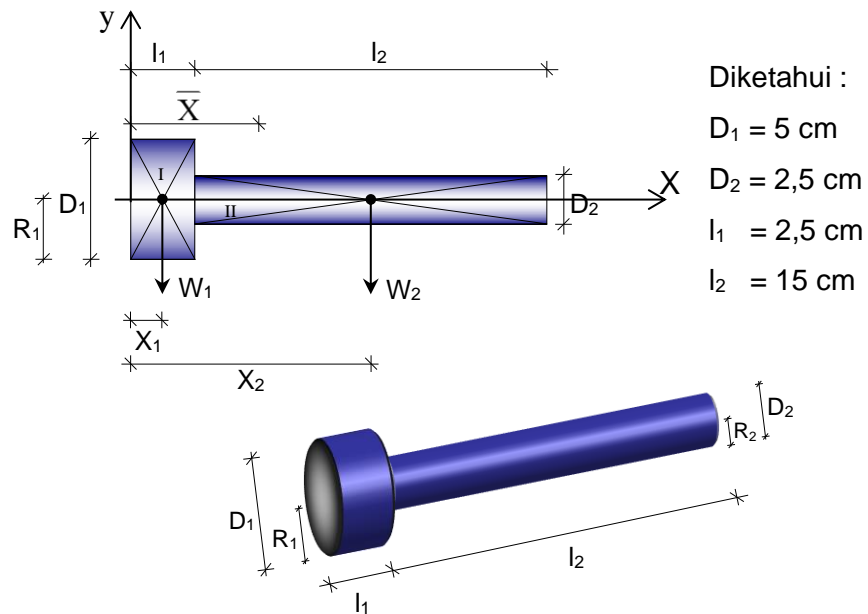
**3.9. Pusat Berat (Titik Berat)**

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots = \Sigma W$$

$$\bar{X} = \frac{W_1 \cdot X_1 + W_2 \cdot X_2 + W_3 \cdot X_3 + \dots}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots} = \frac{\Sigma W \cdot X}{\Sigma W} = \frac{\Sigma W \cdot X}{W}$$

$$\bar{y} = \frac{W_1 \cdot y_1 + W_2 \cdot y_2 + W_3 \cdot y_3 + \dots}{W_1 + W_2 + W_3 + \dots} = \frac{\sum W \cdot y}{\sum W} = \frac{\sum W \cdot y}{W}$$

**Contoh 3.11 :**



$$V_I = \pi R_1^2 \cdot l_1 = \pi (2,5)^2 \cdot 2,5 = 15,625 \pi$$

$$V_{II} = \pi R_2^2 \cdot l_2 = \pi (1,25)^2 \cdot 15 = 2,438 \pi$$

Karena berat kedua bagian berbanding langsung dengan volumenya, maka :

$$\frac{W_1}{W_2} = \frac{V_I}{V_{II}} = \frac{15,625\pi}{2,438\pi} \Rightarrow 15,625 W_2 = 23,438 W_1$$

$$\therefore W_2 = \frac{23,438}{15,625} W_1$$

$$W_2 = 1,5 W_1$$

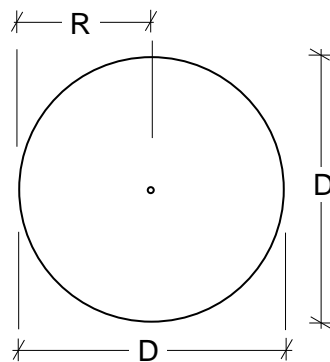
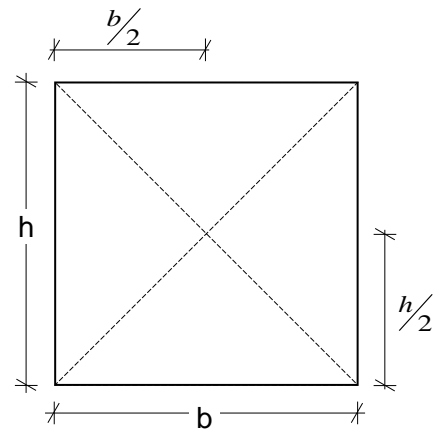
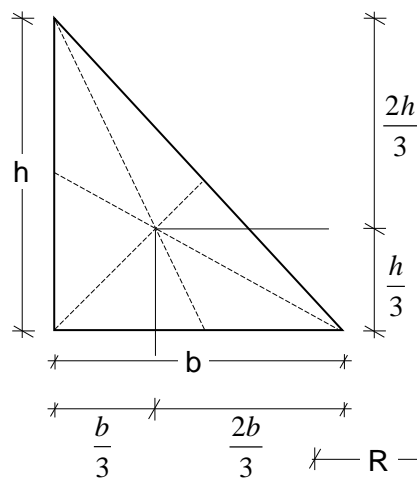
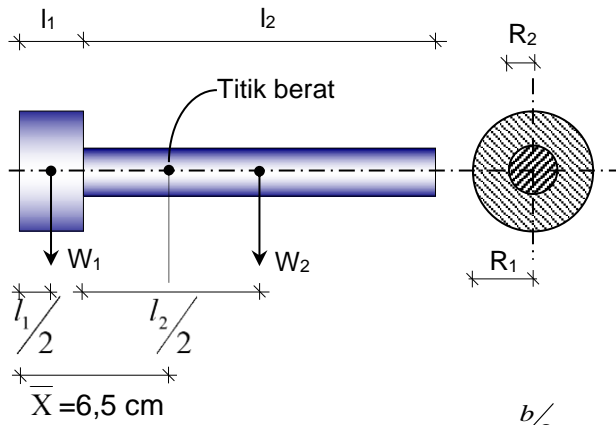
$$X_1 = 1,25 \text{ cm}$$

$$X_2 = 7,5 + 2,5 = 10 \text{ cm}$$

$$\bar{X} = \frac{W_1 \cdot X_1 + W_2 \cdot X_2}{W_1 + W_2}$$

$$= \frac{W_1 \cdot 1,25 + 1,5W_1 \cdot 10}{W_1 + 1,5W_1}$$

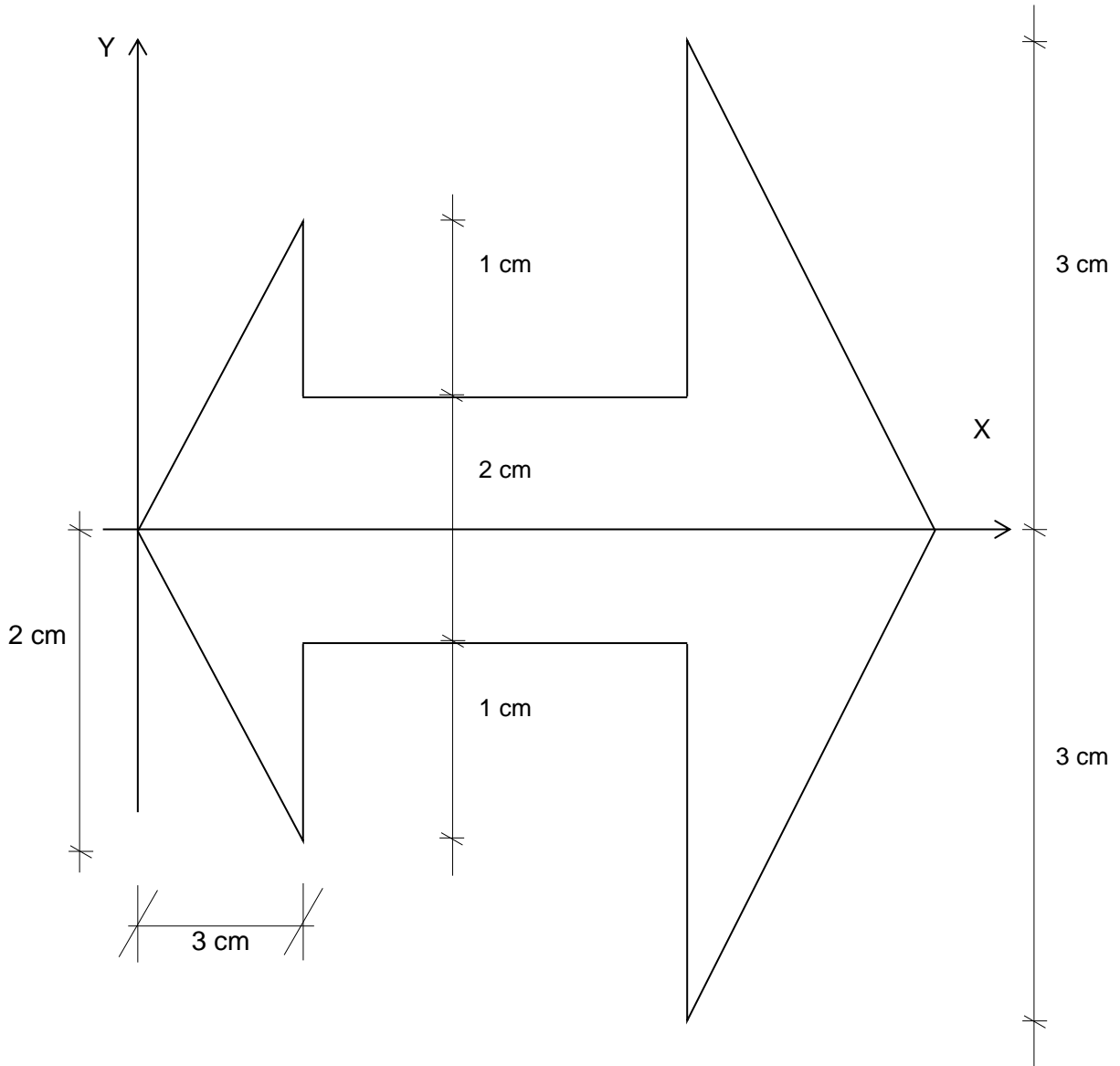
$$= \frac{16,25W_1}{2,5W_1} = 6,5 \text{ cm}$$



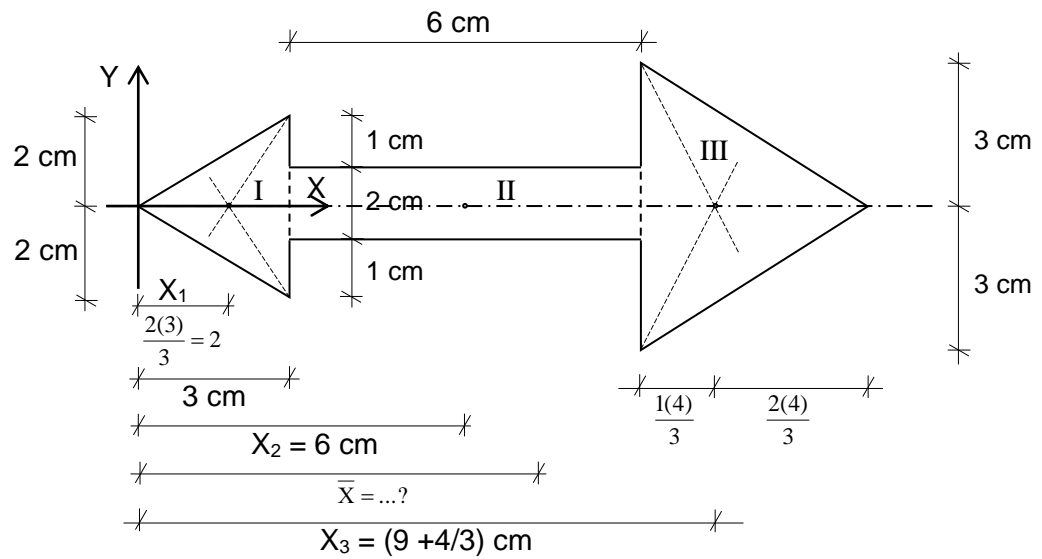


**Contoh 3.12 :**

- Tentukan titik berat terhadap sumbu X !



Penyelesaian :



$$\bar{X} = \frac{A_I \cdot X_1 + A_{II} \cdot X_2 + A_{III} \cdot X_3}{A_I + A_{II} + A_{III}}$$

$$A_I = \frac{3 \times 4}{2} = 6 \text{ cm}^2$$

$$X_1 = \frac{2}{3}(3) = 2 \text{ cm}$$

$$A_{II} = 2 \times 6 = 12 \text{ cm}^2$$

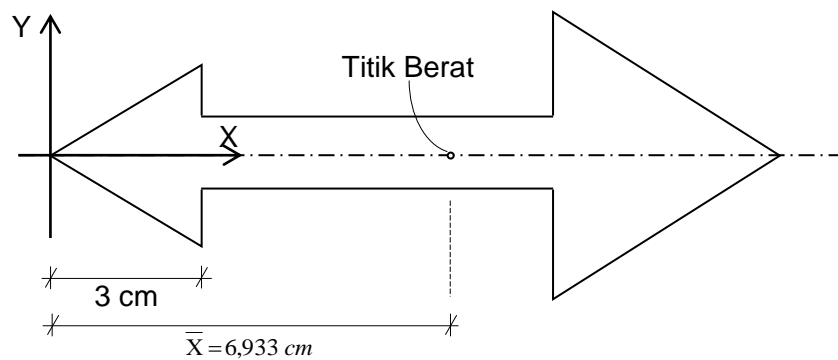
$$X_2 = 6 \text{ cm}$$

$$A_{III} = \frac{6 \times 4}{2} = 12 \text{ cm}^2$$

$$X_3 = 9 + \frac{4}{3} = 10,333 \text{ cm}$$

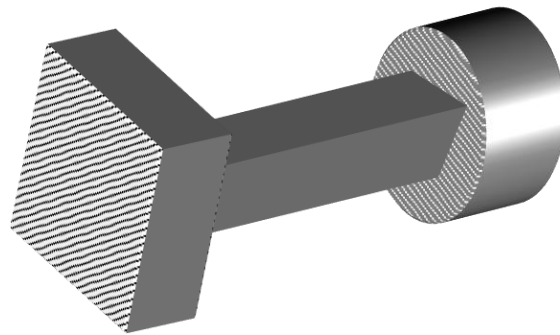
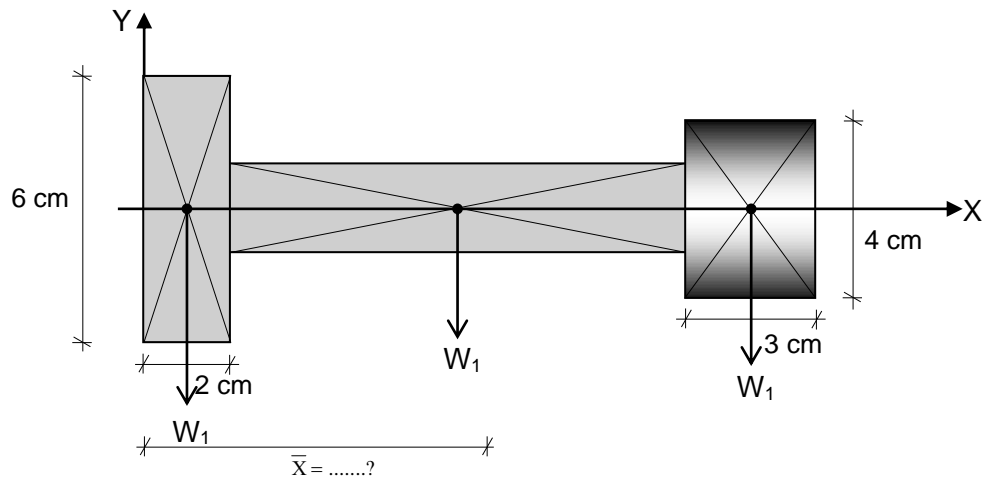
$$\bar{X} = \frac{6(2) + 12(6) + 12(10,333)}{6 + 12 + 12} = \frac{12 + 72 + 123,996}{30}$$

$$\bar{X} = \frac{207,996}{30} = 6,933 \text{ cm}$$



**Soal 8 :**

Hitunglah titik berat terhadap sumbu Y dari benda di bawah ini!.

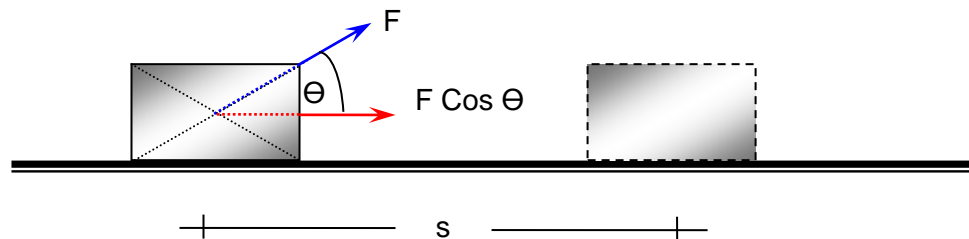


## BAB IV. KERJA (USAHA) DAN ENERGI

### 4.1. Kerja oleh Gaya Tetap

Gaya dikatakan telah melakukan kerja pada benda bila ada gaya yang bekerja padanya dan pada waktu yang sama pula, benda bergerak.

Kerja didefinisikan sebagai hasil kali pergeseran dengan komponen gaya dalam arah pergeserannya.



Jika benda bergerak sejauh  $s$  akibat gaya  $F$  yang bekerja padanya, maka kerja ( $W$ ) secara matematis :

$$W = (F \cos \theta) \cdot s$$

Dimana  $F \cos \theta$  adalah komponen gaya pada arah perpindahan.

### 4.2. Kerja oleh Gaya yang Berubah

Jika gaya yang bekerja pada benda merupakan fungsi posisi  $F(x)$  dan dalam waktu  $dt$  benda berpindah sejauh  $dx$  kerja yang dilakukan :

$$dW = F dx$$

Kerja total yang dilakukan hingga benda berpindah dari  $x_1$  ke  $x_2$  :

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F dx$$

Tinjau sebuah pegas yang ditarik hingga ujungnya berpindah sejauh  $x$ . Menurut Hukum Hooke, pegas akan melakukan gaya terhadap gaya yang menariknya dan arahnya selalu berlawanan dengan arah pergeserannya yaitu :  $F = - kx$

$$k = \text{konstanta pegas ( } \frac{\text{N}}{\text{m}} \text{) atau ( } \frac{\text{dyne}}{\text{cm}} \text{)}$$

Kerja yang dilakukan untuk menarik pegas sehingga ujungnya berpindah dari posisi  $x_1$  ke  $x_2$  adalah :

$$W = \int_{x_1}^{x_2} F(x) dx = \int_{x_1}^{x_2} (kx) dx = \frac{1}{2} kx_2^2 - \frac{1}{2} kx_1^2$$

Satuan kerja dalam SI adalah Newton–meter (Nm) disebut Joule (J).

### 4.3. Kerja dan Energi Kinetik

$W = \int_{x_1}^{x_2} F \cdot dx$  berdasarkan Hukum Newton II  $F = m \cdot a$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{dv}{dx} \cdot v = v \frac{dv}{dx}$$

$$W = \int_{x_1}^{x_2} m \cdot v \frac{dv}{dx} dx = \int_{x_1}^{x_2} m \cdot v \cdot dv$$

$$W = \frac{1}{2} mv_2^2 - \frac{1}{2} mv_1^2 \implies \frac{1}{2} mv^2 = \text{Energi kinetik} = E_k$$

#### TEOREMA KERJA ENERGI :

”Kerja yang dilakukan oleh gaya resultan yang bekerja pada benda sama dengan perubahan energi kinetiknya”

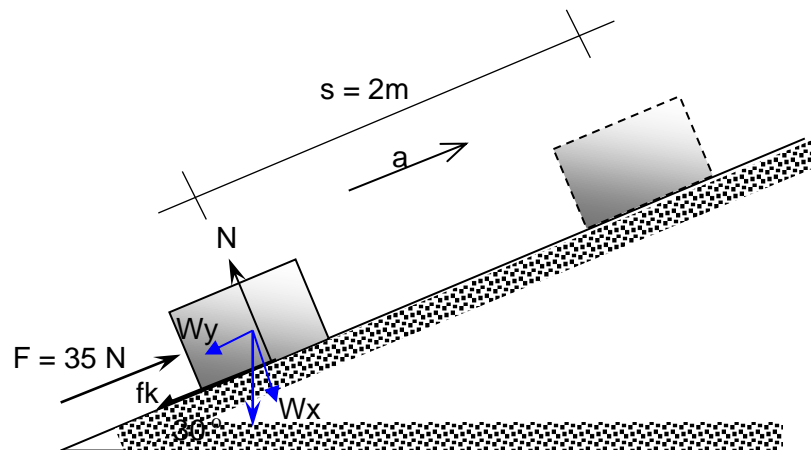
$$W = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k$$

#### Contoh 4.1 :

Sebuah balok yang massanya 2,5 kg didorong keatas pada sebuah bidang miring yang kasar dengan kemiringan  $30^\circ$  dan koefisien gesek kinetik  $\mu_k = 0,4$ .

- Jika benda bergeser sejauh 2m, hitunglah kerja yang dilakukan oleh gaya gravitasi ( $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ )
- Jika gaya yang bekerja 35 N, hitunglah kerja yang dilakukan oleh gaya tersebut
- Hitunglah kerja oleh gaya gesek
- Hitunglah kerja totalnya

Penyelesaian :



$$W = m \cdot g$$

$$W_x = W \cos 30^\circ$$

$$W_y = W \sin 30^\circ$$

a)  $W$  gaya gravitasi =  $- W \sin 30^\circ \cdot s$

$$= - m \cdot g \sin 30^\circ \cdot s$$

$$= - 2,5 \cdot 9,8 \cdot 0,5 \cdot 2$$

$$= - 24,5 \text{ Nm}$$

$$= - 24,5 \text{ Joule}$$

b)  $W$  dari gaya =  $F \cdot s$

$$= 35 \cdot 2$$

$$= 70 \text{ Joule}$$

c)  $N = W \cos 30^\circ$

$$N = 2,5 \cdot 9,8 \cdot \cos 30^\circ$$

$$= 21,218 \text{ Newton}$$

$$f_k = \mu_k \cdot N$$

$$= 0,4 \cdot 21,218$$

$$= 8,487 \text{ Newton}$$

$$W \text{ gaya gesek} = -f_k \cdot s$$

$$= - 8,487 \cdot 2$$

$$= - 16,974 \text{ Joule}$$

d)  $W$  total =  $W$  gaya gravitasi +  $W$  gaya +  $W$  gaya gesek

$$= - 24,5 + 70 - 16,974$$

$$= 28,526 \text{ Joule}$$

$$\begin{aligned}
\text{atau } W_{\text{total}} &= \sum F \cdot s \\
&= ( - W \sin 30^\circ + F - f_k ) \cdot s \\
&= 14,263 \text{ (2)} \\
&= 28,526 \text{ Joule}
\end{aligned}$$

Atau berdasarkan **“Teorema Kerja Energi ”**

$$\begin{aligned}
\text{Resultan } \sum F &= m \cdot a \implies \\
R &= m \cdot a \\
(F - W \sin 30^\circ - f_k) &= m \cdot a \\
35 - 2,5 \cdot 9,8 \cdot 0,5 - 8,487 &= 2,5 \cdot a \\
a &= 14,263/2,5 = 5,705 \text{ m/s}^2
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
v_1^2 &= v_0 + 2 \cdot a \cdot s \\
v_1^2 &= 0 + 2 \cdot 5,705 \cdot 2 \\
v_1^2 &= 22,82 \\
v_1 &= 4,777 \text{ m/s}
\end{aligned}$$

**“Kerja (W) gaya resultan = perubahan energi kinetik”**

$$\begin{aligned}
W &= \frac{1}{2} m v_1^2 - \frac{1}{2} m v_0^2 \quad ; \quad v_0 = 0 \\
W &= \frac{1}{2} \cdot 2,5 \cdot 4,777^2 \\
W &= 28,525 \text{ Joule}
\end{aligned}$$

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} a \cdot t^2$$

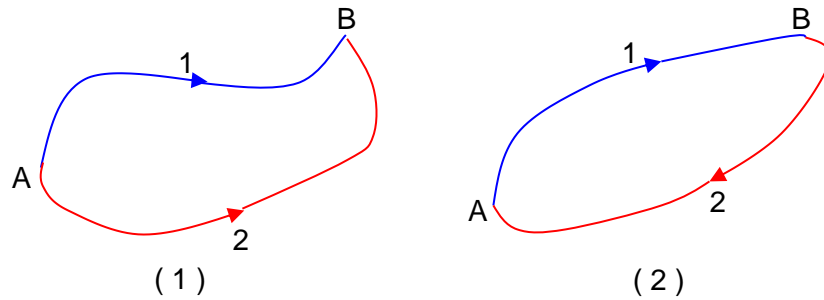
$$t = \dots$$

$$v_1 = v_0 + at$$

#### 4.4. Gaya Konservatif dan Tidak Konservatif

Gaya-gaya konservatif mempunyai ciri-ciri sebagai berikut :

1. Gaya dikatakan konservatif bila kerja yang dilakukan pada benda dalam menempuh lintasan tertutup sama dengan nol.
2. Gaya dikatakan konservatif bila kerja yang dilakukan pada sebuah benda yang bergerak diantara dua titik tidak tergantung pada lintasan yang ditempuhnya melainkan hanya tergantung pada keadaan benda di kedua titik tersebut.



$$W_{AB,1} = -W_{BA,2}$$

$$W_{AB,1} = W_{BA,2}$$

$$\text{Atau : } W_{AB,1} + W_{BA,2} = 0$$

$$\int_{x_1}^{x_2} F \cdot dx = 0$$

contoh : - gaya elastik pegas  
- gaya gravitasi

Gaya tidak konservatif bila kerja yang dilakukan oleh gaya tersebut tergantung panjang lintasannya.

