

## Materi Pembelajaran

### A. Gaya Listrik

Gaya listrik merujuk pada gaya yang timbul akibat interaksi antara partikel bermuatan listrik. Dua jenis benda bermuatan dapat berinteraksi tarik-menarik maupun tolak-menolak jika berada pada jarak tertentu. Peristiwa tolak-menolak atau tarik-menarik menunjukkan bahwa pada kedua benda bermuatan listrik terdapat gaya. Gaya pada muatan listrik dikenal dengan gaya listrik. Ada dua jenis muatan listrik utama, yaitu positif dan negatif.

#### 1. Hukum Coulomb

Dua muatan listrik sejenis tolak-menolak dan dua muatan listrik tidak sejenis tarik-menarik. Ini berarti antara dua muatan listrik timbul gaya listrik (tolak-menolak atau tarik-menarik). Hubungan gaya tarik atau tolak antara dua bola bermuatan dengan jarak kedua muatan ditentukan oleh seorang pakar fisika berkebangsaan Prancis bernama Charles Augustin Coulomb, pada tahun 1785 dalam eksperimennya dengan menggunakan sebuah neraca puntir.

##### a. Gaya Coulomb antara Dua Muatan Listrik

Hasil pengamatan Coulomb menunjukkan bahwa "besarnya gaya tarik-menarik atau tolak-menolak antara dua benda yang bermuatan listrik sebanding dengan muatan masing-masing benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua benda tersebut". Pernyataan ini disebut dengan hukum Coulomb. Persamaan hukum Coulomb dapat dituliskan sebagai berikut.

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

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

Keterangan:

$F_C$  = gaya Coulomb (N)

$q_1, q_2$  = besar muatan masing-masing (C = Coulomb)

$r$  = jarak kedua muatan (m)

$\epsilon_0$  = permitivitas vakum atau udara =  $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

$k$  =  $9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

##### b. Gaya Coulomb dalam Bahan atau Medium

Apabila medium muatan bukan ruang hampa udara, maka besar gaya Coulomb antara muatan  $q_1$  dan  $q_2$  berkurang ( $F_{\text{bahan}} < F_{\text{udara}}$ ). Jika medium memiliki permitivitas relatif  $\epsilon_r$  (disebut tetapan dielektrik  $k$ ), maka tetapan  $\epsilon_0$  pada persamaan gaya Coulomb harus diganti dengan permitivitas bahan ( $\epsilon$ ) yang dirumuskan  $\epsilon = \epsilon_r \cdot \epsilon_0$ . Nilai permitivitas relatif dalam ruang hampa ( $\epsilon_r$ ) = 1 sedangkan nilai permitivitas relatif dalam udara ( $\epsilon_r$ ) = 1,0006. Maka nilai  $\epsilon = \epsilon_0$ . Jadi, besar gaya Coulomb dalam bahan sebagai berikut.

$$F_{\text{bahan}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_r} \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Keterangan:

$\epsilon_r$  = permitivitas bahan ( $\text{C}^2/\text{Nm}^2$ )

Jika gaya Coulomb dalam ruang hampa dibandingkan dengan gaya Coulomb dalam bahan, maka diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$F_{\text{bahan}} = \frac{1}{\epsilon_r} \cdot F_{\text{vakum}}$$

Keterangan:

$\epsilon_r$  = permitivitas relatif bahan ( $\text{C}^2/\text{Nm}^2$ )

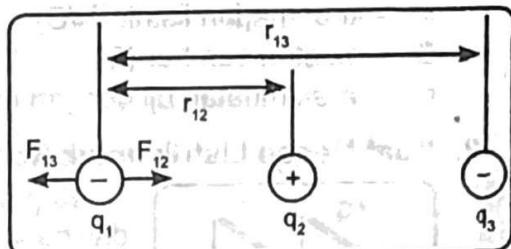
## 2. Resultan Gaya

Gaya Coulomb termasuk besaran vektor. Apabila pada sebuah benda bermuatan dipengaruhi oleh benda bermuatan listrik lebih dari satu, maka besarnya gaya Coulomb yang bekerja pada benda itu sama dengan jumlah vektor dari masing-masing gaya Coulomb yang ditimbulkan oleh masing-masing benda bermuatan listrik tersebut.