Jika lintasannya berbeda, kerjanyaapun berbeda pula.

Contoh : - Gaya gesek (gaya tidak konservatif)

#### 4.5. Kerja dan Energi Potensial

Teorema kerja energi dapat diartikan bahwa energi merupakan kemampuan untuk melakukan kerja.

Energi kinetik menyatakan kemampuan untuk melakukan kerja karena gerakan, sedangkan energi potensial menyatakan kemampuan melakukan kerja karena posisi atau letak benda.

$$\text{Energi potensial pegas : } E_p = \frac{1}{2} kx^2$$

$$\text{Energi potensial gravitasi : } E_p = m \cdot g \cdot h$$

#### 4.6. Energi Mekanik (Em)

$$E_m = E_k + E_p$$

$E_m$  : Energi mekanik

$E_k$  : Energi kinetik

$E_p$  : Energi potensial



**"Kerja oleh semua gaya yang tidak konservatif sama dengan perubahan energi mekanik sistem".**

$$W_{tk} = \Delta E_m$$

$$W_{tk} = E_{m_2} - E_{m_1}$$

$$W_{tk} = (E_{k_2} + E_{p_2}) - (E_{k_1} + E_{p_1})$$

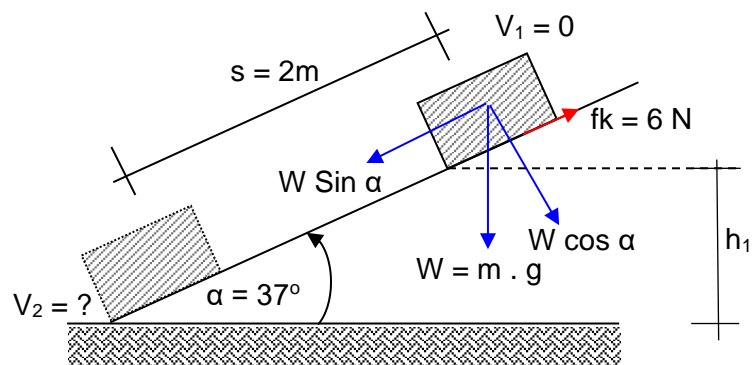
Atau

$$W_{tk} = (E_{k_2} - E_{k_1}) + (E_{p_2} - E_{p_1})$$

**Contoh 4.2 :**

Sebuah balok yang massanya 5 kg meluncur pada bidang miring 37° sejauh 2 m. Gaya geseknya 6 N. Hitunglah kecepatan balok ketika sampai didasar bidang (  $g = 9,8 \text{ m/s}^2$  ).

Penyelesaian :



$$\sin \alpha = \frac{h_1}{s} \implies h_1 = s \cdot \sin \alpha$$

$$h_1 = 2 \cdot \sin 37^\circ$$

$$h_1 = 1,2 \text{ m}$$

- Gaya yang bekerja pada balok adalah gaya gesek ( gaya tidak konservatif ) dan gaya gravitasi ( gaya konservatif ).

$W$  tidak konservatif =  $W_{tk}$  = perubahan energi mekanik

$$W_{tk} = (E_{k_2} - E_{k_1}) + (E_{p_2} - E_{p_1})$$

- Keadaan awal ( 1 )

$$E_{k_1} = \frac{1}{2}mv_1^2 = 0$$

$$E_{p1} = m \cdot g \cdot h = 5 \cdot 9,8 \cdot 1,2 = 58,8 \text{ joule}$$

- Keadaan akhir ( 2 )

$$E_{k2} = \frac{1}{2}mv_2^2 = \frac{1}{2} \cdot 5 \cdot v_2^2 = 2,5 v_2^2$$

$$E_{p2} = m \cdot g \cdot h = 0$$

- $W_{tk} = - f_k \cdot s = - 6 \cdot 2 = - 12 \text{ joule}$

$$- 12 = (2,5 v_2^2 - 0) + (0 - 58,8)$$

$$2,5 v_2^2 = 58,8 - 12$$

$$2,5 v_2^2 = 46,8$$

$$v_2^2 = 18,72$$

$$v_2 = \sqrt{18,72}$$

$$v_2 = 4,327 \text{ m/s}$$

Jadi kecepatan balok ketika sampai didasar = 4,327 m/s

#### 4.7. Daya

Cepatnya usaha yang dilakukan persatuan waktu oleh pelakunya disebut Daya (power) pelaku tersebut.

Bila sejumlah usaha  $\Delta w$  dilakukan dalam selang waktu  $\Delta t$ , daya rata-ratanya adalah :

$$P = \frac{\Delta w}{t}$$

Daya sesaat  $P$  ialah harga limit hasil bagi ini jika  $\Delta t$  mendekati nol:

$$P = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta w}{\Delta t} = \frac{dw}{dt}$$

Dari hubungan  $dw = f \cdot dx$  akan diperoleh :

$$P = F \cdot v$$

$$P = \frac{dw}{dt} \quad ; \quad v = \frac{dx}{dt}$$

$P = \text{daya}$

$F = \text{gaya}$

$v = \text{kecepatan}$

Satuan Daya\* dalam SI adalah joule / sekon atau watt

\* dalam sistem British Engineering ( Inggris Teknik ) adalah Daya kuda ( Horse Power ) disingkat hp

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ watt}$$

$$1 \text{ hp} = 550 \text{ ft.lb.s}^{-1} = 33000 \text{ ft.lb.min}^{-1}$$

Catatan :

Usaha dapat juga dinyatakan dalam satuan daya x waktu , misalnya kilowatt-jam ( kilowatt-hour ) disingkat kwh.

$$1 \text{ kwh} = 10^3 \text{ watt} \times 3600 \text{ detik} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ joule}$$

#### **Contoh 4.3 :**

- Berapa daya rata-rata (dalam watt) yang diperlukan untuk mengangkat benda seberat 50 kg setinggi 20 meter, selama 1 menit.  $g = 9,8 \text{ m/s}$

Jawab :

$$\text{Daya dalam watt} = \frac{\text{Usaha dalam Joule}}{\text{Waktu dalam detik atau sekon}}$$

$$P = \frac{50 \cdot 9,8 \cdot 20 \text{ Joule}}{60 \text{ sekon}} = 163,333 \text{ watt}$$

#### **Contoh 4.4 :**

- Hitung daya rata-rata (Hp) untuk mengangkat benda seberat 5000 lb setinggi 300 ft dalam waktu 25 sekon.

Jawab :

$$P = \frac{F \cdot s}{t} = \frac{5000 \text{ lb} \cdot 300 \text{ ft}}{25 \text{ sekon}}$$

$$P = 60.000 \frac{\text{lb} \cdot \text{ft}}{\text{s}} \implies 1 \text{ Hp} = 550 \frac{\text{lb} \cdot \text{ft}}{\text{s}}$$

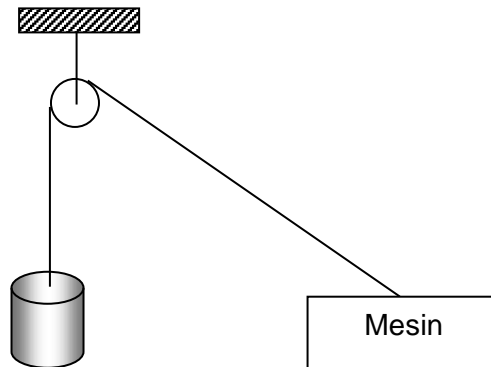
$$P = 109,1 \text{ Hp}$$

**Soal :**

- Sebuah kerekan (katrol) dengan berat ember 500 lb mengangkat 40 ft<sup>3</sup> tanah liat dengan berat jenis tanah liat  $\gamma = 125 \text{ lb/ft}^3$ . Daya yang diberikan oleh mesin setinggi 24 ft dalam 20 sekon, sebesar 16 hp.

Hitung :

- a. Usaha yang diperlukan
- b. Daya yang terpakai dan daya yang masuk
- c. Effisiensi mesin (dalam prosen)

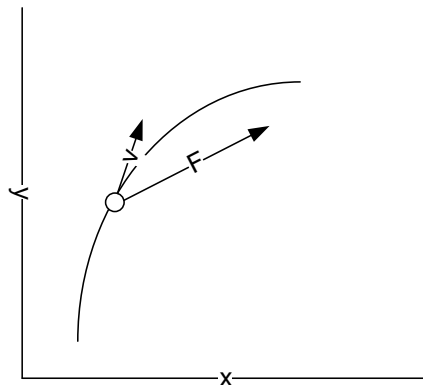


## BAB V. IMPULS DAN MOMENTUM

### 5.1. Impuls dan momentum

Hukum-hukum newton banyak memberikan kontribusi bagi dunia fisika khususnya fisika konvensional. Pada bab sebelumnya dapat dilihat bagaimana hukum-hukum newton tentang gerak diaplikasikan dalam konsep usaha dan energi. Pada bab ini akan dibahas bagaimana hukum-hukum ini diaplikasikan dalam konsep momentum dan impuls.

Untuk mendekatkan kita dalam memahami konsep impuls dan momentum, mari kita tinjau sebuah partikel bermassa  $m$  yang bergerak dalam bidang  $-xy$  (lihat gambar 5.1)



**Gambar 5.1** Gerak partikel pada bidang  $xy$

Partikel mengalami gaya sebesar  $F$  yang besar dan arahnya bisa berubah. Untuk gerak dengan kecepatan non relativistik maka berdasarkan hukum newton ke-2 dapat diturunkan persamaan-persamaan berikut ini:

$$F = m.a \quad \dots 5.1$$

atau

$$F = m \cdot \frac{dv}{dt} \quad \dots 5.2$$

Persamaan 5.2 dapat dimodifikasi menjadi :

$$\Leftrightarrow F \cdot dt = m \cdot dv$$

$$\Leftrightarrow \int_{t_1}^{t_2} F dt = \int_{v_1}^{v_2} m dv$$

Bentuk integral di ruas kiri dinamakan impuls gaya F dalam selang waktu  $t_2-t_1$  dan merupakan besaran vektor :

$$\text{impuls} = \int_{t_1}^{t_2} F dt \quad \dots 5.3$$

Integral selalu dapat dihitung selama F fungsi dari t diketahui. Akan tetapi bentuk integral ruas kanan selalu dapat dihitung.

$$\text{impuls} = \int_{v_1}^{v_2} m dv = mv_2 - mv_1 \quad \dots 5.4$$

Persamaan 5.4 inilah yang disebut dengan **momentum linear**. Momentum linear didefinisikan sebagai hasil kali massa dan kecepatannya. Momentum linear ini selanjutnya disebut dengan momentum saja untuk membedakannya dengan momentum sudut.

Dari persamaan 5.3 dan 5.4 dapat diperoleh :

$$\int_{t_1}^{t_2} F dt = mv_2 - mv_1 \quad \dots 5.5$$

Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa besar dan arah impuls vektor gaya resultan terhadap sebuah partikel, dalam sembarang selang waktu, sama dengan besar dan arah perubahan vektor momentum partikel yang bersangkutan. Fakta ini yang disebut dengan impuls-momentum. Penerapan asas impuls-momentum terutama berguna pada gaya yang bekerja sejenak saja pada partikel, misalnya gaya pada tumbukan atau ledakan.

### **Contoh 5.1 :**

Sebuah batu 2 kg bergerak pada kecepatan 6 m/s. Hitunglah gaya rata-rata  $\bar{F}$  yang dapat menghentikan batu itu dalam waktu  $7 \times 10^{-4}$  detik.

*Jawab :*

Impuls pada batu = perubahan momentum batu

$$\bar{F} \cdot \Delta t = m \cdot v_2 - m \cdot v_1$$

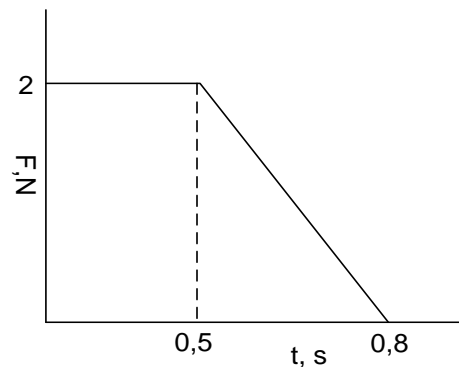
$$\bar{F} = \frac{m \cdot v_2 - m \cdot v_1}{\Delta t}$$

$$\bar{F} = \frac{0 - 6}{7 \cdot 10^{-4}} \cdot 2$$

$$\bar{F} = -1,71 \cdot 10^{-4} \text{ N}$$

**Contoh 5.2 :**

Sebuah gaya bekerja pada balok bermassa 2 kg dengan profil gaya terhadap waktu seperti gambar berikut ini.



**Gambar 5.2** Profil gaya terhadap waktu

Jika mula-mula balok diam berapa kecepatan akhir balok tersebut?

*Jawab :*

$$\int_0^{0.8} F \cdot dt = m \cdot v_2 - m \cdot v_1$$

Konsep integral dapat diselesaikan dengan menghitung luasan daerah kurva F-t pada gambar 5.2 di atas.

$$\int F \cdot dt = (2 \cdot 0,5) + (2 \cdot 0,3) \frac{1}{2}$$

$$\int F \cdot dt = 1,3 \text{ Ns}$$

Sehingga diperoleh :

$$m(v_2 - v_1) = 1,3$$

$$2 \cdot v_2 = 1,3$$

$$v_2 = 0,65 \text{ m/s}$$

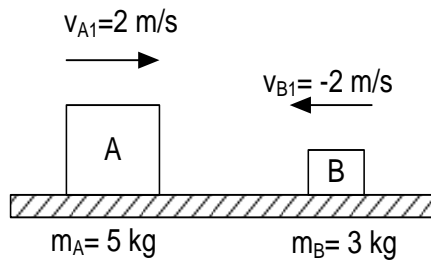
## 5.2. Kekekalan Momentum Linier

Berdasarkan hukum ke-3 Newton tentang gaya aksi-reaksi maka gaya yang bekerja terhadap suatu partikel selalu sama besarnya dan berlawanan arahnya dengan gaya terhadap partikel yang satu lagi. Dengan demikian perubahan vektor momentum suatu partikel sama besarnya dan berlawanan dengan perubahan vektor momentum partikel lainnya sehingga perubahan netto momentum sistemnya (kedua partikel bersama-sama) sama dengan nol.

Pasangan gaya aksi-reaksi tersebut merupakan gaya dakhil sistemnya dan momentum total suatu sistem yang terjadi dari sejumlah benda tidak dapat diubah oleh gaya-gaya dakhil antara benda-benda itu. Jadi jika gaya yang bekerja terhadap partikel-partikel sebuah sistem hanyalah gaya dakhil (tidak ada gaya luar) maka besar dan arah momentum total sistem itu tetap konstan. Ini yang disebut dengan **kekekalan momentum linier**.

Asas kekekalan momentum linear merupakan salah satu asas paling dasar dan penting dalam mekanika. Asas ini lebih umum sifatnya dari asas kekekalan energi mekanik.





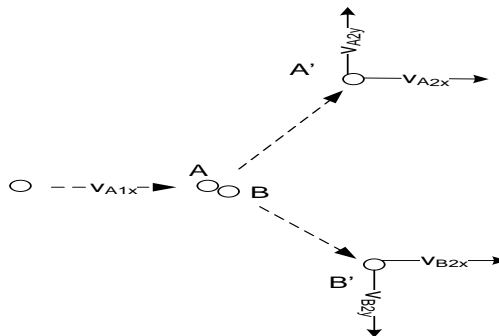
**Gambar 5.3** Dua balok bertabrakan

Berdasarkan asas kekekalan momentum maka sistem di atas dapat dijabarkan sebagai berikut :

$$m_A \cdot v_{A1} + m_B \cdot v_{B1} = m_A \cdot v_{A2} + m_B \cdot v_{B2}$$

...5.6

Hukum kekekalan momentum ini dapat juga ditulis berdasarkan komponennya.



**Gambar 5.4** Pemisahan momentum berdasarkan komponennya.

Komponen terhadap sumbu x :

$$m_A \cdot v_{A1x} + m_B \cdot v_{B1x} = m_A \cdot v_{A2x} + m_B \cdot v_{B2x}$$

$$m_A \cdot v_{A1x} = m_A \cdot v_{A2x} + m_B \cdot v_{B2x} \quad \dots 5.7$$

Komponen terhadap sumbu y :

$$m_A \cdot v_{A1y} + m_B \cdot v_{B1y} = m_A \cdot v_{A2y} + m_B \cdot v_{B2y}$$

$$0 = m_A \cdot v_{A2y} + m_B \cdot v_{B2y} \quad \dots 5.8$$

### **Contoh 5.3 :**

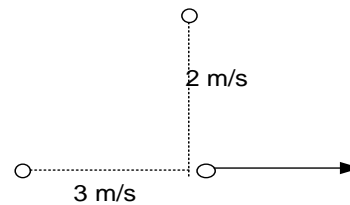
Dua buah bola dengan massa yang sama mendekati titik pusat koordinat, yang satu sepanjang sumbu +y dengan kecepatan 2 m/s dan yang lain sepanjang sumbu -x dengan kecepatan 3 m/s. setelah mereka bertabrakan satu bola bergerak keluar sepanjang sumbu +x dengan kecepatan 1,2 m/s. berapakah komponen-komponen kecepatan dari bola lainnya?

Jawab :

Momentum adalah kekal di dalam tabrakan tersebut, sehingga dapat ditulis :

Momentum untuk komponen sumbu x

$$m_A \cdot v_{A1x} + m_B \cdot v_{B1x} = m_A \cdot v_{A2x} + m_B \cdot v_{B2x}$$



$$m \cdot 3 + m \cdot 0 = m \cdot 1,2 + m \cdot v_x$$

$$3 = 1,2 + v_x$$

$$v_x = 1,8 \text{ m/s}$$

Momentum untuk komponen sumbu y

$$m_A \cdot v_{A1y} + m_B \cdot v_{B1y} = m_A \cdot v_{A2y} + m_B \cdot v_{B2y}$$

$$m \cdot -2 + m \cdot 0 = m \cdot 0 + m \cdot v_y$$

$$v_y = -2 \text{ m/s}$$

Nilai  $\square$  absolut :

$$v = \sqrt{1,8^2 + (-2)^2}$$

$$v = 2,69 \text{ m/s}$$

Arah u :

$$\text{tg} \alpha = \frac{-2}{1,8}$$

$$\alpha = -48^\circ = 312^\circ$$

### 5.3. Tumbukan Lenting dan Tak Lenting

Jika dua benda atau lebih bertabrakan maka untuk mengetahui atau menghitung kecepatan akhir setelah bertabrakan tidak cukup jika hanya menggunakan hukum kekekalan momentum saja, harus ada sifat dari proses tumbukan yang terjadi. Untuk itu dikenal dua konsep sifat tumbukan yaitu lenting dan tak lenting.

Tumbukan lenting adalah tumbukan yang jumlah energi kinetik benda-bendanya sebelum dan sesudah tumbukan adalah sama. Tumbukan seperti di atas disebut tumbukan lenting sempurna sebaliknya jika setelah tumbukan terjadi kedua benda melekat menjadi satu maka disebut tumbukan tak lenting sempurna.

$$m_A \cdot v_{A1} + m_B \cdot v_{B1} = m_A \cdot v_{A2} + m_B \cdot v_{B2}$$

$$v_{A2} = v_{B2} = v_2$$

$$m_A \cdot v_{A1} + m_B \cdot v_{B1} = (m_A + m_B)v_2 \quad \dots 5.9$$

Untuk tumbukan antara dua benda dimana kedua benda itu selalu bergerak dalam garis lurus yang sama dapat didefinisikan suatu koefisien restitusi sebagai berikut :

$$e = \frac{v_{B2} - v_{A2}}{v_{A1} - v_{B1}} \quad \dots 5.10$$

Pada tumbukan lenting sempurna  $e=1$ , untuk tumbukan tidak lenting sempurna  $e=0$ , sedang untuk tumbukan tidak lenting  $e<1$ .

#### **Contoh 5.4 :**

Peluru seberat 15 g ditembakkan dalam arah datar ke dalam balok kayu 3 kg yang digantungkan pada tali yang panjang. Peluru menancap dalam kayu itu. Tentukan kecepatan peluru kalau tumbukan ini menyebabkan balok itu bergerak sampai 10 cm di atas kedudukan semula.

Jawab :

Pada tumbukan antara balok dengan peluru terjadi hukum kekekalan momentum maka

$$m_B \cdot v_{B1} + m_P \cdot v_{P1} = m_B \cdot v_{B2} + m_P \cdot v_{P2}$$

$$v_{P2} = v_{B2} = v_2$$

Sehingga diperoleh

$$3.0 + 0,015 \cdot v_{P1} = (3 + 0,015) \cdot v_2$$

$$0,015 \cdot v_{P1} = 3,015 \cdot v_2$$

Untuk menyelesaikan kasus ini dibutuhkan persamaan lain yang didapatkan dengan memanfaatkan hukum kekekalan energi mekanik yaitu :

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

Keadaan 1 adalah keadaan peluru dan balok sesaat setelah tumbukan dan keadaan 2 adalah keadaan ketika peluru dan balok setelah berhenti bergerak.

$$0 + \frac{1}{2}(3 + 0,015)v_2^2 = (3 + 0,015) \cdot 9,8 \cdot 0,1 + 0$$

$$v_2 = \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 0,1} = 1,4 \text{ m/s}$$

Dengan demikian akan didapatkan nilai  $v_{P1}$ :

$$v_{P1} = \frac{3,015}{0,015} \cdot 1,4$$

$$v_{P1} = 281,4 \text{ m/s}$$

#### 5.4. Pusat massa

Muatan benda adalah satu titik pada benda itu yang gerakannya sama dengan gerak massa titik jika pada massa titik tadi bekerja gaya luar yang sama dengan gaya luar benda itu. Berarti, bila gaya resultan yang bekerja pada sebuah benda (atau sistem dari benda-benda) dari massa  $m$  adalah  $F$ , maka percepatan pusat massa (center of mass) dinyatakan oleh  $a_{cm} = F/m$ .

Jika benda tadi dianggap terdiri dari massa kecil  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  dan seterusnya pada koordinat  $(x_1, y_1, z_1)$ ,  $(x_2, y_2, z_2)$  dan seterusnya, maka koordinat pusat massa akan diberikan oleh

$$x_{cm} = \frac{\sum x_i \cdot m_i}{\sum m_i} \quad \dots 5.11$$

$$y_{cm} = \frac{\sum y_i \cdot m_i}{\sum m_i} \quad \dots 5.12$$

$$z_{cm} = \frac{\sum z_i \cdot m_i}{\sum m_i} \quad \dots 5.13$$

Dalam bahasa statistik, pusat massa adalah posisi rata-rata massa tertimbang dari partikel-partikel.

### 5.5. Gerakan dari Pusat Massa

Bagaimana pusat massa jika partikel tersebut bergerak. Komponen x dan y dari kecepatan pusat massa  $v_{cm-x}$  dan  $v_{cm-y}$  adalah turunan terhadap waktu dari  $x_{pm}$  dan  $y_{pm}$ . Dengan mengambil turunan  $dx/dt$ ,  $dy/dt$ ,  $dz/dt$  terhadap persamaan 5.11, 5.12, 5.13.

$$\frac{dx_{cm}}{dt} = v_{cm-x} = \frac{\sum v_{x-i} \cdot m_i}{\sum m_i} \quad \dots 5.14$$

$$\frac{dy_{cm}}{dt} = v_{cm-y} = \frac{\sum v_{y-i} \cdot m_i}{\sum m_i} \quad \dots 5.15$$

$$\frac{dz_{cm}}{dt} = v_{cm-z} = \frac{\sum v_{z-i} \cdot m_i}{\sum m_i} \quad \dots 5.16$$

Jika

$$M = m_1 + m_2 + m_3 + \dots \quad \dots 5.17$$

Maka

$$M \cdot v_{cm} = \sum v_i \cdot m_i \quad \dots 5.18$$

## 5.6. Gaya Luar dan Pusat Massa dari Gerakan

Jika gaya luar total pada sebuah sistem partikel bukan nol, maka momentum total tidak kekal dan kecepatan dari pusat massa akan berubah atau dengan kata lain akan ada percepatan. Ambil  $a = dv/dt$  maka analog dengan cara di atas :

$$M \cdot a_{cm} = \sum m_i \cdot a_i \quad \dots 5.19$$

Dari persamaan 5.19 berdasarkan hukum Newton kita dapatkan :

$$\sum F = \sum F_{\text{luar}} \quad \dots 5.20$$

Ketika benda atau sekumpulan partikel dikenai kerja oleh gaya luar, pusat massa bergerak seolah, semua massa terkumpul pada titik tersebut dan benda akan dikenai kerja oleh gaya total yang sama dengan jumlah gaya luar pada sistem. Inilah inti dari pelajaran mekanika dalam fisika. Sebagai gambaran bayangkan efek dari persamaan 5.20 ini pada kasus anda menarik ikat pinggang anda ke atas, ikat pinggang anda akan memberikan gaya ke bawah yang sama pada tangan anda, kedua-duanya adalah gaya-gaya dalam yang saling meniadakan dan tidak mempunyai efek pada gerakan keseluruhan badan anda.

### **Contoh 5.5 :**

Tarik tambang di atas es. James dan Ramon berdiri terpisah sejauh 20,0 m di atas permukaan licin dari kolam yang beku. Ramon mempunyai massa 60 kg dan James 90 kg. Di tengah-tengah kedua orang itu ada sebuah cangkir berisi minuman kesukaan mereka di atas es. Mereka berdua menarik ujung dari sebuah tali ringan yang terbentang antara mereka. Ketika James bergerak 6 meter menuju cangkir, berapa jauh dan kearah manakah Ramon bergerak?