### a. Muatan-Muatan Listrik yang Segaris

Tiga buah muatan listrik tidak sejenis ditunjukkan seperti gambar di samping. Besarnya gaya Coulomb yang dialami oleh  $q_1$  dipengaruhi oleh muatan  $q_2$  dan  $q_3$  adalah  $F = F_{12} + F_{13}$ . Apabila arah ke kanan dianggap positif dan arah ke kiri negatif, besar gaya Coulomb pada muatan  $q_1$  adalah  $F = F_{12} - F_{13}$ .

$$F_{q1} = F_{12} + F_{13} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}^2} + k \frac{q_1 \cdot q_3}{r_{13}^2}$$



Muatan listrik segaris

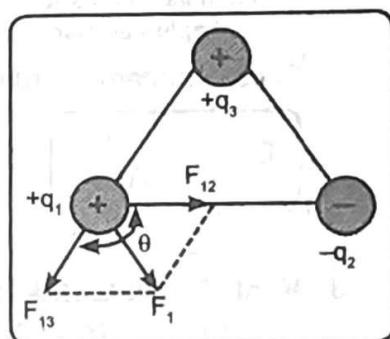
### b. Muatan-Muatan Listrik yang Tidak Segaris

Tiga buah muatan  $q_1$ ,  $q_2$ , dan  $q_3$  ditunjukkan seperti gambar di samping. Untuk menentukan gaya Coulomb pada muatan  $q_1$  dapat dicari dengan menggunakan rumus kosinus berikut.

$$F_{q1} = \sqrt{(F_{12})^2 + (F_{13})^2 + 2F_{12} \cdot F_{13} \cos \theta}$$

Dengan  $\bar{F}_{12} = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r_{12}^2}$  dan  $\bar{F}_{13} = k \frac{q_1 \cdot q_3}{r_{13}^2}$

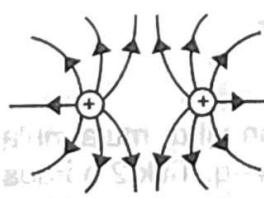
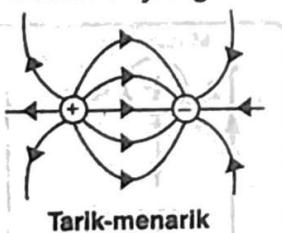
$\theta$  adalah sudut yang diapit antara  $F_{12}$  dan  $F_{13}$ .



Muatan listrik tidak segaris

## B. Kuat Medan Listrik

Medan listrik adalah daerah atau ruang di sekitar muatan listrik yang memengaruhi muatan listrik lainnya. Pengaruhnya berupa mampu menarik maupun menolak muatan di sekelilingnya. Benda bermuatan yang menghasilkan medan listrik dinamakan muatan sumber. Sementara itu, muatan yang diletakkan oleh pengaruh medan listrik dinamakan muatan uji. Besar kecilnya gaya Coulomb yang dialami oleh muatan uji di dalam medan listrik disebut kuat medan listrik.



Gambar di samping menunjukkan arah garis-garis gaya listrik ketika dua benda yang bermuatan listrik didekatkan. Medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan positif arahnya menjauhi muatan dan menyebar ke segala arah secara radial, sebaliknya, medan listrik yang ditimbulkan oleh muatan negatif arahnya mendekati muatan tersebut.

Jika muatan positif dan negatif berdekatan, maka medan listriknya berinteraksi. Setiap garis dari muatan positif akan menuju muatan negatif sehingga terjadi tarik-menarik.

### 1. Kuat Medan Listrik pada Suatu Titik Bermuatan

Kuat medan listrik adalah hasil bagi gaya Coulomb dengan muatan uji. Secara matematis dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$E = \frac{F}{q}$$

Keterangan:

$F$  = gaya Coulomb (N)

$q$  = muatan sumber (C)

Jika diketahui rumus gaya Coulomb antara muatan sumber Q dengan muatan uji q adalah

$F = k \frac{Q \cdot q}{r^2}$ , maka rumus medan listrik dengan persamaan berikut.

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

Keterangan:

E = kuat medan listrik (N/C)

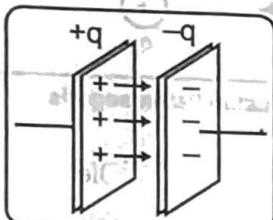
Q = muatan sumber (C)

r = jarak muatan uji dengan muatan sumber (m)

### Pendidikan Antikorupsi

Salah satu perwujudan sikap adil adalah mendengarkan orang lain serta berusaha memahami perasaan dan perkataan mereka.

## 2. Kuat Medan Listrik untuk Konduktor Dua Keping Sejajar



Medan listrik antara dua keping sejajar

Keping sejajar adalah dua keping konduktor dengan luas sama dan bahan sama. Jika dihubungkan dengan sumber tegangan V maka akan menyimpan muatan yang sama besar namun berlainan jenis (+q dan -q) seperti pada gambar di samping. Definisi rapat muatan listrik  $\sigma$  adalah muatan per satuan luas, secara matematis dirumuskan sebagai berikut.

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

Secara matematis rumus kuat medan listrik E antara dua keping sejajar sebagai berikut.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{q}{A \cdot \epsilon_0}$$

Keterangan:

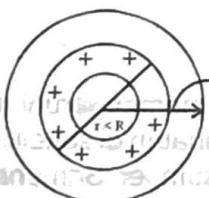
$\sigma$  = rapat muatan ( $C/m^2$ )

A = luas permukaan ( $m^2$ )

$\epsilon_0$  = permitivitas ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-12} C^2/N \cdot m^2$ )

## 3. Kuat Medan Listrik untuk Konduktor Bola Berongga

Jika konduktor bola berongga diberi muatan, muatan yang terbentuk tersebar di permukaan bola saja, sedangkan di dalam bola tidak ada muatan.



Muatan bola berongga

di dalam bola ( $r < R$ )  $\rightarrow E = 0$

di permukaan bola ( $r = R$ )  $\rightarrow E = \frac{kq}{r^2}$

di kulit luar bola ( $r \geq R$ )  $\rightarrow E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R^2}$

Keterangan

$r$  = jarak titik R terhadap pusat bola (m)

R = jari-jari bola (m)

## C. Energi Potensial Listrik dan Potensial Listrik

### 1. Energi Potensial Listrik

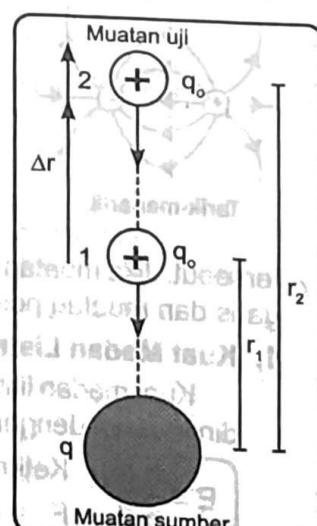
Gambar di samping menunjukkan muatan uji  $q_o$  mula-mula berada di titik 1 dengan jarak  $r_1$  dari muatan  $-q$ . Titik 2 berada pada jarak  $r_2$  dari muatan sumber  $-q$ . Muatan uji  $q_o$  dipindahkan dari titik 1 menuju titik 2 melawan gaya Coulomb yang ditimbulkan oleh muatan sumber  $-q$  sehingga dibutuhkan usaha untuk memindahkan muatan tersebut sebesar W. Di titik 1 dan 2 muatan uji positif  $q_o$  ditarik oleh muatan sumber  $-q$  dengan besar gaya Coulomb masing-masing sebagai berikut.

$$F_1 = k \frac{q_o q}{r_1^2}$$

dan

$$F_2 = k \frac{q_o q}{r_2^2}$$

Apabila  $\Delta r$  dapat dianggap kecil, gaya yang bekerja pada  $\Delta r$  sebagai rata-rata kedua gaya tersebut.