Jawab :

Asumsikan bahwa massa tali diabaikan terhadap massa Ramon dan James dan cangkir juga merupakan pusat massa sistem

Ramon-tali-James. Mula-mula (sebelum mereka saling menarik tali) akan didapat koordinat x pusat massa sistem

$$x_{pm} = \frac{(90 \cdot -10) + (60 \cdot 10)}{(90 + 60)} = -2 \text{ m}$$

Ketika James bergerak 6 meter menuju cangkir maka koordinat barunya berubah dari -10 m menjadi -4 m, sementara pusat massa tidak bergerak sehingga

$$x_{pm} = -2 = \frac{(90 \cdot -4) + (60 \cdot x_2)}{(90 + 60)}$$

$$x_2 = 1 \text{ m}$$

Didapatkan bahwa Ramon ternyata telah bergerak sejauh 9 meter mendekati cangkir karena posisi koordinat akhirnya di 1 meter dari cangkir.

## **BAB 6. ELEKTROSTATIKA**

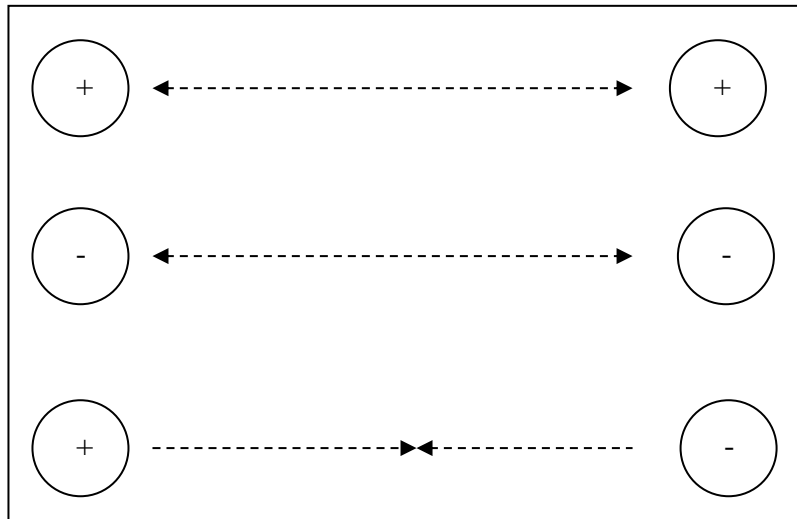
Listrik atau *electricity* berasal dari kata *electron* (bahasa Yunani) yang berarti Batu Amber. Batu Amber adalah sejenis batuan yang apabila digosok dengan kain, maka batu tersebut dapat menarik benda lain seperti bulu atau jerami. Hal ini terjadi karena adanya perpindahan muatan diantara kedua benda.

Gejala kelistrikan sudah lama dikenal manusia. Sumber gejala kelistrikan adalah muatan listrik. Ada dua jenis partikel pembawa muatan yaitu proton sebagai pembawa muatan positif dan elektron sebagai pembawa muatan negatif. Suatu benda dikatakan bermuatan positif apabila jumlah proton lebih besar dari jumlah elektron, sedangkan apabila benda tersebut kelebihan elektron maka dikatakan bermuatan negatif. Benda disebut netral apabila jumlah elektron dan protonnya seimbang. Umumnya benda cenderung untuk berada pada keadaan netral. Karena itu benda akan mengambil atau membuang sebagian elektron ke benda lain.

### **6.1. Gaya Listrik**

Apabila di dalam suatu ruangan terdapat dua partikel bermuatan atau lebih akan terjadi interaksi. Dari hasil percobaan Charles Augustin de Coulomb (1736 – 1806) dengan menggunakan neraca puntir ditemukan bahwa gaya yang diakukan oleh satu muatan titik pada muatan titik lainnya bekerja sepanjang garis lurus yang menghubungkan kedua muatan tersebut. Apabila muatannya berlawanan jenis maka gaya interaksinya adalah tolak-menolak, sedangkan apabila muatannya sejenis maka gaya interaksinya tarik-menarik.





Gambar 6.1. Arah gaya interaksi pada dua muatan

Besarnya gaya listrik sebanding dengan hasil kali kedua muatan yang saling berinteraksi, dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya. Secara matematis gaya listrik/gaya coulomb dinyatakan dengan :

$$F \sim \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \text{.....6.1}$$

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2} \quad \text{.....6.2}$$

Karena gaya termasuk besaran vektor, maka :

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} \quad \text{.....6.3}$$

Dimana :

$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$  adalah tetapan untuk ruang hampa

$q_1, q_2 =$  muatan partikel (C)

$r =$  jarak antara dua muatan (m)

**Contoh 6.1 :**

Dua muatan titik masing-masing sebesar  $15 \mu\text{C}$  dipisahkan pada jarak 10 cm. Carilah besarnya gaya yang terjadi.

Penyelesaian :

Diketahui :  $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ ,  $q_1 = q_2 = 15 \mu\text{C} = 15 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ,  
 $r = 10 \text{ cm} = 0,1 \text{ m}$

Ditanya :  $F = \dots?$

Jawab :

$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{15 \cdot 10^{-6} 15 \cdot 10^{-6}}{0,1^2} = 202,5 \text{ N}$$

Jadi besarnya gaya yang terjadi adalah sebesar 202,5 N

Apabila terdapat lebih dari dua muatan listrik yang berinteraksi maka gaya total pada salah satu muatan adalah jumlah vektor gaya yang disebabkan oleh muatan-muatan yang lain (*prinsip superposisi*).

### **Contoh 6.2 :**

Dua buah muatan yang sama besar yaitu  $3 \mu\text{C}$  terletak pada sumbu Y, yang satu terletak pada sumbu koordinat dan yang lainnya pada  $y = 6 \text{ m}$ . Muatan ketiga  $q_3 = 2 \mu\text{C}$  terletak pada sumbu X dengan  $x = 8 \text{ m}$ . Carilah besarnya gaya yang dialami muatan  $q_3$ .

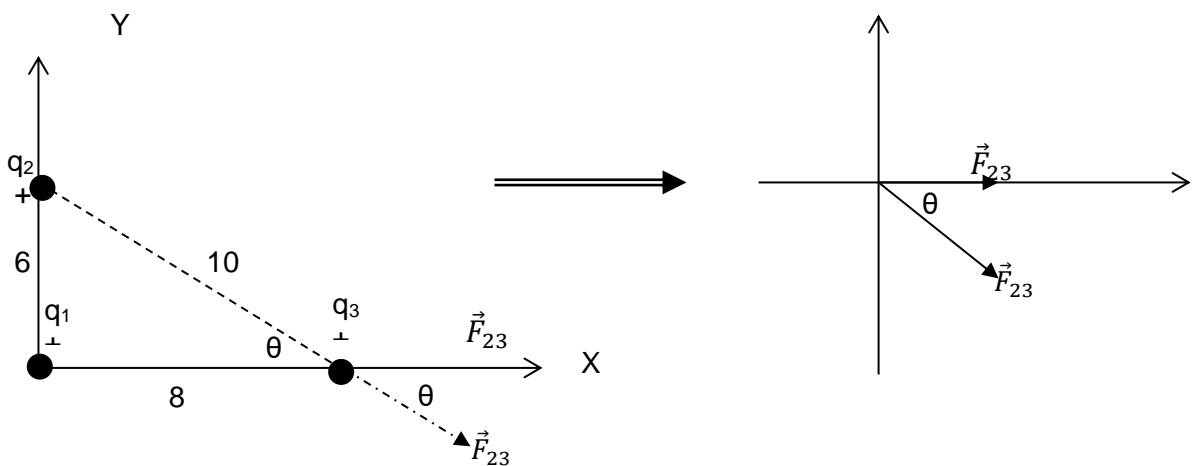
Penyelesaian :

Diketahui :  $q_1 = q_2 = 3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ,  $q_3 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ,  $r_1 = 0$ ,

$$r_2 = 6 \text{ m } \hat{j}, r_3 = 8 \text{ m } \hat{i}$$

Ditanya :  $F_3 = \dots?$

Jawab :



Besarnya vektor gaya :

$$\vec{F}_{13} = k \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2} \hat{r}_{13} = 9 \cdot 10^9 \frac{3 \cdot 10^{-6} 2 \cdot 10^{-6}}{8^2} \hat{i} = 0,843 \cdot 10^{-3} \text{ N } \hat{i}$$

$$\vec{F}_{23} = k \frac{q_2 q_3}{r_{23}^2} \hat{r}_{123} = 9 \cdot 10^9 \frac{3 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{10^2} \hat{r}_{23} = 0,54 \cdot 10^{-3} \text{ N} \hat{r}_{23}$$

Besarnya sudut  $\theta$  :

$$\sin \theta = \frac{6}{10}$$

$$\theta = \arcsin \frac{6}{10} = 36,87^\circ$$

Untuk komponen pada sumbu X :

$$F_{23x} = \vec{F}_{23} \cos 36,87^\circ = 0,54 \cdot 10^{-3} \cos 36,87^\circ = 0,432 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_{3x} = F_{13x} + F_{23x} = 0,843 \cdot 10^{-3} + 0,432 \cdot 10^{-3} = 1,275 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Untuk komponen pada sumbu Y :

$$F_{3y} = -F_{23y} + F_{13y} = -F_{23y} = -F_{23} \sin 36,87^\circ = -0,54 \cdot 10^{-3} \sin 36,87^\circ \\ = -0,324 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Besarnya gaya total  $F_3$

$$F_3 = \sqrt{(F_{3x})^2 + (F_{3y})^2} = \sqrt{(1,275 \cdot 10^{-3})^2 + (-0,324 \cdot 10^{-3})^2} = 1,31 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

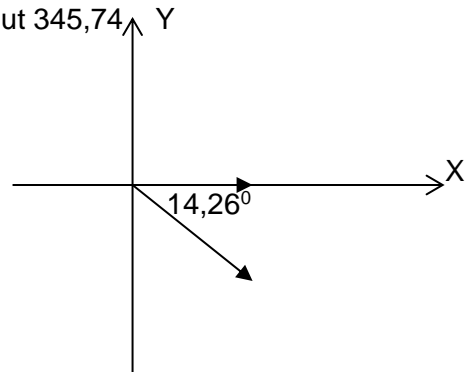
Arah  $F_3$  :

$$\tan \varphi = \frac{F_{3y}}{F_{3x}} = \frac{-0,324 \cdot 10^{-3}}{1,275 \cdot 10^{-3}} = 0,2541 \text{ (Kuadran III)}$$

$$\varphi = 345,74^\circ$$

Jadi, besarnya gaya yang terjadi pada muatan ketiga adalah

$1,31 \cdot 10^{-3} \text{ N}$  dengan arah sudut  $345,74^\circ$



**Soal -Soal:**

**Soal 1.**

Tiga muatan titik terletak pada sumbu X.  $q_1 = 25 \text{ nC}$  terletak pada titik asal,  $q_2 = -10 \text{ nC}$  berada pada  $x = 2 \text{ m}$  dan  $q_3 = 20 \text{ nC}$  terletak pada  $x = 3,5 \text{ m}$ . Carilah gaya total pada  $q_3$  akibat  $q_1$  dan  $q_2$ .

**Soal 2.**

Tiga buah muatan terletak pada sudut-sudut sebuah segiempat. Besarnya muatan masing-masing adalah sama yakni  $3 \text{ nC}$ . Dua muatan yang terletak pada sudut berlawanan bertanda positif, sementara muatan ketiga bernilai negatif. Adapun panjang sisi segiempat tersebut adalah  $5 \text{ cm}$ . Jika diletakkan muatan keempat sebesar  $+3 \text{ nC}$  pada sudut yang kosong, berapakah besarnya gaya pada muatan yang keempat ini?

**6.2. Medan Listrik (Electrical Field)**

Medan listrik adalah daerah yang dipengaruhi oleh sifat kelistrikan dari suatu muatan, dimana apabila benda bermuatan lain diletakkan disekelilingnya maka akan merasakan atau mengalami gaya listrik. Secara eksperimental untuk mengetahui keberadaan medan listrik di suatu titik tertentu adalah dengan menempatkan sebuah muatan uji pada titik tersebut. Jika muatan uji tadi mengalami gaya listrik maka berarti terdapat medan listrik di titik tersebut.

Secara matematis, medan listrik  $E$  disuatu ruang didefinisikan sebagai gaya  $F$  yang dialami muatan uji positif yang ditempatkan di suatu titik dalam ruang dibagi dengan besarnya muatan uji  $q_0$ .

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad \text{.....6.4}$$

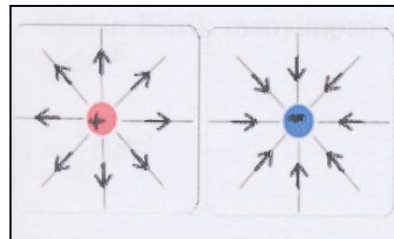
Jika

$$\vec{F}_{10} = k \frac{q_1 q_0}{(r_{10})^2} \hat{r}_{10} \quad \text{.....6.5}$$

maka

$$\vec{E}_{10} = k \frac{q_1}{(r_{10})^2} \hat{r}_{10} \quad \dots\dots\dots 6.6$$

dimana  $\hat{r}_{10}$  adalah vektor posisi yang melewati titik tersebut dengan arah yang berasal dari muatan sumber. Bila muatan sumber positif, medan listriknya menyebar secara radial keluar dari muatan. Kalau negatif maka medan listriknya arahnya masuk/menuju ke sumber muatan.



Gambar 6.2. Garis-garis medan listrik pada muatan positif dan negatif

Medan listrik yang ditimbulkan oleh sekelompok muatan dapat ditentukan dengan menerapkan prinsip superposisi. Yakni medan listrik total disuatu titik sama dengan penjumlahan vektor medan listrik yang ditimbulkan oleh masing-masing muatan di titik tersebut.

$$\vec{E}_{tot} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots = \sum E_i = \sum_i k \frac{q_i}{(r_{i0})^2} \hat{r}_{i0} \dots 1.7$$

**Contoh 6.3 :**

Sebuah muatan positif  $q_1 = 8 \text{ nC}$  berada pada titik asal dan muatan kedua positif  $q_2 = 12 \text{ nC}$  berada pada sumbu X di  $x = 4 \text{ m}$ . Carilah medan listriknya :

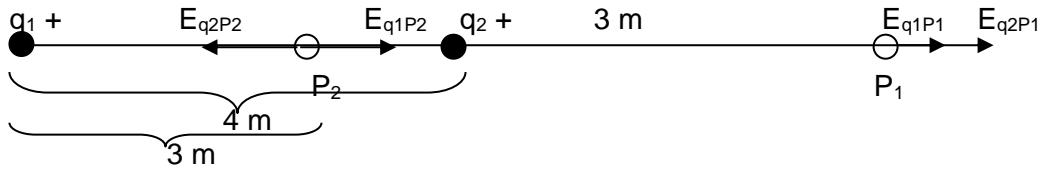
- a. Pada titik  $P_1$  di  $x = 7 \text{ m}$
- b. Pada titik  $P_2$  di  $x = 3 \text{ m}$ .

Penyelesaian :

Diketahui :  $q_1 = 8 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ ,  $x_1 = 0$ ,  $q_2 = 12 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ ,  $x_2 = 4 \text{ m}$

- Ditanya : a.  $E_{P1} = \dots?$
- b.  $E_{P2} = \dots?$

Jawab :



$$\begin{aligned} \text{a. } \vec{E}_{P_1} &= \vec{E}_{q_1P_1} + \vec{E}_{q_2P_1} = k \frac{q_1}{r^2} \hat{r} + k \frac{q_2}{r^2} \hat{r} \\ &= \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 8 \cdot 10^{-9}}{7^2} \hat{i} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 12 \cdot 10^{-9}}{3^2} \hat{i} = 1,47 \hat{i} + 12 \hat{i} = 13,47 N / C \hat{i} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b. } \vec{E}_{P_2} &= \vec{E}_{q_2P_2} - \vec{E}_{q_1P_2} = -k \frac{q_2}{r^2} \hat{r} + k \frac{q_1}{r^2} \hat{r} \\ &= -\frac{9 \cdot 10^9 \cdot 12 \cdot 10^{-9}}{1^2} \hat{i} + \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 8 \cdot 10^{-9}}{3^2} \hat{i} = -108 \hat{i} + 8 \hat{i} = -100 N / C \hat{i} \end{aligned}$$

### Soal 3.

Dua muatan positif yang sama besar  $q_1 = q_2 = 6 \text{ nC}$  berada pada sumbu Y pada  $y_1 = +3 \text{ cm}$  dan  $y_2 = -3 \text{ cm}$ . Tentukanlah besar dan arah medan listrik pada titik yang terletak pada sumbu X dengan  $x = 4 \text{ cm}$ .

Adapun medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan kontinu (tersebar merata) dapat dicari dengan

$$d\vec{E} = \frac{k dq}{r^2} \hat{r} \quad \dots\dots 6.8$$

$$\vec{E} = \int \frac{k dq}{r^2} \hat{r} \quad \dots\dots 6.9$$

dimana  $dq$  adalah elemen muatan dan  $r$  adalah jarak dari elemen muatan ke titik yang ditinjau. Untuk melakukan integrasi pada persamaan di atas, akan lebih mudah dilakukan dengan menyatakan elemen muatan  $dq$  sebagai hasil kali elemen panjang, elemen luas atau elemen volume dengan rapat muatan. Untuk distribusi muatan kontinu, rapat muatan  $\lambda$ ,  $\sigma$  dan  $\rho$  harus dinyatakan sebagai fungsi posisi.

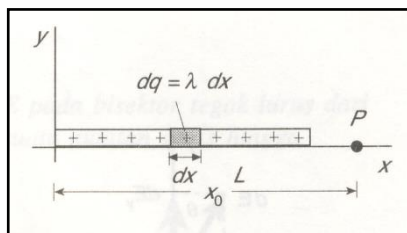
Untuk distribusi muatan garis :  $dq = \lambda dx$

Untuk distribusi muatan bidang :  $dq = \sigma dA$

Untuk distribusi muatan volume :  $dq = \rho dV$

**Contoh 6.4 :**

Sebuah muatan seragam  $Q$  terletak di sepanjang garis dari  $x = 0$  sampai  $x = L$ . Berapakah besarnya medan listrik di titik  $P$ ?



Penyelesaian :

Diketahui :  $Q, x_1 = 0, x_2 = L, dq = \lambda dx$

Ditanya :  $E = \dots?$

Jawab :

$$d\vec{E} = \frac{k dq}{r^2} \hat{r}$$

$$d\vec{E}_x = \frac{k dq}{r^2} = \frac{k \lambda dx}{r^2} = \frac{k \lambda dx}{(x_0 - x)^2}$$

Karena dari  $x_1 = 0$  sampai  $x_2 = L$

$$E_x = \int_0^L dE_x = \int_0^L \frac{k \lambda dx}{(x_0 - x)^2}$$

$$\int_0^L dE_x = \int_0^L \frac{k \lambda dx}{(x_0 - x)^2} = k \lambda \int_0^L \frac{dx}{(x_0 - x)^2}, U = x_0 - x$$

$$dU = -dx$$

$$= k \lambda \int_0^L \frac{-dU}{U^2}$$

$$= k \lambda \left. \frac{1}{U} \right|_0^L$$

$$= k \lambda \left. \frac{1}{(x_0 - x)} \right|_0^L$$

$$\begin{aligned}
&= k\lambda \left( \frac{1}{x_0 - L} - \frac{1}{x_0} \right) \\
&= k\lambda \left( \frac{x_0 - x_0 + L}{x_0(x_0 - L)} \right) \\
&= \frac{k\lambda L}{x_0(x_0 - L)} = \frac{k \frac{Q}{L} L}{x_0(x_0 - L)} = \frac{kQ}{x_0(x_0 - L)}
\end{aligned}$$

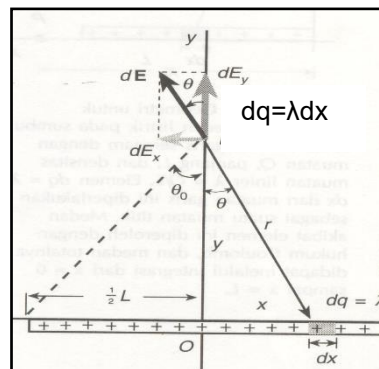
Jadi medan listrik yang terjadi dititik P sebesar  $= \frac{kQ}{x_0(x_0 - L)}$

Jika  $x_0 \gg L$  (jarak titik P jauh dari batang) maka  $E = \frac{kQ}{r^2}$

(batang dianggap seperti muatan titik).

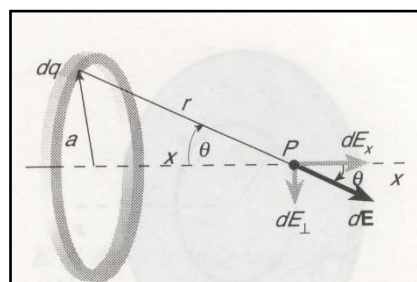
**Soal 4.**

Batang bermuatan tak hingga terletak di sepanjang sumbu X dengan panjang L. Carilah medan listrik di titik P seperti yang ditunjukkan oleh gambar di bawah ini.



**Soal 5.**

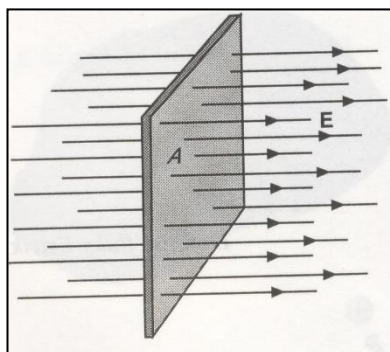
Carilah medan listrik di titik P yang berjarak sejauh x dari pusat sumbu bermuatan berjari-jari a.





### 6.3. Hukum Gauss

Hukum Gauss digunakan untuk menghitung kuat medan listrik di sekitar benda-benda yang distribusi muatannya simetris, contohnya lingkaran, bola, tabung, dll. Persamaan matematis dari hukum Gauss menghubungkan medan listrik pada permukaan tertutup dengan muatan total dalam permukaan tertutup tersebut.



Gambar 1.3. Garis-garis gaya listrik yang melintasi luasan A

Kuantitas matematis yang menunjukkan jumlah garis gaya medan listrik yang melewati permukaan secara tegak lurus disebut fluks listrik  $\Phi$ , dimana :

$$\Phi = E \cdot A, \text{ atau}$$
$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} \quad \text{.....6.10}$$

Adapun hukum Gauss menyatakan bahwa fluks listrik  $\Phi$  sama dengan muatan total  $Q_{enc}$  dibagi dengan  $\epsilon_0$ ,

$$\Phi = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} \quad \text{.....6.11}$$

sehingga

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0} \quad \text{.....6.12}$$

Jadi fluks listrik  $\Phi$  yang melewati suatu permukaan tertutup sebanding dengan muatan listrik yang terlingkupi oleh permukaan tertutup tersebut.

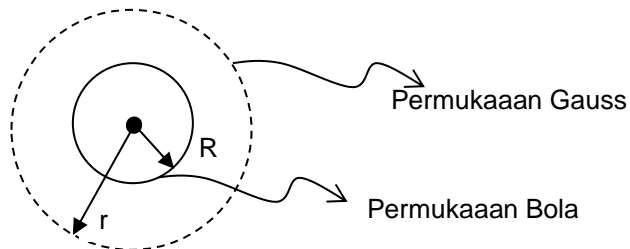
**Contoh 6.5 :**

Kulit bola berjejari R mempunyai muatan Q yang terdistribusi secara kontinu (seragam) di permukaannya. Hitunglah medan listrik di titik yang berada :

- a. Di luar kulit
- b. Di dalam kulit

Penyelesaian :

a.



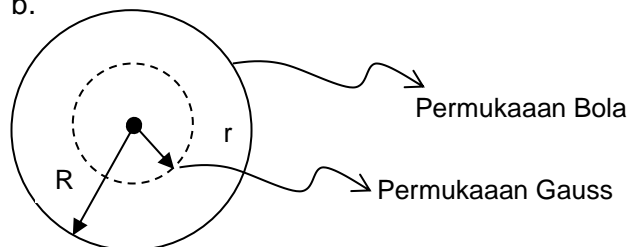
Di luar kulit

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$
$$E \oint dA = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$E (4\pi r^2) = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0 4\pi r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} = k \frac{Q}{r^2}$$

b.



Di dalam kulit

$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$E \oint dA = 0$$
$$E = 0$$

Jadi medan listriknya nol

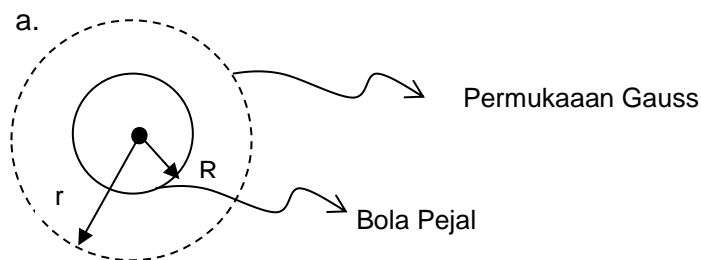
**Contoh 6.6 :**

Bola pejal bermuatan total  $Q$  yang terdistribusi seragam (uniform) di seluruh volume bola. Jari-jari bola pejal adalah  $R$ , dan densitas muatannya  $\rho = \frac{Q}{V}$ , dimana  $V = \frac{4}{3} \pi R^3$ . Carilah besarnya medan

di :

- Luar bola pejal
- Dalam bola pejal

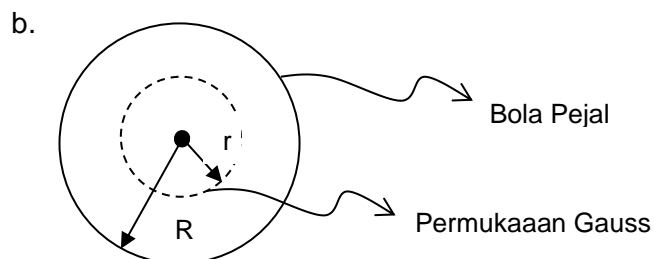
Penyelesaian :



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$
$$E \oint dA = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$E (4\pi r^2) = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{Q_{enc}}{\epsilon_0 4\pi r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} = k \frac{Q}{r^2}$$



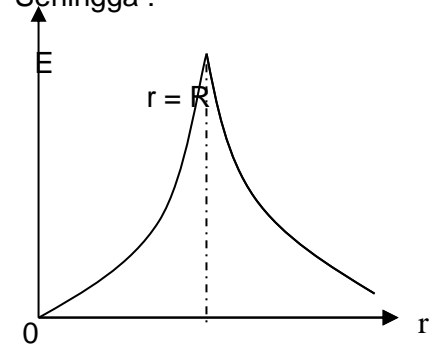
$\rho_{\text{dalam bola}} = \rho_{\text{seluruh bola}}$

$$\frac{Q_{\text{enc}}}{V} = \frac{Q}{V}$$

$$\frac{Q_{\text{enc}}}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{Q}{\frac{4}{3}\pi R^3}$$

$$Q_{\text{enc}} = \left(\frac{r}{R}\right)^3 Q$$

Sehingga :



$$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{Q_{\text{enc}}}{\epsilon_0}$$

$$E(4\pi r^2) = \left(\frac{r}{R}\right)^3 \frac{Q}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qr}{R^3}$$

#### 6.4. Energi Potensial Listrik

Hukum kekekalan energi menyatakan bahwa energi total adalah kekal. Yang mungkin terjadi hanyalah perubahan bentuk energi, misal dari energi kinetik menjadi energi potensial, dsb. Ada bermacam-macam bentuk energi, salah satunya yakni energi potensial. Energi potensial didefinisikan sebagai energi yang tersimpan dalam suatu benda. Energi potensial listrik dilambangkan dengan U. Jika sebuah muatan positif  $q_0$  berpindah sejauh dl dari titik A ke titik B dalam medan listrik E, maka perubahan energi potensialnya :

$$dU = -q_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad \text{.....6.13}$$

$$\Delta U = \int_A^B dU \quad \text{.....6.14}$$

$$U_B - U_A = - \int_A^B q_0 \mathbf{E} \cdot d\mathbf{l} \quad \text{.....6.15}$$

Dari persamaan diatas dapat disimpulkan bahwa apabila suatu muatan uji positif bergerak searah dengan medan listrik maka berarti energi potensialnya berkurang, namun apabila yang bergerak itu adalah muatan negatif maka energi potensialnya akan bertambah.

## 6.5. Potensial Listrik

Potensial listrik atau beda potensial  $V$  adalah perubahan energi potensial listrik per satuan muatan. Satuan SI untuk beda potensial adalah volt.

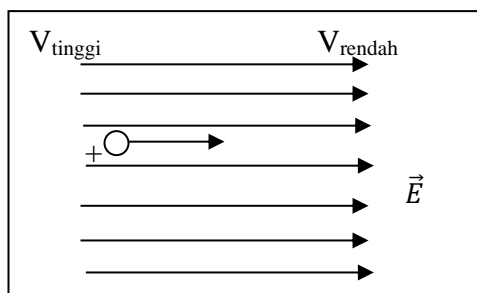
$$1 \text{ V} = 1 \text{ Joule/Coulomb}$$

Jika sebuah baterai bertuliskan 1,5 volt, itu berarti pada terminal positif baterai lebih tinggi 1,5 volt daripada terminal negatif baterai. Jika baterai terhubung dengan penghantar, arus akan mengalir dari terminal positif ke terminal negatif. Bayangkanlah arus itu sebagai air yang mengalir dari tempat yang tinggi (berenergi potensial tinggi) ke tempat yang rendah (berenergi potensial lebih rendah)

Beda potensial  $\Delta V$  antara titik A dan titik B di dalam medan listrik statik  $\mathbf{E}$  didefinisikan sebagai perubahan energi potensial yang dialami oleh satu satuan muatan uji  $q_0$  :

$$\Delta V = \frac{dU}{q_0} = - \int_A^B \mathbf{E} \cdot d\ell \quad \text{.....6.16}$$

Garis medan listrik selalu menuju ke arah potensial yang lebih rendah.



Gambar 6.4 Garis medan listrik menuju ke arah potensial rendah

**Contoh 6.7 :**

Proton bermassa  $1,67 \cdot 10^{-27}$  kg dengan muatan  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C diletakkan dalam medan listrik  $E = 5 \text{ V/m } \hat{i}$  dan dilepaskan dari keadaan bebas. Setelah berjalan 4 cm berapa kecepatan gerakannya?

Penyelesaian :

$$\begin{aligned} \Delta U &= - \int_0^{0,04} q_0 E \cdot d\ell = - \int_0^{0,04} 1,6 \cdot 10^{-19} 5 \hat{i} \cdot \hat{i} dx \\ &= - \int_0^{0,04} 3,2 \cdot 10^{-19} dx = -3,2 \cdot 10^{-19} ]_0^{0,04} = -3,2 \cdot 10^{-20} \text{ J} \end{aligned}$$

Dari Hukum Kekekalan Energi :

$$\Delta K + \Delta U = 0$$

$$\Delta K = - \Delta U$$

$$v^2 = \frac{-2\Delta U}{m}$$

$$v = \sqrt{\frac{-2\Delta U}{m}} = \sqrt{\frac{-2 \cdot (-3,2 \cdot 10^{-20})}{1,67 \cdot 10^{-27}}} = 6190,58 \text{ m/s} = 6,19 \cdot 10^3 \text{ m/s} \quad \frac{1}{2} m \cdot v^2 = - \Delta U$$

Jadi proton akan bergerak dengan kecepatan  $6,19 \cdot 10^3$  m/s setelah berjalan 0,04 m.

**Soal 6.**

Medan listrik yang serbasama  $2 \text{ kN/C}$  searah dengan sumbu X. Sebuah muatan titik dengan  $q = 3 \mu\text{C}$  dilepaskan dari keadaan diam dari titik pusat.

- A. Berapa energi kinetik muatan ketika berada di  $x = 4 \text{ m}$ .
- B. Berapa perubahan energi potensial muatan dari  $x = 0$  ke  $x = 4$
- C. Berapa beda potensialnya?

Pada potensial oleh sistem muatan titik, potensial pada satu titik yang ditimbulkan oleh sebuah muatan titik  $q$  pada jarak  $r$  dari muatan tersebut dapat dihitung dengan :

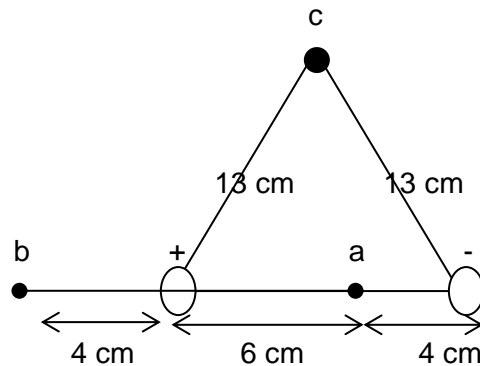
$$V = k \frac{q}{r} \quad \dots\dots 6.17$$

Untuk menentukan potensial pada satu titik oleh beberapa muatan titik digunakan prinsip superposisi.

$$\begin{aligned} dV &= -\vec{E} \cdot d\vec{\ell} = -\vec{E}_1 \cdot d\vec{\ell}_1 - \vec{E}_2 \cdot d\vec{\ell}_2 - \dots \\ &= dV_1 + dV_2 + \dots \\ &= \sum_i^n \frac{kq_i}{r_{i0}} \quad \dots\dots 6.18 \end{aligned}$$

**Contoh 6.8 :**

Dua muatan titik  $q_1 = 12 \text{ nC}$  dan  $q_2 = -12 \text{ nC}$  ditempatkan seperti gambar di bawah. Hitung potensial di titik a, b dan c!



Penyelesaian :

Di titik a

$$V_a = V_1 + V_2$$

$$= k \frac{q_1}{r_1} + k \frac{q_2}{r_2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 12 \cdot 10^{-9}}{0,06} - \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 12 \cdot 10^{-9}}{0,04} = -900 \text{ volt}$$

Di titik b

$$V_b = V_1 + V_2$$

$$= \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 12 \cdot 10^{-9}}{0,04} - \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 12 \cdot 10^{-9}}{0,14} = 1928,57 \text{ volt}$$

Di titik c

$$V_c = V_1 + V_2$$

$$= \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 12 \cdot 10^{-9}}{0,13} - \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 12 \cdot 10^{-9}}{0,13} = 0 \text{ volt}$$

Jadi potensial di titik a sebesar -900 volt, di titik b 1928,57 volt dan di titik c 0 volt.

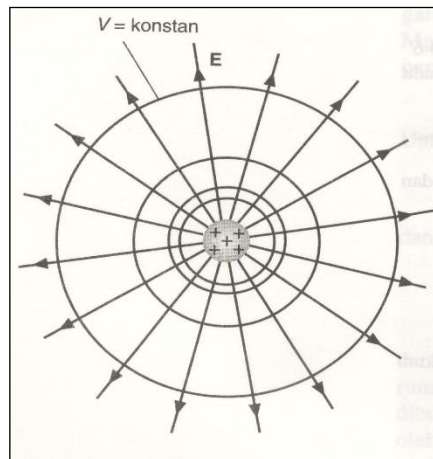
### Soal 7.

Empat muatan titik  $2 \mu\text{C}$  terletak di ujung-ujung bujur sangkar sisi 4 m. Tentukan potensial di pusat bujur sangkar, jika :

- A. Semua muatan positif
- B. Tiga muatan positif dan satu negatif
- C. Dua muatan positif dan dua negatif

## 6.6. Ekipotensial

Permukaan ekipotensial adalah permukaan dimana potensialnya sama atau konstan. Permukaan konduktor adalah permukaan ekipotensial. Jika suatu muatan berpindah sejauh  $dl$  sejajar terhadap permukaan ekipotensial,  $dV = E \cdot dl = 0$  maka garis-garis medan listrik tegak lurus terhadap permukaan ekipotensial.



Gambar 6.5. Permukaan-permukaan ekipotensial dan garis-garis medan listrik di luar konduktor bola bermuatan serba sama. Permukaan ekipotensial adalah berbentuk bola dan garis-garis medan listrik adalah radial dan tegak lurus terhadap permukaan-permukaan potensial



## 6.7. Kapasitor dan Dielektrik

### 6.7.1 Kapasitor

Kapasitor adalah suatu elemen listrik untuk menyimpan muatan listrik dan energi. Kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan disebut kapasitansi (C). Contoh penggunaan kapasitor seperti pada kamera untuk memberi kilat/cahaya, dimana kapasitor berfungsi sebagai penyimpan energi, untuk kemudian dilepaskan secara tiba-tiba. Kapasitor yang sering digunakan adalah kapasitor keping sejajar dan kapasitor silinder panjang.

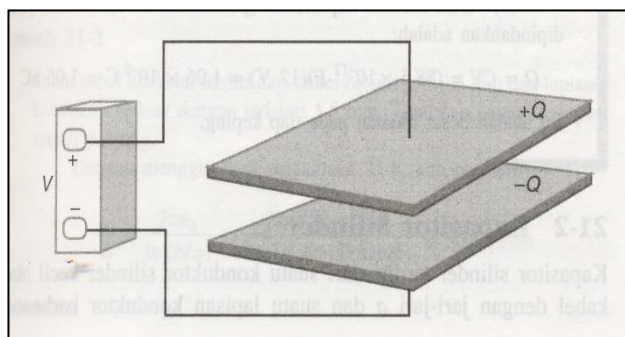
Secara matematis, kapasitansi C adalah rasio antara Q dan V

$$C = \frac{Q}{V} \quad \text{.....6.19}$$

Satuan SI untuk kapasitansi adalah Coulomb per Volt atau disebut farad (F)

$$1F = 1 \frac{C}{V}$$

#### 6.7.1.1 Kapasitor Keping Sejajar



Gambar 1.6 Kapasitor keping sejajar yang dihubungkan dengan sumber beda potensial

Kapasitor keping sejajar terdiri dari dua keping konduktor yang diletakkan sejajar. Ketika kedua konduktor dihubungkan dengan sumber beda potensial tertentu, maka konduktor akan termuati. Satu

konduktor termuati muatan positif dan satu konduktor lain termuati negatif, sampai beda potensial antara keping-keping konduktor sama dengan beda potensial ujung-ujung baterai (sumber beda potensial).

Pada kapasitor keping sejajar dengan luas  $A$ , jarak antara  $s$  (jarak antara  $s$  harus lebih kecil daripada panjang dan lebar keping), maka perbedaan potensial antara keping-kepingnya :

$$V = Es = \frac{\sigma}{\epsilon_0} s = \frac{Qs}{\epsilon_0 A} \quad \text{.....6.20}$$

Dengan demikian kapasitansinya :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{Qs}{\epsilon_0 A}} = \frac{\epsilon_0 A}{s}, \text{ dengan } \epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{F/m}$$

.....6.21

Dari persamaan di atas dapat disimpulkan bahwa kapasitansi tidak bergantung pada besar muatan  $Q$  maupun tegangan  $V$  karena tegangan sebanding dengan besar muatan. Kapasitansi hanya bergantung pada faktor geometri keping kapasitor yakni luasan keping  $A$  dan jarak antara keping  $s$ .

**Contoh 1.9 :**

Pelat-pelat kapasitor keping sejajar dalam ruang hampa berjarak 5 mm dan luasnya 2,0 m<sup>2</sup>. Kapasitor tersebut dihubungkan dengan sumber beda potensial 10000 V. Hitunglah :

- a. Kapasitansinya
- b. Muatan pada setiap pelat
- c. Besarnya medan diantara pelat kapasitor

Penyelesaian :

Diketahui :  $s = 5 \text{ mm} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$ ,  $A = 2 \text{ m}^2$ ,  $V = 10000 \text{ volt}$

Ditanya : a.  $C = \dots?$

b.  $Q = \dots?$

c.  $E = \dots?$

Jawab :

$$a. C = \frac{\epsilon_0 A}{s} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2}{5 \cdot 10^{-3}} = 3,54 \cdot 10^{-9} F = 3,54 \text{ nF}$$

Jadi kapasitansinya sebesar 3,54 nF

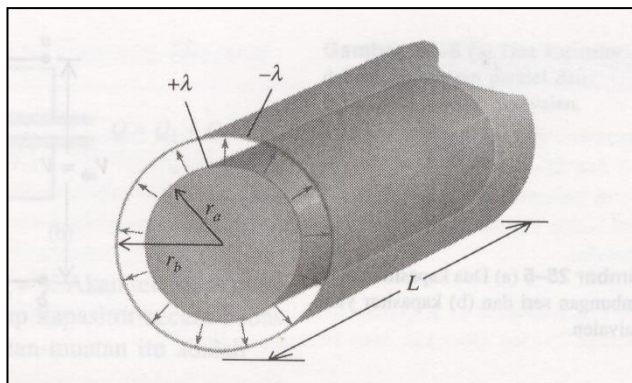
$$b. Q = C \cdot V = 3,54 \cdot 10^{-9} \cdot 10^4 = 3,54 \cdot 10^{-5} C = 35,4 \mu F$$

Jadi muatan yang tersimpan pada setiap pelat sebesar 35,4  $\mu F$

$$c. E = \frac{V}{s} = \frac{10^4}{5 \cdot 10^{-3}} = 2 \cdot 10^6 V/m$$

Jadi besarnya medan diantara pelat adalah  $2 \cdot 10^6 V/m$

### 6.7.1.2 Kapasitor Silinder (Kabel Koaksial)



Gambar 1. 7 Penampang lintang kapasitor silinder

Kapasitor silinder terdiri dari konduktor berbentuk silinder kecil dengan jari-jari a dan lapisan konduktornya yang juga berbentuk silinder konsentrik dengan jari-jari b, dimana jari-jari b lebih besar dari a. Kapasitor jenis ini biasanya terpadat pada kabel televisi.

Secara matematis, medan listrik di luar kabel dirumuskan dengan :

$$E = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r} = \frac{Q}{2\pi\epsilon_0 L r} \quad \dots\dots 6.21$$

Perbedaan potensialnya didapat dengan menghitung selisih antara potensial konduktor terdala  $V_a$  dengan potensial konduktor terluar  $V_b$

$$V = V_a - V_b = \frac{Q \ln\left(\frac{b}{a}\right)}{2\pi\epsilon_0 L} \quad \dots\dots 6.22$$

Dengan demikian kapasitansinya :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad \text{.....6.23}$$

Dari persamaan kapasitansi di atas disimpulkan bahwa besarnya kapasitansi sebanding dengan panjang konduktor. Semakin panjang konduktor maka semakin besar muatan yang dapat tersimpan.

**Soal 8.**

Kabel koaksial memiliki dua konduktor silinder, jari-jari dalamnya 0,8 mm dan jari-jari luar 6 mm. Panjang kabel  $8 \cdot 10^5$  m. Berapakah kapasitansi dari kapasitor silinder ini?

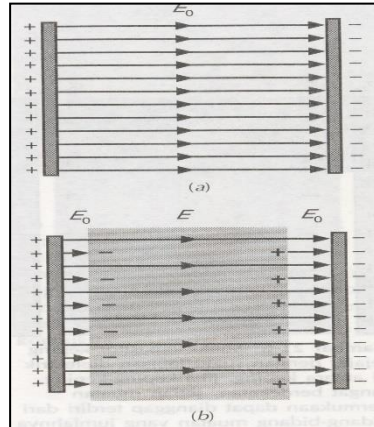
Berikut tabel besar kuat medan listrik E, beda potensial V dan kapasitansi C untuk kapasitor hampa udara,

Kapasitor	Geometri	Muatan	E	V	C
Keping Sejajar	A, s	$\frac{Q}{A}$	$\frac{Q}{\epsilon_0 A}$	$\frac{Qs}{\epsilon_0 A}$	$\frac{\epsilon_0 A}{s}$
Bola	$R_1, R_2$	Q	$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{R^2}$	$\frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_2} \right)$	$4\pi\epsilon_0 \left( \frac{R_1 - R_2}{R_2 - R_1} \right)$
Silinder	L, $R_1, R_2$	$\lambda = \frac{Q}{L}$	$\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda}{r}$	$\frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{R_2}{R_1}$	$\frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$

**6.7.2 Dielektrik**

Dielektrik adalah bahan non konduktor, contohnya kaca, kertas, kayu, dsb. Ketika dielektrik disisipkan pada ruang diantara dua keping konduktor (kapasitor), maka dielektrik akan menghasilkan medan listrik yang berlawanan dengan yang dihasilkan keping konduktor sehingga akan memperlemah medan listrik awal. Kalau medan listrik melemah maka otomatis tegangan V akan menurun ( $V = E \cdot s$ ). Dengan melemahnya V ini, maka kemampuan untuk

menyimpan muatan (kapasitansi C) akan bertambah besar sebab C berbanding terbalik dengan V (lihat persamaan 1.21).



Gambar 6.8 (a) Medan listrik awal pada kapasitor (b). Medan listrik setelah kapasitor disisipi bahan dielektrik

Besarnya kenaikan kapasitansi ditentukan oleh jenis bahannya atau disebut faktor  $\kappa$  (konstanta dielektrik). Jika medan listrik awal  $E_0$  maka medan listrik setelah disisipi dielektrik :

$$E = \frac{E_0}{\kappa} \quad \dots\dots 6.24$$

Beda potensialnya menjadi :

$$V = E \cdot s = \frac{E_0}{\kappa} s = \frac{V_0}{\kappa} \quad \dots\dots 6.25$$

Besarnya kenaikan kapasitansi ditentukan oleh jenis bahannya atau disebut faktor  $\kappa$  (konstanta dielektrik). Jika medan listrik awal  $E_0$  maka medan listrik E setelah disisipi dielektrik :

$$E = \frac{E_0}{\kappa} \quad \dots\dots 6.26$$

Beda potensialnya menjadi :

$$V = E \cdot s = \frac{E_0}{\kappa} s = \frac{V_0}{\kappa} \quad \dots\dots 6.27$$

Dengan demikian kapasitansinya :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{V_0}{\kappa}} = \kappa \frac{Q}{V_0} = \kappa C_0 \quad \dots\dots 6.28$$

Untuk kapasitor keping sejajar :

$$C = \frac{\kappa \epsilon_0 A}{s} = \frac{\epsilon A}{s} \quad \dots\dots 6.29$$

dengan  $\epsilon = \kappa \cdot \epsilon_0$ ,  $\epsilon$  disebut dengan permitivitas dielektrik.

Tabel Konstanta Dielektrik Beberapa Material

Material	Konstanta Dielektrik $\kappa$
Udara	1,00059
Bakelite	4,9
Kaca	5,6
Mica	5,4
Kertas	3,7
Porselen	7
Air (20°C)	80

**Contoh 6.10 :**

Kapasitor keping sejajar berbentuk bujur sangkar dengan sisi 10 cm dan jarak antara 4 mm. Kemudian diantara keping tersebut disisipi bahan dielektrik dengan  $\kappa = 2$  yang mempunyai ketebalan 3 mm dan luasan yang sama. Carilah kapasitansinya :

- Tanpa dielektrik
- Dengan dielektrik

Penyelesaian :

Diketahui :  $A = \text{sisi} \times \text{sisi} = 10 \times 10 = 100 \text{ cm}^2 = 10^{-2} \text{ m}^2$ ,

$$s_0 = 4 \text{ mm} = 4 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$\kappa = 2, s_2 = 3 \text{ mm} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Ditanya : a.  $C_0 = \dots?$

b.  $C = \dots?$

Jawab :

$$\text{a. } C_0 = \frac{\epsilon_0 A}{s} = \frac{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-2}}{4 \cdot 10^{-3}} = 2,212 \cdot 10^{-11} \text{ F} = 22,12 \text{ pF}$$

Jadi, kapasitansi tanpa dielektrik sebesar 22,12 pF

b. Yang pertama kita hitung beda potensialnya dulu,

$$V = V_{TD} + V_{DD} = E_0 s_1 + \frac{E_0}{\kappa} s_2$$

$$\begin{aligned}
&= E_0 \left(\frac{1}{4}\right) s_0 + \frac{E_0}{\kappa} \frac{3}{4} s_0 \\
&= E_0 s_0 \left(\frac{1}{4} + \frac{3}{4\kappa}\right) \\
&= V_0 \left(\frac{1}{4} + \frac{3}{4 \cdot 4.2}\right) \\
&= \frac{5}{8} V_0
\end{aligned}$$

Dengan demikian :

$$C = \frac{Q}{V} = \frac{Q}{\frac{5}{8}V_0} = \frac{8}{5} \frac{Q}{V_0} = \frac{8}{5} C_0 = \frac{8}{5} 22,12 = 35,4 \text{ pF}$$

Jadi, kapasitansi setelah disisipi bahan dielektrik meningkat menjadi 35,4 pF

### Soal 9.

Sebuah kapasitor keping sejajar dibuat dengan menyisipkan polietilen ( $\kappa = 2,3$ ) di antara keping-kepingnya. Luas tiap keping adalah  $400 \text{ cm}^2$  dan tebalnya  $0,3 \text{ mm}$ . Hitunglah kapasitansinya!

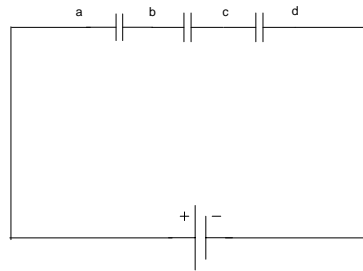
Adapun besarnya energi yang tersimpan dalam kapasitor (energi potensial) adalah :

$$U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} QV = \frac{1}{2} CV^2 \quad \dots 6.30$$

### 6.7.3 Rangkaian Kapasitor

Dua kapasitor atau lebih dapat digunakan bersama-sama sebagai kombinasi. Secara garis besar, kombinasi kapasitor tersebut bisa digolongkan ke dalam rangkaian kapasitor seri dan rangkaian kapasitor paralel.