Usaha untuk memindahkan muatan uji

Gaya rata-rata dapat dituliskan sebagai berikut:

$$F_2 = k \frac{q_2}{r_2}$$

Usaha yang dilakukan  $F$  untuk memindahkan muatan uji dari titik 1 menuju titik 2 sejauh  $\Delta r$  dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$W_{12} = F \cdot \Delta r \cdot \cos \theta$$

Gaya  $F$  berlawanan dengan perpindahan  $\Delta r$  sehingga  $\theta = 180^\circ$  dan nilai  $\cos 180^\circ = -1$ . Oleh karena itu, persamaan usaha untuk memindahkan muatan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$W_{12} = k q_o q \left( \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Seperti yang telah kita ketahui bahwa usaha adalah perubahan energi. Oleh karena itu, diperoleh hubungan antara usaha dan energi potensial.

$$W_{12}$$

$$= E_{p2} - E_{p1}$$

Keterangan:

$W_{12}$  = usaha (J)

$q$  = muatan sumber (C)

$q_o$  = muatan uji (C)

$E_p$  = energi potensial (J)

$r_2$  = jarak muatan uji 2 dengan muatan sumber (m)

$r_1$  = jarak muatan uji 1 dengan muatan sumber (m)

## 2. Potensial Listrik

Potensial listrik didefinisikan sebagai perubahan energi potensial persatuannya muatan. Jika energi potensial dituliskan dalam persamaan  $E_p = k \frac{q_o q}{r}$ , potensial listrik sebuah muatan uji ( $q$ ) dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut.

$$\Delta V = \frac{\Delta E_p}{q_o} = k q \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

Keterangan:

$\Delta V$  = beda potensial antara dua titik (V)

$\Delta E_p$  = perubahan energi potensial (J)

$q$  = muatan uji (C)

$k$  = tetapan Coulomb =  $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$

$r_2$  = jarak muatan uji titik 2 dengan muatan sumber (m)

$r_1$  = jarak muatan uji titik 1 dengan muatan sumber (m)

Besarnya beda potensial pada medan listrik homogen dirumuskan sebagai berikut.

$$V = -E \cdot \Delta s \cdot \cos \theta$$

Keterangan:

$V$  = beda potensial antara dua titik bermuatan (V)

$E$  = kuat medan listrik dalam medan listrik homogen ( $\text{N/C}$ )

$\Delta s$  = perpindahan muatan positif untuk menghasilkan  $\Delta V$  (m)

$\theta$  = sudut apit antara arah  $E$  dan perpindahan

Potensial listrik adalah besaran skalar. Oleh karena itu, potensial listrik yang ditimbulkan oleh beberapa muatan sumber cukup dihitung dengan penjumlahan aljabar biasa. Adapun perhitungannya seperti berikut.

$$V = k \sum_{i=1}^{n=3} \frac{q_i}{r_i} = k \left( \frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + \dots \right)$$

## Sekilas Info

Petir terjadi karena adanya perbedaan potensial antara tanah dan awan. Energi pelepasan muatan di awan sangat besar sehingga medan listrik yang ditimbulkan mencapai  $1 \text{ J/m}^2$ . Medan listrik tersebut dapat memengaruhi kinerja alat elektronik yang ada di bumi, misalnya, TV, handphone, dan komputer yang terhubung ke stopkontak.

#### 4. Hukum Kekekalan Energi Mekanik dalam Medan Listrik

Hukum kekekalan energi mekanik berlaku pada gerak partikel, seperti gerak proton dan elektron di dalam medan listrik. Hal tersebut berlaku karena medan listrik merupakan medan konservatif. Energi total sebuah partikel dengan massa  $m$  dan muatan  $q$  yang bergerak dalam medan listrik sebagai berikut.

$$q \cdot V_1 + \frac{1}{2} m \cdot v_1^2 = q \cdot V_2 + \frac{1}{2} m \cdot v_2^2$$

Keterangan:

$q$  = muatan uji (C)

$V_1$  = potensial listrik pada kedudukan 1 (V)

$V_2$  = potensial listrik pada kedudukan 2 (V)

$m$  = massa partikel (kg)

$v_1$  = kecepatan partikel pada kedudukan 1 (m/s)

$v_2$  = kecepatan partikel pada kedudukan 2 (m/s)

#### Profil Pelajar Pancasila

##### Bernalar Kritis dan Kreatif

Menumbuhkan sikap bernalar kritis dan kreatif dengan melakukan percobaan tentang listrik statis serta mendiskusikan hasil percobaan dengan teman dapat meningkatkan sikap gotong royong.