### 6.7.3.1 Rangkaian Seri



Gambar 6.9 Rangkaian seri 3 buah kapasitor

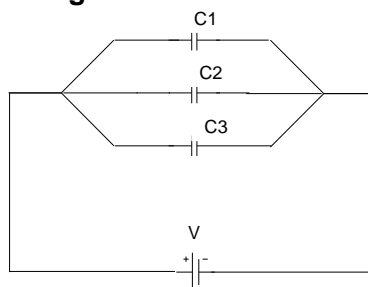
Gambar di atas memperlihatkan tiga kapasitor terhubung seri. Ketika kapasitor terhubung seri, muatan pada masing-masing kapasitor adalah sama.

$$\begin{aligned}
 V &= V_{ad} = V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} \\
 &= \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} \\
 &= Q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) \\
 &= \frac{Q}{C_{ekivalen}} \quad \dots 6.32
 \end{aligned}$$

Jadi,

$$\frac{1}{C_{eq}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots \quad \dots 6.33$$

### 6.7.3.2 Rangkaian Paralel



Gambar 6.10 Rangkaian paralel 3 buah kapasitor



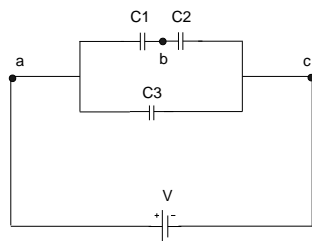
Gambar diatas memperlihatkan kapasitor-kapasitor terhubung secara paralel. Tegangan  $V$  pada  $C_1$ ,  $C_2$  dan  $C_3$  adalah sama, sehingga :

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 + Q_3 \\ &= C_1V + C_2V + C_3V \\ &= V(C_1 + C_2 + C_3) \\ &= VC_{eq} \end{aligned} \quad \dots 6.34$$

Jadi,

$$C_{eq} = C_1 + C_2 + C_3 + \dots \quad \dots 6.35$$

**Contoh 6.11 :**



Misalkan  $C_1 = 10 \mu\text{F}$ ,  $C_2 = 20 \mu\text{F}$ ,  $C_3 = 13,3 \mu\text{F}$  dan  $V = 10$  volt. Hitunglah :

- Muatan yang tersimpan dalam  $C_1$
- Tegangan  $V_{ab}$ ,  $V_{bc}$  dan  $V_{ac}$

Penyelesaian :

a. Beda potensial :  $V_{ac} = V$ ,  $V_{ac} \neq V_{ab}$

$$V_{ac} = V_{ab} + V_{bc}$$

Rangkaian seri :

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_{eq}} &= \frac{1}{10} + \frac{1}{20} \\ &= \frac{2+1}{20} \end{aligned}$$

$$C_{eq} = 20/3 \mu\text{F}$$

$$\text{Dimana : } C_{eq} = \frac{Q}{V_{ac}}$$

$$Q = C_{eq} \cdot V_{ac} = \frac{20}{3} \cdot 10^{-6} \cdot 10 = 6,67 \cdot 10^{-5} = 66,7 \mu\text{C}$$

Karena muatan yang tersimpan pada  $C_1$  sama dengan muatan yang tersimpan pada  $C_2$  maka berarti muatan yang tersimpan pada  $C_2$  adalah  $66,7\mu\text{C}$

$$\text{b. } V_{ab} = \frac{Q}{C_1} = \frac{6,67 \cdot 10^{-5}}{10^{-5}} = 6,67 \text{ volt}$$

$$V_{bc} = \frac{Q}{C_2} = \frac{6,67 \cdot 10^{-5}}{20 \cdot 10^{-6}} = 3,33 \text{ volt}$$

$$V_{ac} = V_{ab} + V_{bc} = 6,67 + 3,33 = 10 \text{ volt}$$

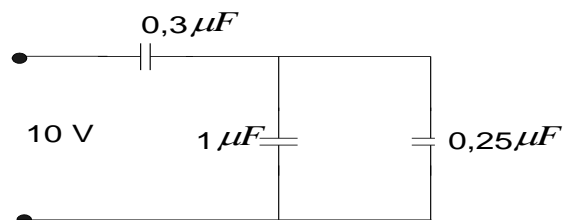
### Soal 10.

Kapasitor  $1 \mu\text{F}$  terhubung paralel dengan kapasitor  $2 \mu\text{F}$ , dimana kombinasi ini terhubung seri dengan kapasitor  $6 \mu\text{F}$ . Berapakah kapasitansi ekuivalen kombinasi ini.

### Soal 11

Untuk rangkaian seperti di bawah ini, carilah :

- Kapasitansi ekuivalen total
- Energi yang tersimpan pada masing-masing kapasitor
- Energi total yang tersimpan



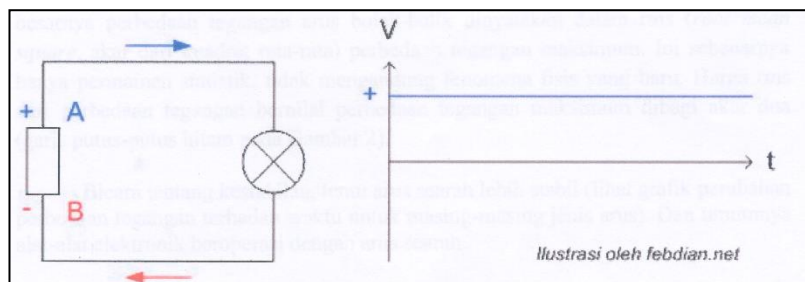
## BAB 7. LISTRIK ARUS SEARAH

### 7.

#### 7.1. Arus Listrik

Arus listrik adalah laju aliran muatan listrik yang melalui suatu luasan penampang lintang. Menurut konvensi, arah arus dianggap searah dengan aliran muatan positif dari potensial tinggi ke daerah berpotensi lebih rendah. Pada kenyataannya, arah arus listrik sebenarnya adalah searah dengan aliran muatan negatif (elektron) yang pergerakannya dari potensial rendah ke potensial tinggi. Namun kita ambil definisi yang pertama untuk memudahkan perhitungan-perhitungan selanjutnya sebab definisi pertama yang banyak dijadikan dasar dalam penemuan hukum-hukum listrik sejak zaman dulu.

Arus searah adalah aliran arus yang tidak bergantung waktu atau konstan. Arus searah dihasilkan oleh sumber listrik yang arah kutubnya tetap (kutub positif dan kutub negatif), sehingga aliran arus akan terjadi dari kutub positif ke kutub negatif. Berikut grafik arus terhadap waktu pada listrik arus searah.



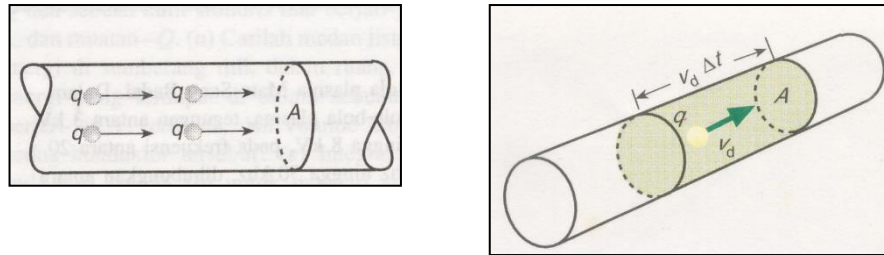
Gambar 7.1 Rangkaian arus searah dan grafik tegangan vs waktu pada arus searah

Secara matematis, jika  $\Delta Q$  adalah banyaknya muatan dan  $\Delta t$  adalah waktu maka arus listrik didefinisikan sebagai :

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad \dots\dots 7.1$$

Menurut SI kuat arus listrik satuannya ampere dimana

$$1 \text{ A} = 1 \text{ C/s}$$



Gambar 2.2 Aliran arus listrik pada sepotong pipa

Mari kita lihat gambar diatas, dimana terjadi aliran arus pada sepotong pipa. Jika  $n$  adalah banyaknya partikel persatuan volume dimana masing-masing partikel membawa muatan  $q$  dengan kecepatan  $v$ , maka jumlah muatan  $\Delta Q$  pada volume tersebut adalah

$$\begin{aligned}\Delta Q &= n \cdot q \cdot V \\ &= n \cdot q \cdot A \cdot v \cdot \Delta t\end{aligned}\quad \text{.....7.2}$$

Dengan demikian

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} = n \cdot q \cdot A \cdot v \quad \text{.....7.3}$$

**Contoh 7.1 :**

Sebuah kawat dialiri arus konstan 2 A.

- Berapa besar muatan yang mengalir melalui luasan penampang lintang kawat selama 5 menit?
- Berapa banyak elektron yang mengalir dalam waktu tersebut?

Penyelesaian :

Diketahui :  $I = 2 \text{ A}$ ,  $\Delta t = 5 \text{ menit} = 300 \text{ s}$

Ditanya : a.  $Q = \dots?$

b. banyak elektron = ...?

Jawab :

$$\text{a. } I = \frac{\Delta Q}{\Delta t} \quad Q = I \cdot \Delta t = 2 \cdot 300 = 600 \text{ C}$$

Jadi banyaknya muatan yang mengalir adalah sebesar 600 C

$$\begin{aligned} \text{b. banyaknya electron} &= \frac{Q}{\text{besarmuatanelektron}} = \frac{600}{1,602 \cdot 10^{-19}} \\ &= 3,74 \cdot 10^{21} \end{aligned}$$

Jadi banyaknya elektron yang mengalir sebesar  $3,74 \cdot 10^{21}$

## 7.2. Resistansi dan Hukum Ohm

Menurut Hukum Ohm, arus dalam suatu segmen kawat sebanding dengan beda potensial yang melintasi segmennya.

$$I \sim V \quad \text{.....7.4}$$

$$I = k V \quad \text{.....7.5}$$

Ada konstanta kesebandingan  $k$ , yang kemudian diketahui sebagai hambatan  $R$  di dalam rangkaian listrik, dimana

$$k = \frac{I}{R} \quad \text{.....7.6}$$

sehingga

$$I = \frac{V}{R} \quad \text{.....7.7}$$

Satuan hambatan adalah ohm ( $\Omega$ ), dimana :

$$1 \Omega = 1 \text{ V/A}$$

Harga resistansi  $R$  penghantar sendiri tergantung dari jenis bahan yang digunakan, panjang kawat  $\ell$  dan luas penampang  $A$ .

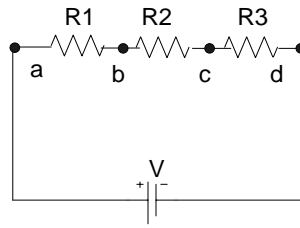
$$R = \rho \frac{\ell}{A} \quad \text{.....7.8}$$

## 7.3. Rangkaian Resistor

Resistor atau hambatan biasanya terdapat dalam berbagai rangkaian listrik. Resistor menghasilkan panas atau cahaya karena sifatnya yang menghalangi jalannya arus. Contoh alat yang menggunakan resistor seperti pemanas listrik, setrika, pengering rambut, dan lain-lain.

Dua resistor atau lebih dapat digunakan sebagai kombinasi dalam rangkaian listrik. Secara garis besar, rangkaian resistor dapat dibedakan menjadi dua yakni rangkaian seri dan rangkaian paralel.

### A. Rangkaian Seri



Gambar 2.3 Rangkaian seri resistor

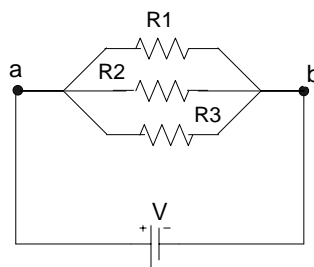
Pada rangkaian seri nilai arus yang mengalir pada hambatan  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$  adalah sama.

$$\begin{aligned} V &= V_{ab} + V_{bc} + V_{cd} \\ &= I.R_1 + I.R_2 + I.R_3 \\ I.R_{eq} &= I (R_1 + R_2 + R_3) \end{aligned}$$

Dengan demikian

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 \quad \text{.....7.9}$$

### B. Rangkaian Paralel



Gambar 2.4 Rangkaian paralel resistor

Pada rangkaian paralel besar tegangan pada  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$  adalah sama.

$$\begin{aligned} I &= I_1 + I_2 + I_3 \\ &= \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} + \frac{V}{R_3} \end{aligned}$$

$$\frac{V}{R_{eq}} = V \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right)$$

Dengan demikian,

$$\frac{1}{R_{eq}} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} \right) \quad \dots\dots 7.10$$

**Contoh 7.2 :**

Dua buah lampu identik dihubungkan dengan sumber ggl  $\epsilon = 8V$ . Hambatan lampu adalah  $2 \Omega$ . Hitunglah arus yang melalui dua lampu, beda potensial yang melalui tiap lampu dan daya yang dihantarkan ke lampu tersebut apabila lampu disusun :

- a. Seri
- b. Paralel
- c. Apabila salah satu lampu hangus terbakar yakni filamennya rusak, apa yang terjadi pada lampu lainnya jika
  - Lampu disusun paralel
  - Lampu disusun seri

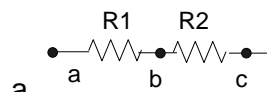
Penyelesaian :

Diketahui :  $R_1 = R_2 = 2 \Omega, \epsilon = V = 8 V$

Ditanya : a.  $I_{seri}, V_{seri}, P_{seri} = \dots?$   
 b.  $I_{paralel}, V_{paralel}, P_{paralel} = \dots?$   
 c. Apabila lampu rusak?

Jawab :

Lampu adalah hambatan R.



a.  $V_{ac} = V_{ab} + V_{bc}$   
 $8 = I.R_1 + I.R_2$   
 $8 = I(R_1 + R_2)$   
 $8 = I(4)$   
 $I = 2 A$

Jadi, arus yang melalui tiap lampu sebesar 2 A

$$V_{ab} = I.R_1 = 2.2 = 4 \text{ volt}$$

$$V_{bc} = I.R_2 = 2.2 = 4 \text{ volt}$$

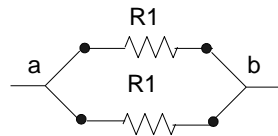
Jadi, besar tegangan pada kedua hambatan adalah sama yaitu 4 volt

$$P_1 = V_{ab} \cdot I = 4 \cdot 2 = 8 \text{ watt}$$

$$P_2 = V_{bc} \cdot I = 4 \cdot 2 = 8 \text{ watt}$$

Jadi, daya lampu sebesar 8 watt

b



$$V_1 = V_{ab}$$

$$V_2 = V_{ab}$$

$$I_1 \cdot R_1 = 8$$

$$I_2 \cdot R_2 = 8$$

$$I_1 \cdot 2 = 8$$

$$I_2 \cdot 2 = 8$$

$$I_1 = 8/2 = 4 \text{ A}$$

$$I_2 = 8/2 = 4 \text{ A}$$

Jadi, arus yang melalui tiap lampu sebesar 4 A dan tegangan yang terjadi sebesar 8 volt.

$$P_1 = V_{ab} \cdot I = 8 \cdot 4 = 32 \text{ watt}$$

$$P_2 = V_{bc} \cdot I = 8 \cdot 4 = 32 \text{ watt}$$

Jadi daya kedua lampu tersebut sama yakni sebesar 32 watt

Jika kedua lampu dipasang paralel nyala lampu lebih terang dibandingkan dipasang secara seri, sebab daya lampu P lebih besar

c. Jika dipasang secara seri misalkan salah satu lampu mati maka lampu yang lain akan mati.

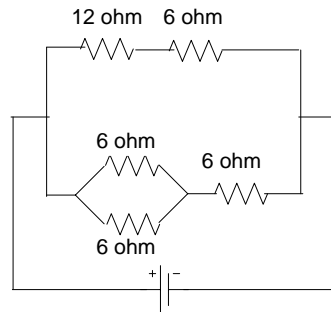
Jika dipasang secara paralel misalkan salah satu lampu mati maka lampu yang lain akan tetap hidup.



**Soal -Soal :**

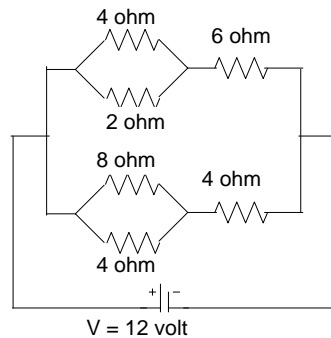
**Soal 1.**

Dari rangkaian di bawah ini, hitunglah hambatan ekivalennya dan arus pada masing-masing resistor, jika ggl  $\epsilon = 12$  volt dengan hambatan dalam yang bisa diabaikan.



**Soal 2.**

Carilah besarnya arus dan beda potensial yang melewati setiap resistor serta resistansi ekivalennya.



**7.4. Hukum Kirchhoff**

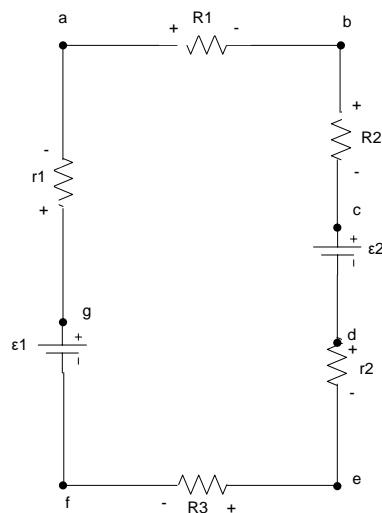
Jika suatu rangkaian tidak dapat diselesaikan dengan penyelesaian rangkaian seri dan paralel, maka penyelesaiannya bisa dengan menggunakan hukum kirchhoff. Adapun bunyi Hukum Kirchhoff adalah :

- a. Pada setiap rangkaian tertutup, jumlah aljabar dari beda potensialnya adalah nol (Hukum Loop/Simpal).

- b. Pada setiap titik percabangan jumlah arus yang masuk ke titik tertentu sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik tersebut (Hukum Titik Cabang).

Hukum Pertama Kirchhoff didasarkan pada kenyataan bahwa beda potensial antara dua titik adalah konstan. Ketika kita bergerak melintasi suatu simpal lingkaran, beda potensialnya dapat berkurang atau bertambah ketika melewati resistor, tetapi jika simpal sudah terlewati sepenuhnya dan kita kembali ke titik awal, perubahan potensialnya akan sama dengan nol. Biasanya ketika melewati resistor nilai beda potensialnya akan berkurang dan akan bertambah atau berkurang ketika melewati baterai tergantung arah kutub baterai.

Gambar di bawah menunjukkan rangkaian dengan dua buah baterai, dua hambatan dalam  $r_1$  dan  $r_2$  serta tiga hambatan luar  $R_1$ ,  $R_2$  dan  $R_3$ . Dalam hal ini ingin diketahui besar arus yang mengalir sebagai fungsi dari ggl dan hambatan.



Gambar 7.4 Rangkaian listrik dengan 2 ggl dan 4 resistor

Dari rangkaian, kita asumsikan arah arus adalah searah jarum jam (arah loop), karena kita tidak mengetahui baterai mana yang memiliki ggl lebih besar. Perhitungan dimulai dari titik a. Ketika melewati hambatan  $R_1$  nilai beda potensial berkurang sebesar  $-IR_1$ . Pada bagian bc beda potensial berkurang lagi sebesar  $-IR_2$ , untuk bagian cd berkurang lagi sebesar  $-\epsilon_2$ , kemudian pada bagian de berkurang sebesar  $-Ir_2$ , dan pada bagian ef berkurang lagi sebesar  $-IR_3$ . Selanjutnya pada bagian fg beda potensial bertambah sebesar  $\epsilon_1$  dan pada bagian ga berkurang sebesar  $-Ir_1$ .

Secara matematis, pernyataan di atas dapat dituliskan dengan :

$$-IR_1 - IR_2 - \varepsilon_2 - Ir_2 - IR_3 + \varepsilon_1 - Ir_1 = 0 \quad \text{.....2.11}$$

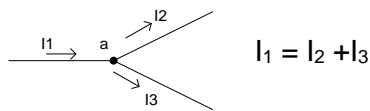
Dengan demikian besar arus dapat dituliskan sebagai :

$$I (R_1 + R_2 + R_3 + r_1 + r_2) = \varepsilon_1 - \varepsilon_2$$

$$I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{R_1 + R_2 + R_3 + r_1 + r_2} \quad \text{.....2.12}$$

Dalam hal ini nilai  $\varepsilon_2$  harus lebih besar dari  $\varepsilon_1$ . Kalau nilai  $\varepsilon_2$  ternyata lebih kecil dari  $\varepsilon_1$ , berarti arah loop yang kita asumsikan salah.

Hukum kedua Kirchhoff atau hukum percabangan diperlukan apabila rangkaian tersebut terbagi menjadi beberapa cabang. Arus yang masuk titik cabang sama dengan arus yang keluar dari titik cabang.



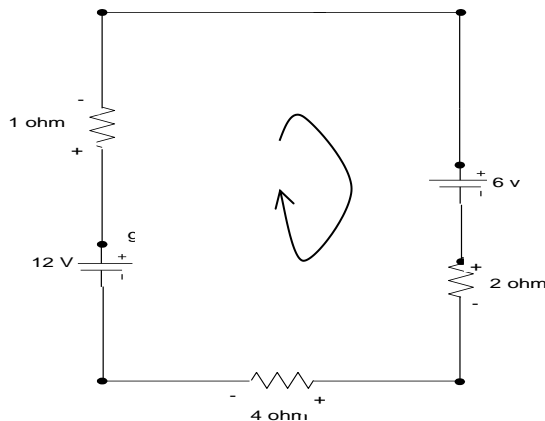
Gambar 7.5 Kawat bercabang yang dialiri arus listrik

## 7.5. Konsep Loop

Untuk menganalisis rangkaian multiloop (multi simpal) diperlukan hukum pertama dan kedua kirchhoff.

### Contoh 7.3 :

Dari rangkaian di bawah ini, carilah besarnya arus yang terjadi!



Penyelesaian :

$$\varepsilon_1 - Ir_1 - \varepsilon_2 - Ir_2 - IR = 0$$

$$I = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{r_1 + r_2 + R} = \frac{12 - 6}{1 + 2 + 4} = \frac{6}{7} \text{ A}$$

Kalau arah loop dibalik :

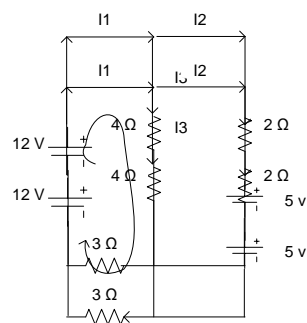
$$-\varepsilon_1 - Ir_1 + \varepsilon_2 - Ir_2 - IR = 0$$

$$I = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}{r_1 + r_2 + R} = \frac{6 - 12}{1 + 2 + 4} = -\frac{6}{7} \text{ A}$$

(arah loop salah)

**Contoh 7.4 :**

Jawab :



Berdasarkan Hukum Kirchhoff Kedua

$$I_1 = I_2 + I_3$$

Dapatkan besarnya arus yang terjadi dan energi yang didisipasikan pada resistor 4 Ω selama 3 s!

Loop 1 (luar) :

$$12 \text{ V} - I_3 \cdot 2\Omega - 5 \text{ V} - I_1 \cdot 3\Omega = 0$$

$$12 \text{ V} - (I_1 - I_2) \cdot 2\Omega - 5 \text{ V} - I_1 \cdot 3\Omega = 0$$

$$12 \text{ V} + 2\Omega \cdot I_2 - 5 \text{ V} - 5\Omega \cdot I_1 = 0$$

$$2\Omega \cdot I_2 - 5\Omega \cdot I_1 = -7 \text{ V}$$

$$2 \cdot I_2 - 5 \cdot I_1 = -7 \text{ A} \dots\dots\dots(1)$$

Loop 2 (dalam)

$$12 \text{ V} - I_2 \cdot 4\Omega - I_1 \cdot 3\Omega = 0$$

$$-4 \cdot I_2 - 3I_1 = -12 \text{ A} \dots\dots\dots(2)$$

Persamaan (1) dan (2) dieliminasi :

$$\begin{array}{rcl} 2I_2 - 5I_1 & = & -7 \text{ A} \quad \left| \begin{array}{l} \times 2 \\ \times 1 \end{array} \right| \quad \begin{array}{r} 4I_2 - 10I_1 \\ -4I_2 - 3I_1 \end{array} & = & \begin{array}{r} -14 \\ -12 \end{array} \\ \hline & & & & -13I_1 & = & -26 \\ & & & & I_1 & = & 2 \text{ A} \end{array}$$

$$2I_2 - 5I_1 = -7 \text{ A}$$

$$2I_2 - 10 = -7A$$

$$I_2 = 1,5 A$$

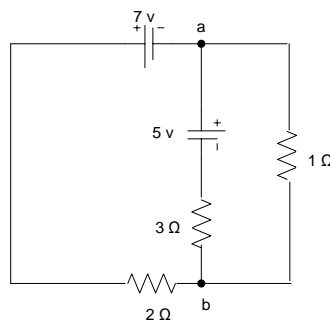
$$I_1 = I_2 + I_3$$

$$I_3 = I_1 - I_2 = 2 - 1,5 = 0,5 A$$

$$W = V.I.t = I^2.R.t = I_2^2.R.t = 1,5^2.4.3 = 27 \text{ joule}$$

### Soal 3.

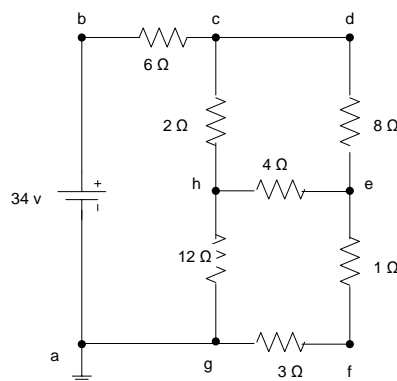
Dalam rangkaian berikut baterai memiliki resistansi internal yang bisa diabaikan. Tentukan :



- Arus dalam masing-masing resistor
- Beda potensial antara titik a dan b
- Daya yang dikirim oleh setiap oleh setiap baterai

### Soal 4.

Dalam rangkaian berikut baterai memiliki resistansi internal yang bisa diabaikan. Tentukan :



- Arus dalam setiap bagian rangkaian pada gambar di samping
- Gunakan hasil pada bagian (a) untuk menentukan potensial pada setiap titik yang ditunjukkan gambar dengan asumsi energi potensial pada titik a nol

## 7.6. Energi dan Daya Listrik

Pada konduktor yang mengalirkan arus listrik, energi potensial yang dimiliki akan berubah secara perlahan menjadi energi bentuk lain, misal energi panas ataupun energi kinetik. Laju perubahan atau kehilangan energi potensial dinamakan daya listrik  $P$ , dimana :

$$P = -\frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta QV}{\Delta t} = IV = I^2 R \quad \text{.....7.13}$$

Dengan arus  $I$  dalam satuan ampere, beda potensial  $V$  dalam volt dan daya  $P$  dalam satuan watt. Apabila ingin diketahui panas yang didisipasikan ke konduktor maka persamaan diatas harus dikalikan dengan waktu  $t$  (panas joule).

$$W = V.I.t \quad \text{.....7.14}$$

Dari percobaan Joule ditemukan bahwa energi 1 joule dapat menghasilkan kalor sebanyak 0,24 kalori

### **Contoh 7.5 :**

Resistor karbon 10000  $\Omega$  yang digunakan dalam rangkaian elektronik dibatasi pada 0,25 W.

- i. Berapa arus maksimum yang mampu dibawa resistor?
- ii. Berapa tegangan maksimum yang dapat dikenakan kepadanya?

Penyelesaian :

Diketahui :  $R = 10000 \Omega$ ,  $P = 0,25 \text{ W}$

Ditanya : a.  $I = \dots?$

b.  $V = \dots?$

Jawab :

a.  $P = I^2 R$

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}} = \sqrt{\frac{0,25}{10000}} = 0,005 \text{ A}$$

Jadi arus maksimum yang mampu dibawa resistor sebesar 0,005 A

b.  $P = VI$

$$V = \frac{P}{I} = \frac{0,25}{0,005} = 50 \text{ volt}$$

Jadi tegangan maksimum yang dapat dikenakan pada resistor adalah 50 volt

**Soal 5.**

Pemanas 1 kW dirancang untuk beroperasi pada 240 V.

- a. Berapakah resistansi dan berapakah nilai arus yang diterimanya?
- b. Berapakah daya yang didisipasikan dalam resistor ini jika ia beroperasi pada 120 V?(asumsikan resistansinya konstan)

**Soal 6.**

Jika harga energi listrik 9 sen per kilowatt-jam

- a. Berapakah harganya untuk mengoperasikan sebuah pemanggang roti listrik beresistansi  $11 \Omega$  yang dihubungkan dengan tegangan 120 V selama 4 menit?
- b. Berapakah biaya selama 30 hari untuk pengoperasian pemanas listrik 1200 W yang digunakan secara terus menerus selama musim dingin?

## BAB 8. MEDAN MAGNETIK

Pada 2000 tahun yang lalu bangsa Yunani menemukan suatu batuan yang dapat menarik benda lain (besi). Batuan itu kemudian dinamakan dengan magnet. Magnet mempunyai dua kutub, yakni kutub utara dan kutub selatan. Seperti sifat muatan listrik, kutub magnet yang sejenis akan tarik menarik dan kutub yang berlawanan jenis tolak-menolak.

Bumi sesungguhnya memiliki magnet besar. Magnet tersebut melintang dari kutub utara ke kutub selatan bumi. Hal inilah yang menyebabkan jarum kompas selalu bisa menunjukkan arah utara-selatan bumi dimanapun kompas tersebut diletakkan. Dari banyak percobaan yang dilakukan para fisikawan ditemukan adanya hubungan yang menarik antara listrik dan magnet. André-Marié Ampere menemukan bahwa sumber dasar magnetisme bukanlah magnet permanen tetapi arus listrik.

Muatan yang bergerak (arus listrik) dapat mengerahkan gaya pada muatan bergerak lainnya atau benda-benda magnetik di dekatnya. Jadi, perubahan dalam medan listrik akan menimbulkan medan magnet. Kemudian beberapa tahun kemudian Michael Faraday menemukan hal yang kebalikannya yaitu perubahan dalam medan magnet pun bisa menghasilkan medan listrik.

### 8.1. Medan Magnet

Medan magnet adalah daerah disekitar magnet yang apabila ditempatkan benda-benda tertentu maka benda tersebut akan mengalami gaya magnet. Untuk mengetahui keberadaan medan magnet, mari kita tempatkan sebuah kompas di suatu tempat. Ternyata jarum kompas akan cenderung menyerahkan diri ke utara-selatan bumi. Kemudian ketika ditempatkan magnet atau arus listrik di dekatnya, jarum kompas akan menyimpang arahnya. Hal ini terjadi karena adanya medan magnet yang dikerahkan oleh magnet permanen atau arus listrik.

Medan magnet di suatu titik biasanya dilambangkan dengan huruf B dengan satuan tesla (T) atau gauss (G), dimana :

$$1 \text{ T} = 10^4 \text{ G}$$



## 8.2. Gaya Lorentz

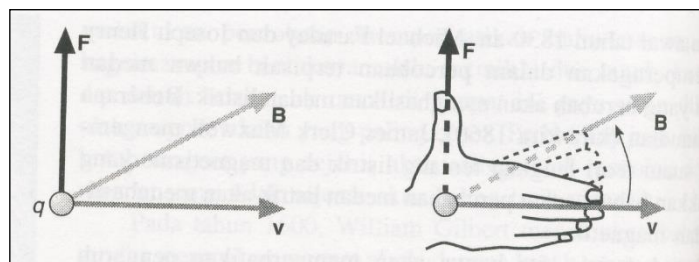
Gaya Lorentz adalah gaya yang dikerahkan oleh medan magnet. Dari hasil percobaan didapatkan bahwa apabila muatan  $q$  yang bergerak dengan kecepatan  $v$  berada dalam pengaruh medan magnet  $B$ , maka muatan tersebut akan mengalami gaya yang :

1. Sebanding dengan besar muatan  $q$
2. Sebanding dengan kecepatan  $v$
3. Arahnya tegak lurus terhadap medan magnet  $B$  dan kecepatan  $v$
4. Sebanding dengan  $\sin \theta$ , dimana  $\theta$  adalah sudut antara kecepatan  $v$  dan medan magnetik  $B$

Secara matematis, pernyataan di atas dituliskan dengan

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$
$$\vec{F} = q \cdot v \cdot B \sin \theta \quad \dots\dots 8.1$$

Untuk mempermudah dalam mengetahui kemana arah gerak benda (gaya) digunakan kaidah tangan kanan.



Gambar 8.1 Penggunaan kaidah tangan kanan Lorentz

Arah telapak tangan menunjukkan arah medan magnet. Jari-jari tangan menunjukkan arah kecepatan benda/muatan dan ibu jari menunjukkan arah gaya magnet yang terjadi.

Mari kita perhatikan gambar seutas kawat yang mengalirkan arus seperti di bawah ini. Jika kawat tersebut berada pada daerah medan magnet  $B$ , maka muatan-muatan yang mengalir pada kawat akan mengalami gaya magnet. Gaya total yang terjadi pada kawat adalah penjumlahan dari gaya pada masing-masing muatan. Banyaknya

muatan persatuan volume kawat dinyatakan dengan  $n$ , luas penampang dinyatakan dengan  $A$  dan panjang kawat adalah  $\ell$ . Dengan demikian :

$$\vec{F} = (q\vec{u} \times \vec{B})nA\vec{\ell} \quad \text{.....8.2}$$

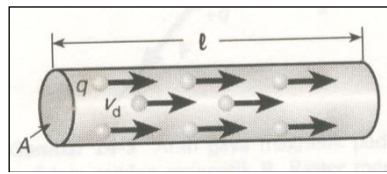
Dari persamaan tentang arus diketahui bahwa :

$$I = n \cdot q \cdot v \cdot A \quad \text{.....8.3}$$

Jadi gaya lorentz dapat dituliskan dengan

$$\vec{F} = (q\vec{u} \times \vec{B})\vec{\ell} \frac{I}{qu}$$

$$\vec{F} = (I\vec{\ell} \times \vec{B}) \quad \text{.....8.3}$$



Gambar 8.2 Aliran arus listrik pada sepotong kawat

**Contoh 8.1 :**

Potongan kawat lurus dengan panjang 2 m membentuk sudut  $30^\circ$  dengan medan magnetik seragam 0,5 T. Carilah besar gaya pada kawat tersebut jika kawat mengalirkan arus 2 A.

Penyelesaian :

Diketahui :  $\ell = 2 \text{ m}$ ,  $\theta = 30^\circ$ ,  $B = 0,5 \text{ T}$ ,  $i = 2 \text{ A}$

Ditanya :  $F = \dots?$

Jawab :

$$\vec{F} = (I\vec{\ell} \times \vec{B}) = i\ell B \sin \theta = 2 \cdot 2 \cdot 0,5 \cdot \sin 30^\circ = 1 \text{ N}$$

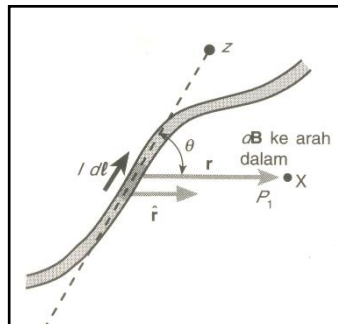
Jadi besar gaya magnet yang dialami kawat adalah 1 N

### 8.3. Hukum Biot Savart

Perubahan dalam medan listrik dapat menghasilkan medan magnet. Pada kawat yang dialiri arus listrik, daerah di sekitar kawat adalah daerah medan magnet. Untuk mengetahui seberapa besar medan magnet yang terjadi dijelaskan oleh Hukum Biot Savart. Hukum Biot Savart ditemukan oleh Ampere. Berikut persamaannya

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2} \quad \dots\dots\dots 8.4$$

- Keterangan :
- $\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$ )
  - $I$  = besarnya arus yang mengalir pada kawat (A)
  - $r$  = jarak dari kawat ke titik yang ingin diketahui medannya (m)
  - $d\ell$  = panjang elemen kawat (m)



Gambar .3 Elemen arus  $Id\vec{\ell}$  menghasilkan medan magnetik  $d\vec{B}$  di titik  $P_1$

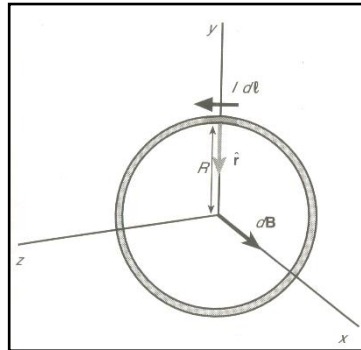
Untuk kawat dengan geometri seperti gambar di samping, medan magnet di titik  $P_1$  dapat diketahui dengan

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{\ell} \sin\theta}{r^2} \quad \dots\dots\dots 8.5$$

dengan  $\theta$  adalah sudut antara  $Id\vec{\ell}$  dengan  $\hat{r}$

### 8.3.1 Medan Magnet oleh Kawat Lingkaran Berarus

#### 8.3.1.1 Medan Magnet di Pusat Lingkaran

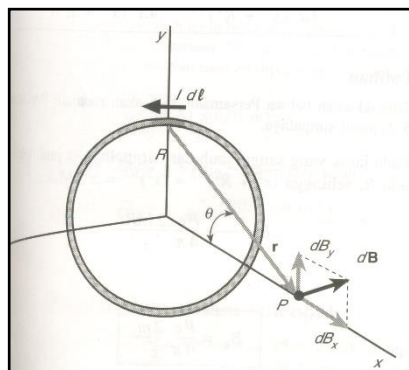


Gambar 8.4 Elemen arus untuk menghitung medan magnet di pusat simpal

Pada kawat melingkar, sudut antara  $Id\vec{l}$  dengan  $\hat{r}$  adalah  $90^\circ$ , sehingga  $\sin \theta = \sin 90^\circ = 1$  untuk setiap elemen arus.

$$\begin{aligned}
 B &= \oint dB = \oint \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l} \times \hat{r}}{R^2} = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} \oint d\vec{l} \\
 &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{R^2} 2\pi R \\
 B &= \frac{\mu_0 I}{2R} \quad \dots\dots 3.6
 \end{aligned}$$

#### 8.3.1.2 Medan Magnet di Luar Kawat Berarus di Titik P



Gambar 8.5 Geometri untuk menghitung medan listrik di suatu titik pada sumbu simpal

Mari kita perhatikan gambar di atas.  $I d\vec{\ell}$  menyinggung simpal lingkaran dan tegak lurus setiap elemen arusnya dengan vektor  $\hat{r}$ . Medan magnetik  $d\vec{B}$  tegak lurus dengan  $I d\vec{\ell}$  dan vektor  $\hat{r}$ .

$$|d\vec{B}| = \frac{\mu_0 I |d\vec{\ell} \times \hat{r}|}{4\pi r^2} = \frac{\mu_0 I d\ell}{4\pi (x^2 + R^2)^{3/2}} \quad \dots\dots 8.7$$

Dimana  $d\vec{\ell} \times \hat{r} = d\ell$  dan  $r^2 = x^2 + R^2$ . Medan magnetik  $d\vec{B}$  yang searah sumbu Y saling menghilangkan. Jadi yang menghasilkan medan magnet  $d\vec{B}$  hanya yang searah sumbu x.

$$\begin{aligned} dB_x &= dB \sin \theta = dB \frac{R}{\sqrt{x^2 + R^2}} \\ &= \frac{\mu_0 I d\ell}{4\pi (x^2 + R^2)^{3/2}} \frac{R}{\sqrt{x^2 + R^2}} \\ B_x &= \oint dB_x = \oint \frac{\mu_0 IR}{4\pi (x^2 + R^2)^{3/2}} d\ell \quad \dots\dots 8.8 \end{aligned}$$

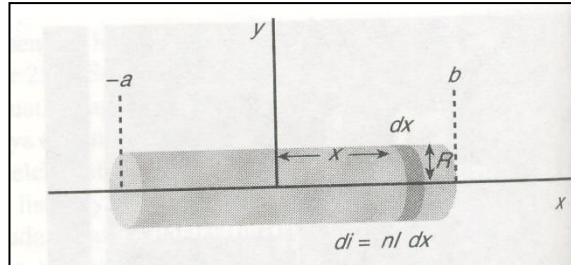
Jadi medan magnetik B pada titik di luar simpal lingkaran adalah sebesar

$$B_x = \frac{\mu_0 IR(2\pi R)}{4\pi (x^2 + R^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0 2\pi R^2 I}{4\pi (x^2 + R^2)^{3/2}} \quad \dots\dots 8.9$$

Untuk titik di luar lingkaran, dengan jarak x yang sangat jauh ( $x \gg R$ ) maka persamaan di atas menjadi

$$B = \frac{\mu_0 2\pi I}{4\pi R} \quad \dots\dots 8.10$$

### 8.3.2 Medan Magnetik pada Solenoida



Gambar 8.6 Geometri untuk menghitung medan magnet di dalam solenoida pada sumbunya

Pada solenoida dengan panjang  $L$  yang terdiri atas  $N$  lilitan dan membawa arus  $I$ , jumlah lilitan persatuan panjang kawat adalah  $n = N/L$ . Medan magnetik pada sumbunya :

$$d\mathbf{B}_x = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{2\pi n I R^2}{(x^2 + R^2)^{3/2}} dx \quad \dots\dots 8.11$$

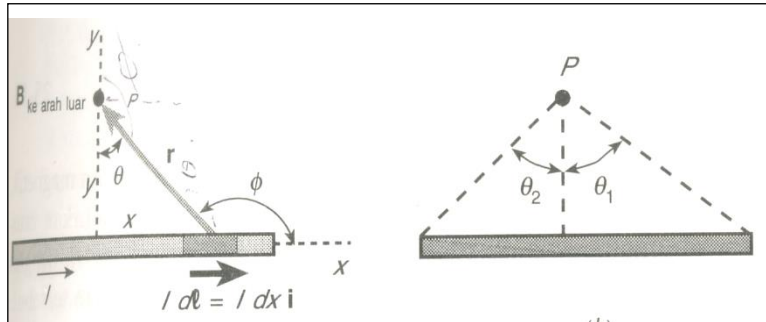
$$\begin{aligned} B_x &= \frac{\mu_0}{4\pi} 2\pi n I R^2 \int_{-a}^b \frac{dx}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \\ &= \frac{\mu_0}{4\pi} 2\pi n I R^2 \left. \frac{x}{R^2 \sqrt{x^2 + R^2}} \right|_{-a}^b \\ B &= \frac{1}{2} \mu_0 n I \left( \frac{b}{\sqrt{b^2 + R^2}} + \frac{a}{\sqrt{a^2 + R^2}} \right) \quad \dots\dots 8.12 \end{aligned}$$

Untuk solenoida yang panjang dengan nilai  $a$  dan  $b$  jauh lebih besar dari  $R$ , maka medan magnetiknya menjadi

$$\mathbf{B} = \mu_0 n I \quad \dots\dots 8.13$$

### 8.3.3 Medan Magnet Akibat Adanya Arus Pada Kawat Lurus

Mari kita lihat gambar di bawah ini . Terdapat sepotong kawat lurus yang mengalirkan arus sebesar  $I$ . Pada titik  $P$  di dekat kawat akan dicari besar medan magnetiknya. Untuk menghitungnya kita tarik garis tegak lurus dari kawat, dianggap sebagai sumbu  $Y$ . Sementara sumbu  $X$  searah dengan kawat. Vektor  $\vec{r}$  menunjukkan arah dari elemen kawat ke titik  $P$  dengan membentuk sudut  $\Phi$  dengan kawat, sehingga



Gambar 8.7 Geometri untuk menghitung medan magnet di titik P akibat potongan kawat lurus

$$\begin{aligned}
 d\vec{B} &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{\ell} \times \hat{r}}{r^2} \\
 &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{\ell} \sin\phi}{r^2}, \quad \sin\phi = \sin(\theta + 90^\circ) \\
 &= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idx \cos\theta}{r^2} \quad \begin{aligned} &= \sin\theta \cdot \cos 90^\circ \\ &+ \cos\theta \cdot \sin 90^\circ \\ &= 0 + \cos\theta \cdot 1 \\ &= \cos\theta \end{aligned}
 \end{aligned}$$

Kemudian kita ubah bentuk dx menjadi dθ :

$$\frac{x}{y} = \tan\theta$$

$$x = y \tan\theta$$

$$\frac{dx}{d\theta} = y \sec^2\theta$$

$$dx = y \sec^2\theta d\theta, \left(\sec\theta = \frac{1}{\cos\theta}\right)$$

$$= y \frac{r^2}{y^2} d\theta$$

$$= \frac{r^2}{y} d\theta$$

Dengan demikian  $d\vec{B}$  menjadi :

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I \cos\theta}{r^2} \frac{r^2}{y} d\theta$$

$$= \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{y} \cos\theta d\theta$$

$$\int dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{I}{y} \int \cos\theta d\theta$$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B}_1 &= \frac{\mu_0 I}{4\pi y} \int_0^{\theta_1} \cos\theta d\theta \\
 &= \frac{\mu_0 I}{4\pi y} \sin\theta \Big|_0^{\theta_1} \\
 &= \frac{\mu_0 I}{4\pi y} \sin\theta_1 \\
 \mathbf{B}_2 &= \frac{\mu_0 I}{4\pi y} \sin\theta_2
 \end{aligned}$$

Jadi, medan magnet B akibat potongan kawat lurus :

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B} &= \mathbf{B}_1 + \mathbf{B}_2 \\
 \mathbf{B} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi y} (\sin\theta_1 + \sin\theta_2) \quad \dots\dots 8.14
 \end{aligned}$$

Jika kawatnya sangat panjang dibandingkan dengan jarak kawat ke titik P (r), maka  $\theta_1 = \theta_2 \approx 90^\circ$

$$\begin{aligned}
 \mathbf{B} &= \frac{\mu_0 I}{4\pi y} (\sin 90^\circ + \sin 90^\circ) \\
 \mathbf{B} &= \frac{\mu_0 I}{2\pi y} = \frac{\mu_0 I}{2\pi R} \quad \dots\dots 8.15
 \end{aligned}$$

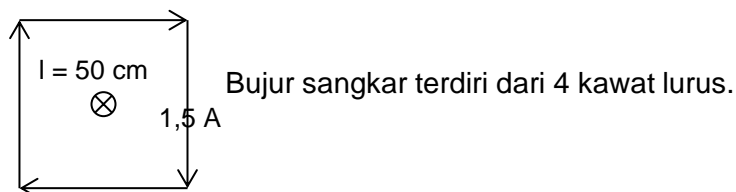
**Contoh 8.2 :**

Carilah medan magnetik di pusat simpal bujur sangkar dengan sisi  $l = 50$  cm yang menyalurkan arus 1,5 A. Kemudian bandingkan apabila arus tersebut mengalir pada kawat berbentuk lingkaran dengan jari-jari  $R = \frac{1}{2} l$ . Yang manakah yang akan menghasilkan medan magnet lebih kuat?

**Contoh 8.3 :**

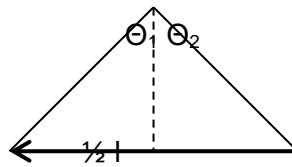
Solenoida yang panjangnya 2,7 m memiliki 600 lilitan dan berjari-jari 0,85 cm. Solenoida ini mengalirkan arus  $I$  sebesar 2,5A. Berapa kira-kira medan magnetik B pada sumbu solenoidanya?

Penyelesaian Contoh 8.2 :





Untuk satu kawat lurus :



$$y = \frac{1}{2} l$$

$$= \frac{1}{2} 50 = 25 \text{ cm} = 0,25 \text{ m}$$

$$\theta_1 = \theta_2 = 45^\circ \longrightarrow B_1 = \frac{\mu_0 I}{4\pi y} (\sin \theta_1 + \sin \theta_2)$$

$$= \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,5}{4\pi \cdot 0,25} (\sin 45^\circ + \sin 45^\circ)$$

$$= \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,5}{4\pi \cdot 0,25} \left( \frac{1}{2}\sqrt{2} + \frac{1}{2}\sqrt{2} \right)$$

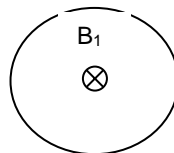
$$= 8,48 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$

Untuk 4 kawat lurus :

$$B = 4 \times B_1$$

$$= 4 \times 8,48 \cdot 10^{-7}$$

$$= 33,94 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$



$$R = \frac{1}{2} l = 0,25 \text{ m}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,5}{2 \cdot 0,25} = 37,70 \cdot 10^{-7} \text{ T}$$

Jadi, yang akan menghasilkan medan lebih besar adalah kawat berbentuk lingkaran.

Penyelesaian Contoh 8.3 :

$$n = N/L = 600/2,7 = 222,22 \text{ lilitan/m, } R = 0,85 \text{ cm} = 0,85 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$B = \mu_0 \cdot n \cdot I = 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 222,22 \cdot 2,5 = 6,98 \cdot 10^{-4} \text{ T}$$

Jadi medan magnet pada sumbu solenoida adalah  $6,98 \cdot 10^{-4} \text{ T}$

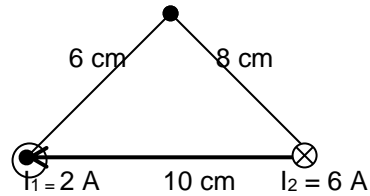
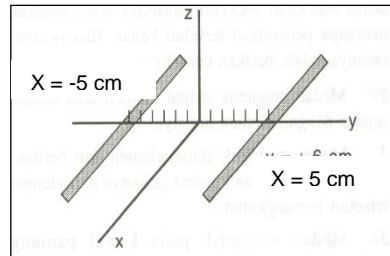
### Soal-Soal :

#### **Soal 1.**

	<p>Kawat panjang tak berhingga yang membawa arus 4,5 A dibengkokkan seperti yang ditunjukkan oleh gambar. Carilah medan magnetik di titik <math>x = 3 \text{ cm}</math>, <math>y = 2 \text{ cm}</math></p>
--	--

**Soal 2.**

Ada dua buah kawat yang mengalirkan arus. Hitunglah besar medan magnet di titik P.



**Soal 3.**

Simpal kawat tunggal yang berjari-jari  $3 \text{ cm}$  menyalurkan arus  $2,6 \text{ A}$ . Berapakah besarnya medan magnet di :

- a. Pusat lingkaran
- b.  $1 \text{ cm}$  dari pusatnya
- c.  $2 \text{ cm}$  dari pusatnya
- d.  $35 \text{ cm}$  dari pusatnya

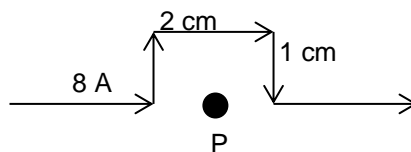
**Soal 4.**

Untuk simpal kawat seperti no.3, di titik manakah di sepanjang sumbu simpal yang medan magnetiknya bernilai

- d.  $10$  persen dari medan di pusatnya
- e.  $1$  persen dari medan di pusatnya
- f.  $0,1$  persen dari medan di pusatnya

**Soal 5.**

Arus pada kawat di bawah ini ialah  $8 \text{ A}$ . Carilah medan magnet B di titik P akibat setiap segmen kawat dan jumlahkan untuk memperoleh resultan medan magnet.

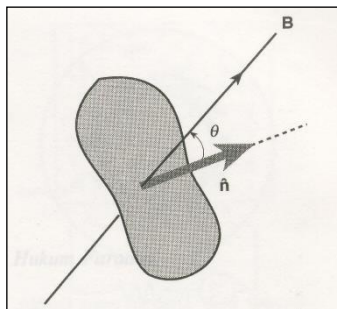


## 8.4. Fluks Magnet

Besarnya medan magnet dapat dilukiskan dengan garis induksi magnet, yakni garis yang arah garis singgungnya pada setiap titik menyatakan arah dari medan magnet  $\vec{B}$ . Kerapatan garis induksi magnet menyatakan besarnya medan magnet.

Jika  $d\vec{A}$  adalah vektor luas  $\vec{B}$  medan magnet, maka jumlah garis medan magnet  $\Phi$  (fluks magnetik) :

$$\Phi = \vec{B} \cdot \vec{A} \quad \dots\dots 8.16$$



Gambar 8.8 Medan magnet  $\vec{B}$  yang melalui suatu luasan permukaan A membentuk sudut  $\theta$  terhadap normal permukaan  $\hat{n}$

Jika  $\vec{B}$  tidak tegak lurus terhadap permukaannya (lihat gambar di atas), maka

$$\varphi = \vec{B} \cdot \hat{n}A = BA \cos \theta \quad \dots\dots 8.17$$

atau

$$\varphi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int_S B \cos \theta dA \quad \dots\dots 8.18$$

Untuk kumparan yang terdiri dari N lilitan persamaan di atas menjadi

$$\Phi = N \cdot B \cdot A \cos \theta = \int_S N \vec{B} \cdot \hat{n} dA \quad \dots\dots 8.19$$

### **Contoh 8.4 :**

Medan magnetik seragam yang besarnya 2000 G sejajar dengan sumbu X. Kumparan persegi dengan sisi 5 cm memiliki lilitan tunggal dan membentuk sudut  $\theta$  dengan sumbu Z. Carilah fluks magnetik yang melalui kumparan apabila : a).  $\theta = 0^\circ$  b).  $\theta = 60^\circ$  c).  $\theta = 90^\circ$

Penyelesaian :

Diketahui :  $B = 2000 \text{ G} = 0,2 \text{ T}$ ,  $A = s^2 = 5^2 \text{ cm}^2 = 0,25 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$

Ditanya :  $\Phi_0, \Phi_{60}, \Phi_{90} = \dots ?$

Jawab :

$$\Phi_0 = B \cdot A \cdot \cos \theta = 0,2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-2} \cdot \cos 0^\circ = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Tm}^2 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Phi_{60} = B \cdot A \cdot \cos \theta = 0,2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-2} \cdot \cos 60^\circ = 4,33 \cdot 10^{-4} \text{ Wb}$$

$$\Phi_{90} = B \cdot A \cdot \cos \theta = 0,2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-2} \cdot \cos 90^\circ = 0$$

**Soal 6.**

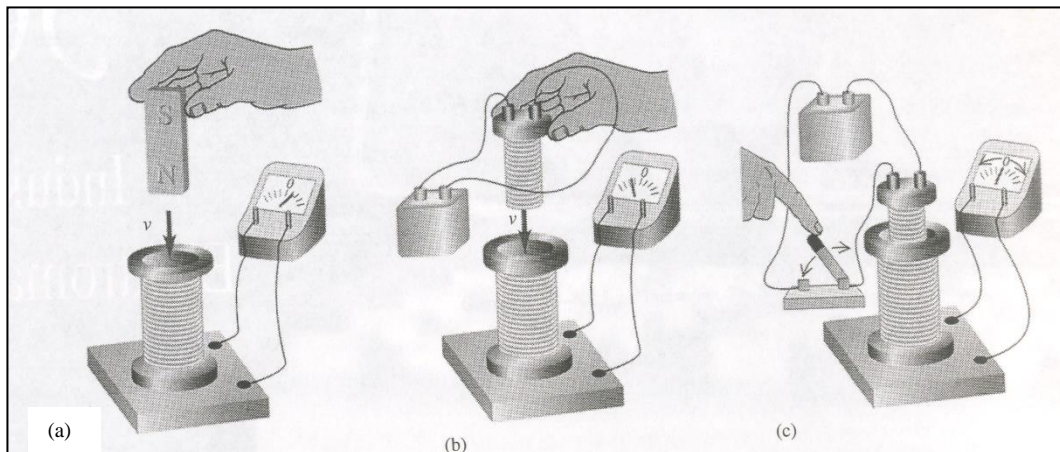
Sebuah luasan lingkaran berjari-jari 6,5 cm diletakkan pada bidang XY. Berapakah besarnya fluks magnetik yang melalui lingkaran ini yang ditimbulkan oleh sebuah medan magnet homogen  $B = 0,230 \text{ T}$ .

- a. dalam arah z positif
- b. pada sudut sebesar  $53,1^\circ$  dari arah z positif
- c. dalam arah y positif

## BAB 9. INDUKSI MAGNETIK

Pada sebatang kawat yang dialiri arus listrik, terdapat medan magnet di sekelilingnya. Ketika arus berhenti mengalir nilai  $I$  adalah nol sehingga secara otomatis nilai kuat medan magnet juga ikut turun. Perubahan nilai medan magnetik ini akan menghasilkan ggl yang mencoba mempertahankan arus semula. GGL seperti itu disebut dengan ggl induksi. Jadi, ggl atau arus induksi adalah ggl atau arus yang dihasilkan akibat terjadinya perubahan medan magnet. Prosesnya disebut dengan induksi magnetik.

Perubahan medan magnet bisa dilakukan dengan berbagai cara. Cara pertama yaitu dengan menggerakkan sebatang magnet kuat ke dalam sumbu kumparan. Cara yang kedua yakni dengan memutar kumparan yang berintikan magnet kuat. Selain itu bisa juga dengan mengubah orientasi rangkaian listrik ataupun dengan memperluas-memperkecil rangkaian.



Gambar 9.1 (a). Sebuah magnet digerakkan mendekati kemudian menjauhi kumparan yang terhubung dengan galvanometer. Galvanometer mendeteksi adanya aliran arus listrik (b). Sebuah kumparan kedua yang mengangkut arus konstan bergerak mendekati dan menjauhi kumparan pertama yang terhubung dengan galvanometer. Galvanometer juga mendeteksi adanya aliran arus listrik (c). Bila saklar dibuka dan ditutup, terjadi aliran arus pada kumparan pertama yang terhubung dengan galvanometer.

Prinsip induksi magnetik diterapkan pada alat generator listrik Pembangkit Listrik Tenaga Air dan motor listrik. Dimana perubahan medan magnet akan menghasilkan arus listrik. Pada generator listrik, untuk mengubah medan magnet digunakan kumparan yang berputar mengelilingi magnet kuat. Untuk memutar

kumparan digunakan kekuatan air yang telah dibendung dan dilepas secara terkendali. Demikian juga cara yang sama diterapkan pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap, cuma pada PLTU yang digunakan untuk memutar kumparan adalah tekanan uap.

### 9.1. Hukum Faraday

Perubahan dalam medan magnet berarti juga mengubah besar fluks magnet, karena

$$\varphi = \int_S \vec{B} \cdot d\vec{A} = \int_S B \cos \theta dA \quad \dots\dots 9.1$$

Michael Faraday dan Henry melakukan berbagai percobaan untuk menemukan bentuk matematis hubungan antara perubahan fluks magnet dengan ggl induksi yang dihasilkan. Dari percobaan ditemukan bahwa jika fluks magnetik diubah dengan cara apapun maka suatu ggl yang sama besarnya dengan laju perubahan fluks akan diinduksikan dalam rangkaian. Penemuan ini dikenal sebagai Hukum Faraday.

$$\varepsilon = \oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d\varphi_m}{dt} \quad \dots\dots 9.2$$

#### **Contoh 9.1 :**

Kumparan dengan 80 lilitan memiliki jari-jari 5 cm dan tahanan 30 Ω. Pada laju berapakah medan magnetik yang tegak lurus harus berubah untuk menghasilkan arus 4A dalam kumparan tersebut.

Penyelesaian :

Diketahui : N = 80 lilitan, r = 0,05 m, R = 30 Ω, I = 4 A

Ditanya :  $\frac{dB}{dt} = \dots?$

Jawab :

$$\varepsilon = I \cdot R = 4 \cdot 30 = 120 \text{ volt}$$

$$\varepsilon = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{d}{dt}(BAN) = AN \frac{dB}{dt} = \pi r^2 N \frac{dB}{dt}$$

$$\frac{dB}{dt} = \frac{\varepsilon}{\pi r^2 N} = \frac{120}{\pi 0,05^2 80} = 190,98 \text{ T/s}$$

Jadi laju medan magnet yang harus terjadi adalah sebesar 190,98 T/s.

### **Soal-Soal :**

#### **Soal 1.**

Medan magnetik seragam  $B$  dibangkitkan tegak lurus terhadap bidang suatu simpal yang berjari-jari 5 cm, tahanan  $0,4 \Omega$ . Besar  $B$  meningkat pada laju  $40 \text{ mT/s}$ . Carilah :

- Ggl induksi dalam simpal
- Arus induksi
- Laju pemanasan joule pada simpal tersebut.

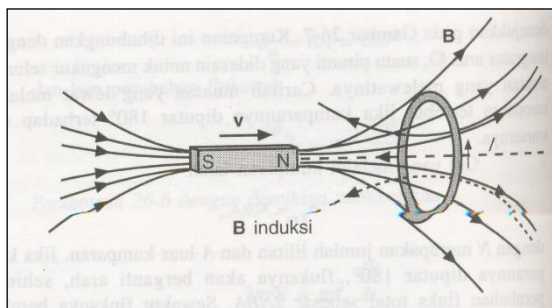
#### **Soal 2.**

Kumparan dengan 100 lilitan memiliki jari-jari 4 cm dan tahanan  $25 \Omega$ . Pada laju berapakah medan magnetik yang tegak lurus harus berubah untuk menghasilkan arus 4 A dalam simpal ini.

## **9.2. Hukum Lenz**

Hukum Lenz merupakan penjelasan lebih lanjut dari hukum Faraday. Bunyi hukum Lenz : Ggl induksi dan arah induksi memiliki arah sedemikian rupa sehingga melawan muatan yang menghasilkan ggl dan arus induksi tersebut.

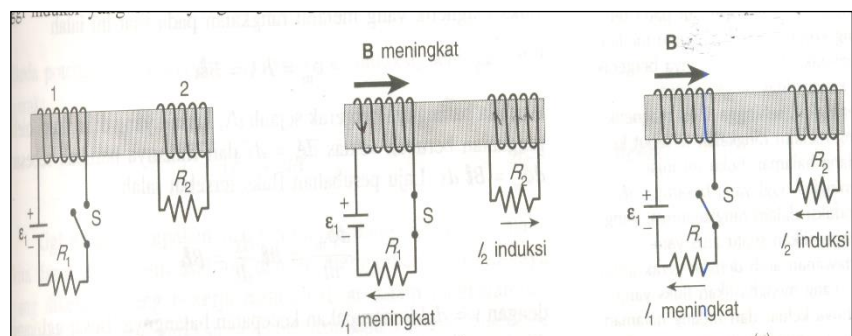
Untuk memahami hukum Lenz perhatikanlah gambar di bawah ini.



Gambar 9.2 Sebuah magnet permanen digerakkan mendekati kawat melingkar

Pada gambar diatas, sebuah magnet digerakkan mendekati kumparan. Berdasarkan prinsip putaran jari, seharusnya arus akan mengalir berlawanan arah jarum jam tetapi yang terjadi malah sebaliknya yakni arus pada kumparan mengalir searah jarum jam.

Akibatnya fluks magnetik yang dihasilkan arus pada kumparan akan melawan fluks magnetik awal. Medan magnetik induksi cenderung memperkecil fluks yang melalui simpalnya. Jika magnetnya digerakkan ke kiri, arus induksi akan mengalir berlawanan arah jarum jam. Fluks magnetik induksi yang dihasilkan akan menuju ke arah kanan. Medan magnetik induksinya cenderung memperbesar fluks yang melalui simpalnya.



Gambar 9.3 Dua rangkaian listrik terhubung oleh sebatang magnet/besi

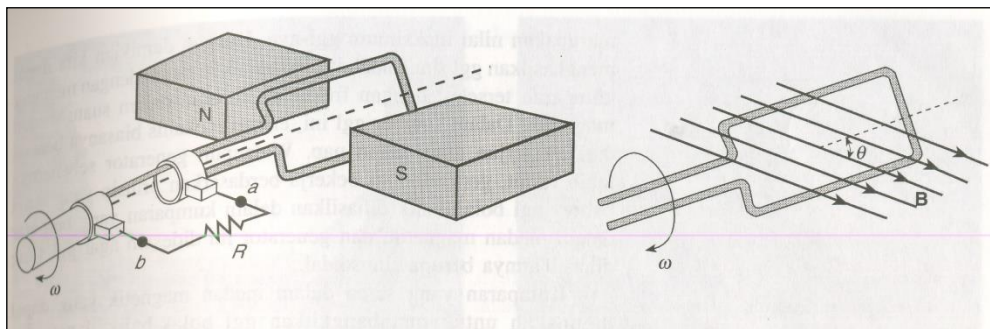
Mari kita perhatikan gambar diatas. Ada 2 rangkaian yang saling berdekatan. Rangkaian pertama mempunyai sumber ggl sedangkan rangkaian kedua tidak mempunyai sumber ggl (baterai). Pada gambar yang pertama, ketika saklar rangkaian pertama tak terhubung otomatis tidak ada arus yang mengalir ( $I = 0$ ). Kemudian ketika saklar dihubungkan (gambar kedua) terjadi aliran arus. Nilai arus naik secara perlahan sampai mencapai arus maksimal. Perubahan/peningkatan arus ini menyebabkan medan magnetik di sekitarnya meningkat. Medan magnet yang berubah menginduksi arus pada rangkaian kedua, sehingga terjadilah aliran arus pada rangkaian kedua. Pada gambar ketiga, saklar rangkaian pertama tiba-tiba diputus, sehingga secara perlahan arus yang mengalir semakin menurun sampai mencapai nilai nol. Karena nilai arus berubah, otomatis medan magnet disekitarnya juga ikut berubah. Perubahan dalam medan magnet menyebabkan terjadinya arus



induksi pada rangkaian kedua yang arahnya berlawanan dengan arus yang terjadi pertama.

### 9.3. Generator

Generator digunakan untuk menghasilkan arus bolak-balik. Generator sederhana terdiri dari kumparan yang berputar dalam medan magnet seragam. Ujung-ujung kumparan dihubungkan dengan cincin yang disebut cincin selip. Dari cincin selip terhubung rangkaian listrik luar.



Gambar 9.4 Generator AC yang berputar dengan kecepatan  $\omega$  dalam medan magnet seragam B

Apabila kumparan membentuk sudut  $\theta$  dengan medan magnet B maka fluks magnetik yang melalui kumparan adalah

$$\Phi_m = N \cdot B \cdot A \cos \theta \quad \dots\dots 9.3$$

Apabila kumparan berputar secara mekanis berarti akan ada perubahan fluks magnetik yang menyebabkan terjadinya ggl induksi pada rangkaian luar. Jika sudut awal adalah  $\delta$  maka besarnya sudut setelah t sekon :

$$\theta = \omega t + \delta \quad \dots\dots 9.4$$

Dengan demikian,

$$\Phi_m = N \cdot B \cdot A \cos \omega t + \delta = N \cdot B \cdot A \cos (2\pi f t + \delta) \quad \dots\dots 9.5$$

Jadi besarnya ggl dalam rangkaian adalah

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -NBA \frac{d}{dt} \cos(\omega t + \delta) = NBA\omega \sin(\omega t + \delta) \quad \dots 9.6$$

Atau

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{maks}} \sin(\omega t + \delta)$$

dengan  $\varepsilon_{\text{maks}} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega$

Jadi, kita bisa menghasilkan ggl sinusoidal dengan memutar kumparan dengan frekuensi konstan pada medan magnetik seragam.

**Contoh 9.2 :**

Kumparan dengan 200 lilitan memiliki luas 4 cm<sup>2</sup>. Kumparan ini berputar dalam medan magnetik 0,5 T.

- Berapakah frekuensinya yang dapat membangkitkan ggl maksimum 10 V?
- Jika kumparan tersebut berputar pada 60 Hz, berapakah ggl maksimumnya?

Penyelesaian :

Diketahui : N = 200 lilitan, A = 4 · 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>, B = 0,5 T,  $\varepsilon_{\text{maks}} = 10$  V

Ditanya : a. f = ...?

b.  $\varepsilon_{\text{maks}}$  jika f = 60 Hz = ...?

Jawab :

a.  $\varepsilon_{\text{maks}} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega$

$$\omega = \frac{N \cdot B \cdot A}{\varepsilon_{\text{maks}}}$$

$$2 \cdot \pi \cdot f = \frac{N \cdot B \cdot A}{\varepsilon_{\text{maks}}}$$

$$f = \frac{N \cdot B \cdot A}{2 \cdot \pi \cdot \varepsilon_{\text{maks}}} = \frac{200 \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 10^{-4}}{2 \cdot \pi \cdot 10} = 6,37 \cdot 10^{-4} \text{ Hz}$$

Jadi frekuensi yang harus dibangkitkan sebesar 6,37 · 10<sup>-4</sup> Hz

c.  $\varepsilon_{\text{maks}} = N \cdot B \cdot A \cdot \omega = N \cdot B \cdot A \cdot 2 \cdot \pi \cdot f = 200 \cdot 0,5 \cdot 4 \cdot 10^{-4} \cdot 2 \cdot \pi \cdot 60$   
= 60,29 volt

Jadi ggl maksimum yang dihasilkan adalah 60,29 volt

**Soal 3.**

Dalam medan magnetik yang berapa kuatkah seharusnya kumparan pada contoh 4.2 berputar untuk membangkitkan ggl maksimum 110 V pada 60 H?

**Soal 4.**

Kumparan persegi panjang dengan sisi 2 cm dan 1,5 cm memiliki 300 lilitan dan berputar dalam medan magnetik 4000 G.

- a. Berapa ggl maksimum yang dapat dibangkitkan apabila kumparan tersebut berputar pada 60 Hz?
- b. Berapakah frekuensinya untuk membangkitkan ggl maksimum 110 V?

**9.4. Induktansi**

**9.4.1 Induktansi Diri**

Kawat yang dialiri arus mengakibatkan terjadinya fluks magnet di sekelilingnya. Cara lain untuk menghitung  $\Phi$  adalah

$$\Phi = LI \quad \text{.....9.7}$$

Dimana L merupakan konstanta yang disebut induktansi diri kumparan, dengan satuan Wb/A atau Henry (H).

Menurut hukum biot savart B pada solenoida (kumparan) adalah

$$B = \mu_0 n I \quad \text{.....9.8}$$

sehingga

$$\Phi = NBA = n\mu_0 n I A = \mu_0 n^2 A \ell I \quad \text{.....9.9}$$

Dengan demikian

$$L = \frac{\Phi}{I} = \frac{\mu_0 n^2 A \ell I}{I} = \mu_0 n^2 A \ell \quad \text{.. .....9.10}$$

Jadi induktansi diri hanya bergantung pada faktor geometriknya saja.

Menurut hukum Faraday

$$\varepsilon = - \frac{d\phi_m}{dt} \quad \text{.....9.11}$$

Karena  $\Phi = LI$  maka

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_m}{dt} = -L\frac{dI}{dt} \quad \dots\dots 9.12$$

Jadi, ggl induktansi diri sebanding dengan laju perubahan arusnya.

**Contoh 9.3.** :

Kumparan dengan induktansi diri 8 H menyalurkan arus 3 A yang berubah pada laju 200 A/detik. Hitunglah :

- a. Fluks magnetik yang melalui kumparan
- b. Ggl induksi dalam kumparannya

Penyelesaian :

Diketahui :  $L = 8 \text{ H}$ ,  $I = 3 \text{ A}$ ,  $\frac{dI}{dt} = 200 \text{ A/s}$

- Ditanya : a.  $\Phi = \dots?$   
b.  $\varepsilon = \dots?$

Jawab :

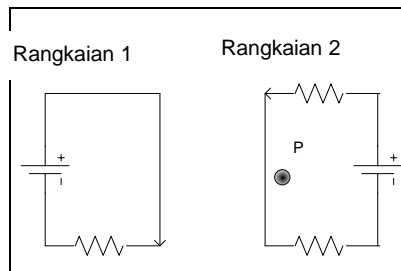
- a.  $\Phi = LI = 8 \cdot 3 = 24 \text{ HA}$
- b.  $\varepsilon = -L\frac{dI}{dt} = -8 \cdot 200 = -1600 \text{ Volt}$

**Soal 5.**

Solenoida 400 lilitan memiliki panjang 25 cm dan jari-jari 1 cm menyalurkan arus 3 A. Hitunglah

- a. Besar medan magnet B pada sumbu di pusat solenoida
- b. Fluks yang melalui solenoida dengan menganggap B seragam
- c. Induktansi diri solenoida
- d. Ggl induksi dalam solenoida apabila arusnya berubah pada laju 150 A/s.

### 9.4.2 Induktansi Bersama



Gambar 4.5 Dua rangkaian listrik berdekatan

Perhatikanlah gambar di atas. Ada dua rangkaian yang berdekatan. Fluks magnet yang melalui titik P adalah gabungan dari fluks yang terjadi pada rangkaian 1 dan rangkaian 2 sendiri. Oleh karena itu

$$\Phi_{m2} = L_2 i_2 + M_{12} i_1 \quad \dots\dots 9.13$$

dengan  $L_2$  merupakan induktansi diri rangkaian 2 dan  $M_{12}$  disebut induktansi bersama kedua rangkaian tersebut. Nilai  $M_{12}$  hanya bergantung pada susunan geometrik kedua rangkaian.

$$M_{12} = M_{21} = \mu_0 n_2 n_1 \ell \pi r_1^2 \quad \dots\dots 9.14$$

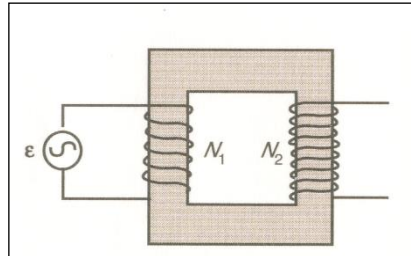
#### Soal 6.

Dua solenoida yang berjari-jari 2 cm dan 5 cm memiliki sumbu yang sama. Solenoida ini masing-masing panjangnya 25 cm dan memiliki 300 dan 1000 lilitan. Carilah induktansi bersamanya!

### 9.5. Transformator

Transformator adalah alat untuk mengubah tegangan dan arus bolak-balik tanpa kehilangan daya yang cukup besar. Transformator menggunakan prinsip arus atau ggl induksi dengan menggunakan dua kumparan dan inti besi. Inti besi berfungsi untuk meningkatkan medan magnetik untuk arus yang diketahui dan untuk mengarahkan medan magnetik agar seluruh fluks magnetik yang melalui satu kumparan masuk melalui kumparan lain. Kumparan pada transformator ini dapat dibedakan atas kumparan primer (kumparan

yang menyalurkan daya masukan) dan kumparan sekunder (kumparan yang menyalurkan daya keluaran).



Gambar 4.6 Transformator dengan  $N_1$  lilitan primer dan  $N_2$  lilitan sekunder

Secara matematis, menurut hukum Kirchoff :

$$\varepsilon - N_1 \frac{d\varphi}{dt} = 0$$

$$\varepsilon = N_1 \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{.....9.15}$$

Jika tidak ada fluks bocor yang keluar maka tegangan pada kumparan sekunder

$$V_2 = -N_2 \frac{d\varphi}{dt} \quad \text{.....9.16}$$

sehingga

$$V_2 = \frac{N_2}{N_1} \varepsilon \quad \text{.....9.17}$$

Jika lilitan pada kumparan sekunder  $N_2$  lebih besar maka tegangannya menaik, dan transformatornya disebut transformator penaik tegangan. Sebaliknya, jika lilitan pada kumparan sekunder  $N_2$  lebih kecil maka tegangannya menurun, dan transformatornya disebut transformator penurun tegangan.

**Soal 7.**

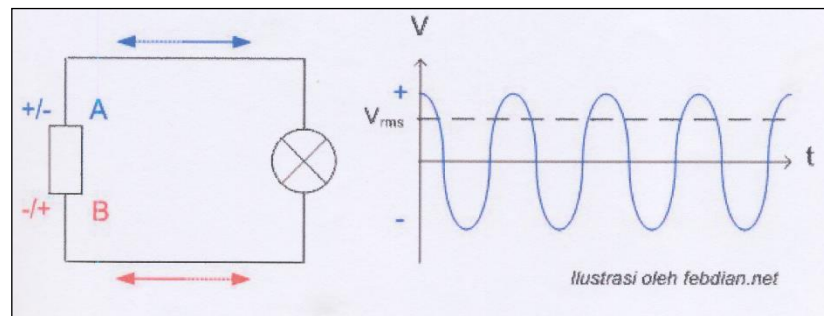
Transformator memiliki 300 lilitan pada primer dan 10 lilitan pada sekundernya.

- a. apakah transformator ini termasuk transformator penaik atau penurun tegangan?
- b. Jika pada bagian primernya dihubungkan dengan tegangan 120 V rms, berapakah tegangan rangkaian terbuka pada bagian sekundernya?

## BAB 10. ARUS BOLAK-BALIK

### 10.1. Pengertian Arus Bolak-balik

Arus bolak-balik atau arus ac (*alternating current*) adalah arus yang besar tegangannya berubah-ubah menurut waktu. Hal ini terjadi karena kutub positif dan negatif sumber listrik berubah-ubah letaknya terhadap waktu. Kondisi ini berlangsung terus sampai sumber listrik dimatikan.



Gambar 10.1 Rangkaian listrik arus bolak-balik dan grafik tegangan terhadap waktu

Jika pergantian kutub terjadi 60 kali dalam 1 detik maka dikatakan arus bolak-balik tersebut mempunyai frekuensi 60 Hertz (banyak digunakan di Amerika Serikat). Kalau pergantian kutubnya terjadi 50 kali dalam 1 detik maka frekuensi sumber AC tersebut adalah 50 Hz (banyak di gunakan di Eropa dan Asia termasuk Indonesia).

Lebih dari 99% energi listrik yang dihasilkan sekarang berasal dari generator listrik dalam bentuk arus bolak-balik. Generator listrik menghasilkan arus dengan prinsip induksi magnetik. Arus listrik ditransmisikan kepada konsumen dalam bentuk arus bolak-balik. Hal ini dilakukan karena jika disalurkan pada tegangan yang tinggi dan arus rendah, kerugian akibat adanya panas joule dapat dihindarkan. Tegangan yang tinggi ini kemudian dapat diubah menjadi tegangan yang lebih rendah dengan arus yang lebih tinggi yang bersesuaian untuk penggunaan sehari-hari (konsumen). Untuk mengubahnya digunakan transformator step-down.



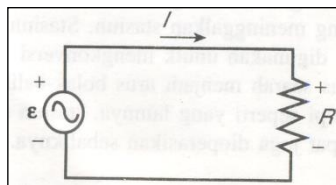
Dalam menyatakan besar tegangan ac, biasanya digunakan besaran-besaran seperti di bawah ini :

- a. Tegangan sesaat (V) yaitu tegangan pada saat t tertentu.
- b. Amplitudo tegangan ( $V_m$ ) yakni harga tegangan maksimum.
- c. Tegangan puncak ( $V_{pp}$ ) yakni selisih antara tegangan maksimum dan tegangan minimum.
- d. Tegangan rata-rata ( $V_{rata-rata}$ ) adalah tegangan yang terukur pada

voltmeter AC, dimana  $V_{rata-rata} = \frac{2V_m}{\pi}$

e. Tegangan rms, dimana  $V_{rms} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$

### 10.2. Arus AC dalam Tahanan (Resistor)



Gambar 10.2 Generator AC dihubungkan secara seri dengan resistor R

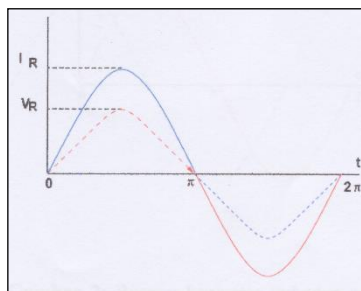
Pada sebuah resistor yang dihubungkan dengan generator ac, besar tegangan pada resistor dapat dihitung dengan menggunakan Hukum Kirchoff.

$$\epsilon - V_R = 0$$

$$V_R = \epsilon \quad \text{.....10.1}$$

Jika generator memberikan ggl sebesar :

$$\epsilon = \epsilon_m \cos \omega t$$



Gambar 5.3 Grafik tegangan dan arus ac terhadap waktu pada resistor R

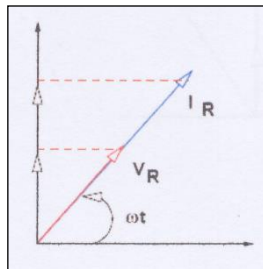
maka persamaan (5.1) di atas menjadi :

$$V_R = \varepsilon_m \cos \omega t \quad \dots\dots 10.2$$

atau

$$\begin{aligned} \mathbf{I} &= \frac{\varepsilon_m}{\mathbf{R}} \cos \omega t \\ &= I_m \cos \omega t \end{aligned} \quad \dots\dots 10.3$$

Dari persamaan (5.2) dan (5.3) diketahui bahwa antara arus dan tegangan sefase. Dalam fasor tegangan V dan arus I dinyatakan dengan gambar di bawah ini,



Gambar 10.4 Fasor tegangan V dan arus I yang melewati resistor

**Contoh 10.1. :**

Bola lampu 100 W dihubungkan dengan stopkontak standar 120 V (rms). Carilah (a).  $I_{rms}$  (b).  $I_{maks}$  (c). Daya maksimum.

Penyelesaian :

Diketahui :  $P = 100 \text{ W}$ ,  $V_{rms} = 120 \text{ V}$

- Ditanya : a.  $I_{rms} = \dots?$   
 b.  $I_m = \dots?$   
 c.  $P_m = \dots?$

Jawab :

a.  $I_{rms} = \frac{P}{V_{rms}} = \frac{100}{120} = 0,833$

b.  $I_m = I_{rms} \sqrt{2} = 0,833 \sqrt{2} = 1,18$

$$c. P_m = V_m \cdot I_m = V_{rms} \cdot \sqrt{2} \cdot I_m = 120 \cdot \sqrt{2} \cdot 1,18 = 200,25$$

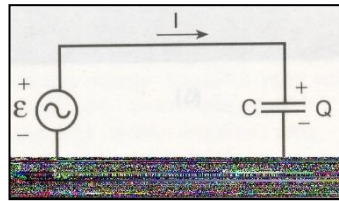
### 10.3. Arus AC dalam Kapasitor

Arus yang mengalir dapat didefinisikan sebagai banyaknya muatan yang mengalir per satuan waktu.

$$I = \frac{dQ}{dt} \quad \text{.....10.4}$$

Kapasitor berfungsi sebagai penyimpan energi/muatan. Beda tegangan yang terjadi pada kapasitor :

$$V = \frac{Q}{C} \quad \text{.....10.5}$$



Gambar 10.5 Generator AC dihubungkan secara seri dengan kapasitor C

Berdasarkan Hukum Kirchhoff didapatkan :

$$\begin{aligned} \varepsilon - V_C &= 0 \\ V_C &= \varepsilon \end{aligned} \quad \text{.....10.6}$$

Jika generator memberikan ggl sebesar :

$$\varepsilon = \varepsilon_m \cos \omega t$$

maka

$$V_C = \varepsilon_m \cos \omega t$$

$$\frac{Q}{C} = \varepsilon_m \cos \omega t$$

$$Q = C \cdot \varepsilon_m \cos \omega t \quad \text{.....10.7}$$

Arus yang terjadi pada kapasitor adalah sebesar :

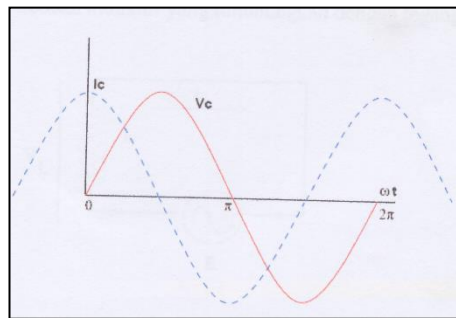
$$I = \frac{dQ}{dt} = \frac{d}{dt} (C \varepsilon_m \cos \omega t) = -C \varepsilon_m \omega \sin \omega t \quad \text{.....10.8}$$

Dari persamaan di atas disimpulkan arus akan bernilai maksimum jika  $\sin \omega t = -1$ , sehingga

$$I_m = C \cdot \epsilon_m \cdot \Omega \quad \dots\dots 10.9$$

Atau persamaan (5.8) dapat dituliskan menjadi :

$$\begin{aligned} I &= -I_m \sin \omega t \\ &= I_m \cos (\omega t + \pi/2) \end{aligned} \quad \dots\dots 10.10$$



Gambar 10.6 Grafik tegangan dan arus ac terhadap waktu pada kapasitor C

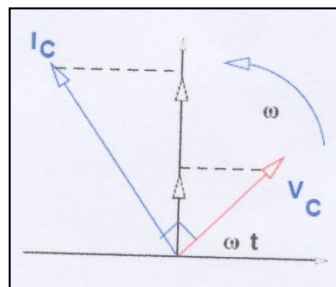
Pada gambar di atas terlihat bahwa nilai tegangan maksimum terlambat  $90^\circ$  dari nilai arus maksimum.

Secara matematis hubungan antara  $I_m$  dan  $\epsilon_m$  dituliskan sebagai,

$$I_m = C \cdot \epsilon_m \cdot \omega = \frac{\epsilon_m}{\frac{1}{\omega C}} = \frac{\epsilon_m}{X_C} \quad \dots\dots 10.11$$

dengan  $X_C = \frac{1}{\omega C}$ .  $X_C$  disebut reaktansi kapasitif dengan satuan ohm.

Secara fasor ketertinggalan tegangan terhadap arus dilukiskan dengan,



Gambar 10.7 Fasor tegangan V dan arus I yang melewati kapasitor

**Contoh 10.2. :**

Suatu ggl 10 V maksimum dengan frekuensi 20 Hz dikenakan pada kapasitor 20  $\mu\text{F}$ . Carilah  $I_m$  dan  $I_{\text{rms}}$ !

Penyelesaian :

Diketahui :  $\epsilon_m = 10 \text{ V}$ ,  $f = 20 \text{ Hz}$ ,  $C = 20 \mu\text{F} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ F}$

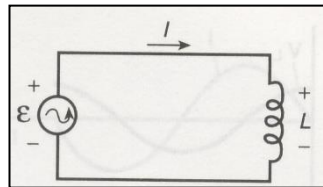
Ditanya :  $I_m$  dan  $I_{\text{rms}} = \dots?$

Jawab :

$$I_m = C \cdot \epsilon_m \cdot \omega = 2 \cdot 10^{-5} \cdot 10 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 20 = 0,05 \text{ A}$$

$$I_{\text{rms}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{0,05}{\sqrt{2}} = 0,035 \text{ A}$$

**10.4. Arus AC dalam Induktor**



Gambar 10.8 Generator AC dihubungkan secara seri dengan kapasitor C

Gambar 10.8 menunjukkan kumparan induktor yang dihubungkan dengan generator AC. Secara matematis besar tegangan pada induktor dinyatakan dengan,

$$V_L = L \frac{dI}{dt} \quad \dots\dots 10.12$$

Menurut Hukum Kirchhoff,

$$\begin{aligned}\varepsilon - V_L &= 0 \\ V_L &= \varepsilon\end{aligned}\quad \text{.....10.13}$$

Jika

$$\varepsilon = \varepsilon_m \cos \omega t \quad \text{.....5.14}$$

maka

$$V_L = \varepsilon_m \cos \omega t \quad \text{.....10.15}$$

Substitusi persamaan (5.12) ke persamaan (5.15)

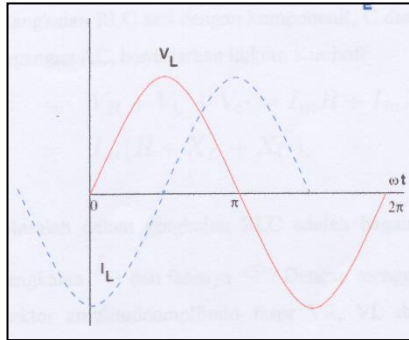
$$\begin{aligned}L \frac{dI}{dt} &= \varepsilon_m \cos \omega t \\ \frac{dI}{dt} &= \frac{\varepsilon_m}{L} \cos \omega t \\ \int dI &= \int \frac{\varepsilon_m}{L} \cos \omega t dt \\ I &= \frac{\varepsilon_m}{\omega L} \sin \omega t\end{aligned}\quad \text{.....10.16}$$

Sehingga

$$\begin{aligned}I &= I_m \sin \omega t \\ I &= I_m \cos \left( \omega t - \frac{\pi}{2} \right)\end{aligned}\quad \text{.....10.17}$$

dengan

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{\omega L} \quad \text{.....10.18}$$



Gambar 10.9 Grafik tegangan dan arus ac terhadap waktu pada induktor

Persamaan (10.18) dapat dituliskan menjadi :

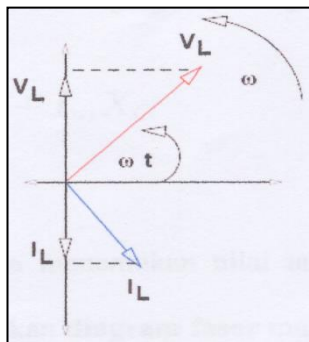
$$I_m = \frac{V}{X_L} \quad \text{.....10.19}$$

dimana

$$X_L = \omega L \quad \text{.....10.20}$$

$X_L$  disebut reaktansi induktif induktor, dengan satuan ohm.

Secara fasor tegangan  $V_L$  dan arus  $I_L$  dapat dilukiskan dengan,



Gambar 5.10 Fasor tegangan V dan arus I yang melewati kapasitor

Dari gambar terlihat bahwa arus  $I_m$  tertinggal sebesar  $\pi/2$  dari tegangan maksimum.

**Contoh 10.3 :**

Induktor memiliki reaktansi  $100 \Omega$  pada  $80 \text{ Hz}$ . (a). Berapakah induktansinya? (b). Berapakah reaktansinya pada  $160 \text{ Hz}$ ?

Penyelesaian :

Diketahui :  $X_L = 100 \text{ ohm}$ ,  $f = 80 \text{ Hz}$

Ditanya : a.  $L = \dots?$

b.  $X_L$  jika  $f = 160 \text{ Hz}$

Jawab :

a.  $X_L = \omega L$

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{100}{2\pi 80} = 0,199 \text{ H}$$

b.  $X_L = \omega L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot \pi \cdot 160 \cdot 0,199 = 200,06 \text{ ohm}$

**Soal-Soal :**

**Soal 1.**

Mesin pengering pakaian  $5 \text{ kW}$  beroperasi pada  $240 \text{ V rms}$ .

Hitunglah (a).  $I_{\text{rms}}$  (b).  $I_m$

**Soal 2.**

Berapakah reaktansi induktor  $1 \text{ mH}$  pada (a).  $60 \text{ Hz}$  (b).  $600 \text{ Hz}$  (c).  $6 \text{ kHz}$

**Soal 3.**

Pada frekuensi berapakah reaktansi kapasitor  $10 \mu\text{F}$  sama dengan reaktansi induktor  $1 \text{ mH}$ ?

**Soal 4.**

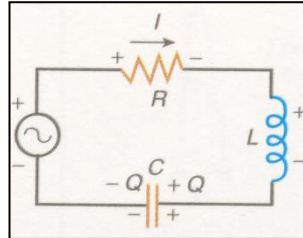
Pada frekuensi berapakah reaktansi kapasitor  $10 \mu\text{F}$  (a).  $1 \Omega$  (b).  $100 \Omega$  (c).  $0,01 \Omega$ .





## 10.5. Impedansi

### 10.5.1. Impedansi Rangkaian Seri RCL

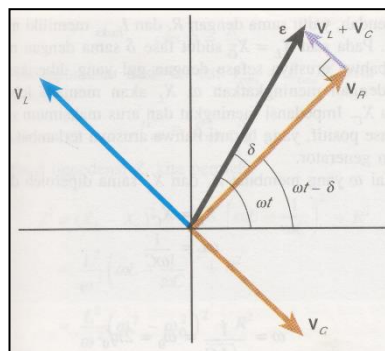


Gambar 5.11 Rangkaian seri resistor, kapasitor dan induktor dengan generator ac

Tegangan pada generator ac kita anggap mempunyai persamaan  $\epsilon = \epsilon_m \cos \omega t$ . Dari gambar, menurut kaidah kirchhoff tegangan yang terjadi sebesar :

$$\begin{aligned} \epsilon_m - V_R - V_L - V_C &= 0 \\ \epsilon_m &= V_R + V_L + V_C \\ &= I_m \cdot R + I_m \cdot X_L + I_m \cdot X_C \\ &= I_m (R + X_L + X_C) \end{aligned} \quad \dots\dots 10.21$$

$I_m$  dan  $\epsilon_m$  masing-masing adalah arus I dan ggl maksimum. Untuk mengetahui besar  $I_m$  dan  $\epsilon_m$  digunakan diaram fasor berikut,



Gambar 5.12 Diagram fasor rangkaian seri RLC yang dialiri arus ac

Mari kita perhatikan gambar di atas. Gambar di atas merupakan gabungan gambar 5.4, gambar 5.7 dan gambar 5.10.  $V_R$  sefase dengan  $I_m$ ,  $V_C$  tertinggal  $\pi/2$  terhadap  $I_m$  dan  $V_L$  mendahului  $I_m$  sejauh  $\pi/2$ . Jumlah amplitudo  $V_R$ ,  $V_L$  dan  $V_C$  menghasilkan fasor  $\epsilon_m$  dengan besar

$$\begin{aligned}
\varepsilon_m &= \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \\
&= \sqrt{(I_m R)^2 + (I_m X_L - I_m X_C)^2} \\
&= I_m \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \\
\varepsilon_m &= I_m \cdot Z \quad \text{.....10.22}
\end{aligned}$$

dimana

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad \text{.....10.23}$$

Z disebut impedansi rangkaian dengan satuan ohm dan  $X_L$  dan  $X_C$  disebut reaktansi total.

Jadi,

$$I_m = \frac{\varepsilon_m}{Z} \quad \text{.....10.24}$$

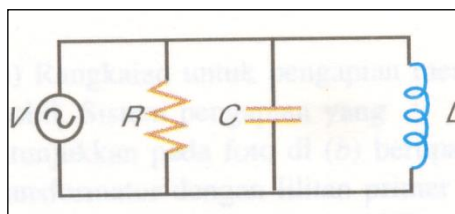
Adapun sudut fase  $\varphi$  adalah

$$\tan \varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{I_m (X_L - X_C)}{I_m R} = \frac{X_L - X_C}{R} \quad \text{.....10.25}$$

Dengan demikian arus I dapat dituliskan sebagai

$$\begin{aligned}
I &= I_m \cos (\omega t - \varphi) \\
&= \frac{\varepsilon_m}{Z} \cos (\omega t - \varphi) \quad \text{.....10.26}
\end{aligned}$$

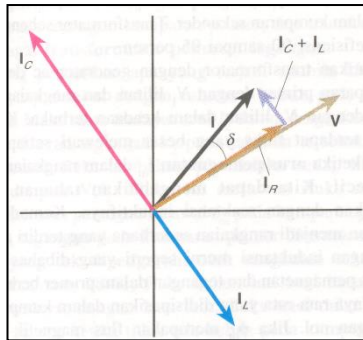
### 10.5.2 Impedansi Rangkaian Paralel RLC



Gambar 5.13 Rangkaian paralel resistor, kapasitor dan induktor dengan generator ac

Pada rangkaian paralel, besar tegangan adalah sama.

$$\varepsilon = V_R = V_C = V \quad \text{.....10.27}$$



Gambar 5.14 Diagram fasor rangkaian seri RLC yang dialiri arus ac

Berdasarkan diagram fasor di atas, arus total yang terjadi sebesar,

$$\begin{aligned}
 I &= \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{\left(\frac{V}{R}\right)^2 + \left(\frac{V}{X_L^2 - X_C^2}\right)^2} \\
 &= V \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L^2 - X_C^2}\right)^2} \\
 &= \frac{V}{Z} \quad \text{.....10.28}
 \end{aligned}$$

dimana impedansi Z pada rangkaian paralel adalah sebesar,

$$\frac{1}{Z} = \sqrt{\left(\frac{1}{R}\right)^2 + \left(\frac{1}{X_L^2 - X_C^2}\right)^2} \quad \text{.....10.29}$$

Beda fase  $\phi$ ,

$$\tan \phi = \frac{I_C - I_L}{I_R} = \frac{\frac{V}{X_C} - \frac{V}{X_L}}{\frac{V}{R}} = R \left( \frac{1}{X_C} - \frac{1}{X_L} \right) \quad \text{.....10.30}$$

## 10.6. Resonansi Rangkaian Seri RLC

Besar frekuensi yang terjadi pada pembangkit ac berpengaruh pada nilai impedansi  $Z$  dan arus  $I$  yang mengalir. Berikut beberapa keadaan frekuensi yang mungkin terjadi,

1. Pada frekuensi yang rendah, nilai reaktansi kapasitif ( $X_C = \frac{1}{\omega C}$ ) jauh lebih besar dari reaktansi induktif ( $X_L = \omega L$ ). Dengan demikian impedansi  $Z$  akan tinggi, arus  $I_m$  rendah dan sudut  $\delta$  negatif yang berarti arus mendahului tegangan pembangkitnya ( $I = I_m \cos(\omega t - \delta)$ ).
2. Pada frekuensi yang tinggi, nilai reaktansi kapasitif akan jauh lebih kecil dari reaktansi induktif. Sehingga, impedansi  $Z$  besar, arus  $I_m$  menjadi tinggi dan sudut  $\delta$  positif yang berarti tegangan mendahului arus ( $I = I_m \cos(\omega t + \delta)$ ).
3. Pada frekuensi tertentu  $X_C = X_L$ , sehingga impedansi bernilai minimum,

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{R^2 + 0^2} = R \quad \text{.....10.31}$$

dan arus  $I_m$  mencapai nilai terbesarnya. Sudut  $\delta$  sama dengan nol yang berarti arus sefase dengan ggl yang diberikan.

Frekuensi saat  $X_L = X_C$  disebut frekuensi alami atau frekuensi resonansi.

$$X_C = X_L$$

$$\frac{1}{\omega C} = \omega L$$

$$\omega = \sqrt{\frac{1}{LC}} = \omega_0 = 2\pi f_0$$

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad \text{.....10.32}$$

Pada frekuensi ini, rangkaian disebut berada dalam keadaan resonansi.

**Contoh 5.4. :**

Rangkaian seri RCL dengan  $L = 10 \text{ mH}$ ,  $C = 2 \mu\text{F}$  dan  $R = 5 \text{ ohm}$  digerakkan oleh pembangkit ac dengan ggl maksimum  $100 \text{ V}$  dan frekuensi sudut berubah  $\omega$ . Carilah :

- Frekuensi resonansi  $\omega_0$
- $I_{\text{rms}}$  pada saat resonansi

Apabila  $\omega = 8000 \text{ rad/s}$ , carilah :

- $X_C$  dan  $X_L$
- $Z$  dan  $I_{\text{rms}}$
- sudut fase

Penyelesaian :

Diketahui :  $L = 10 \text{ mH} = 10^{-2} \text{ H}$ ,  $C = 2 \mu\text{F} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ F}$ ,  $R = 5 \Omega$ ,  
 $V_m = 100 \text{ V}$

Ditanya : a.  $f_0 = \dots?$   
b.  $I_{\text{rms}}$   
c.  $\omega = 8000 \text{ rad/s}$ ,  $X_C$ ,  $X_L = \dots?$   
d.  $Z$ ,  $I_{\text{rms}} = \dots?$   
e.  $\delta = \dots?$

Jawab :

$$\text{a. } \omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\sqrt{10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}} = 7071,06 \text{ rad/s}$$

b. Saat resonansi,  $Z = R = 5 \Omega$ , sehingga

$$I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{100}{5} = 20 \text{ A}$$

$$I_{\text{rms}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{20}{\sqrt{2}} = 10\sqrt{2} \text{ A}$$

$$\text{c. } X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{8000 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = 62,5 \Omega$$

$$X_L = \omega L = 8000 \cdot 10^{-2} = 80 \Omega$$

$$\text{d. } Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{5^2 + (80 - 62,5)^2} = 18,20 \Omega$$

$$I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{100}{18,20} = 5,49 \text{ A}$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = \frac{5,49}{\sqrt{2}} = 2,75 \sqrt{2} \text{ A}$$

$$d. \tan \varphi = \frac{X_L - X_C}{R} = \frac{80 - 62,5}{5} = 3,5$$

$$\varphi = 74,05^\circ$$

**Soal 5.**

Untuk rangkaian contoh 5.4 misalkan frekuensi pembangkitnya  $f = 1$  kHz. Carilah : (a). frekuensi resonansi  $f_0$  (b).  $X_C$  dan  $X_L$  (c). impedansi  $Z$  dan  $I_{rms}$  keseluruhan (d). sudut fase

**Soal 6.**

Rangkaian RCL dalam radio penerima ditala oleh kapasitor berubah agar radio tersebut dapat beresonansi pada frekuensi dari 500 hingga 1600 kHz. Jika  $L = 1 \mu\text{H}$ , carilah jangka kapasitansi yang diperlukan untuk mencakup jangka frekuensi ini.

**Soal 7.**

Muatan pada kapasitor rangkaian LC seri diberikan oleh  $Q = (15 \mu\text{C}) \cos(1250t + \pi/4)$  dengan  $t$  dalam sekon. Carilah :

- a. arus sebagai fungsi waktu
- b.  $C$  jika  $L = 28 \text{ mH}$

**Soal 8.**

Tahanan  $R$  dan induktansi  $1,4 \text{ H}$  diserikan pada tegangan  $60 \text{ V ac}$ . Tegangan pada tahananannya  $30 \text{ V}$  dan tegangan pada induktornya  $40 \text{ V}$ . Berapakah tahanan  $R$  –nya?

**Soal 9.**

Kumparan menarik 15 A apabila dihubungkan ke jaringan 220 V ac 60 Hz. Apabila kumparan ini diserikan dengan tahanan 4  $\Omega$  dan gabungan ini dihubungkan dengan baterai 100 V, arus baterai setelah waktu yang lama diamati sebesar 10 A.

- a. Berapakah tahanan kumparan tersebut?
- b. Berapakah induktansi kumparannya?

**Soal 10.**

Kumparan dihubungkan dengan pembangkit tegangan 60 Hz, 100 V. Pada frekuensi ini kumparan memiliki impedansi 10  $\Omega$  dan reaktansi 8  $\Omega$ .

- a. Berapakah arus dalam kumparan ini?
- b. Berapakah sudut fase antara arus dan tegangan yang dikenakan?
- c. Berapakah kapasitansi seri yang dibutuhkan agar arus dan tegangannya sefase?
- d. Berapakah tegangan rms yang diukur pada kapasitor?