#### D. Kapasitor

Kapasitor juga disebut dengan kondensator. Dalam elektronika kapasitor digunakan untuk menyimpan energi dalam bentuk medan listrik. Kapasitor memiliki banyak manfaat bagi kehidupan manusia. Adapun manfaat kapasitor sebagai berikut.

1. Menyimpan muatan listrik.
2. Meratakan arus listrik pada rangkaian catu daya.
3. Memilih gelombang pemancar pada pesawat radio.
4. Meniadakan bunga api listrik pada sistem pengapian kendaraan bermotor.
5. Mengubah arus bolak-balik menjadi arus searah.
6. Mengontrol frekuensi pada rangkaian osilator.
7. Penghubung (coupling).
8. Penyimpangan arus (by pass).

Perbandingan antara muatan setiap keping dan beda potensial dinamakan kapasitansi atau kapasitas kapasitor yang dirumuskan seperti berikut.

Keterangan:

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

$C$  = kapasitas kapasitor (F)

$q$  = jumlah muatan tiap keping (C)

$V$  = beda potensial (V)

Ada beberapa jenis kapasitor seperti berbentuk lingkaran tipis dengan dua buah kaki, tabung dengan kaki sama panjang, dan tabung dengan kaki tidak sama panjang. Berbagai macam kapasitor dibedakan menjadi kapasitor polar dan kapasitor nonpolar. Secara fisika, kapasitor polar dan kapasitor nonpolar dapat dibedakan seperti tabel berikut.

Pembeda	Kapasitor Polar	Kapasitor Nonpolar
Panjang kaki	Tidak sama panjang	Sama panjang
Tanda + dan - pada badan	Ada	Tidak ada
Bentuk	Relatif tebal	Relatif tipis
Orde satuan	Mikro farad	Piko – nanofarad Beberapa jenis ada yang sampai mikrofarad orde rendah

##### 1. Kapasitas Kapasitor Keping Sejajar

Kapasitas keping sejajar terdiri atas dua keping konduktor yang dipisahkan oleh bahan dielektrik. Kedua keping dihubungkan dengan sebuah baterai yang akan memberikan muatan  $+q$  pada keping pertama dan muatan  $-q$  pada keping kedua.

Apabila  $C = \frac{q}{V}$  dan  $V = \frac{qd}{A\epsilon_0}$ , kapasitas kapasitor keping sejajar tersebut dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut.

$$C = \frac{q}{V} = \frac{q}{\frac{qd}{A\epsilon_0}} = \frac{A\epsilon_0}{d}$$

Persamaan kapasitor di atas merupakan kapasitas kapasitor untuk dielektrik udara atau vakum. Bagaimana jika disisipi dengan bahan lain? Jika antara kedua keping disisipi bahan dielektrik, permitivitas vakum ( $\epsilon_0$ ) diganti dengan permitivitas dielektrik. Seperti yang telah kita ketahui  $\epsilon = K \cdot \epsilon_0$  dengan  $K$  adalah permitivitas dielektrik maka kapasitas kapasitor yang disisipi bahan dielektrik dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

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

Sementara itu, beda potensial kedua keping sesudah disisipi bahan penyekat selain udara dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

$$V_b = \frac{V}{K}$$

Keterangan:

$C$  = kapasitas kapasitor keping sejajar (F)

$\epsilon_0$  = permitivitas udara/vakum ( $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ )

$K$  = permitivitas relatif bahan penyekat

$\epsilon$  = permitivitas bahan ( $\text{C}^2/\text{Nm}^2$ )

$A$  = luas tepi keping pelat ( $\text{m}^2$ )

$d$  = jarak pisah kedua keping (m)

$C_b$  = kapasitas kapasitor dengan penyekat selain udara (F)

$V_b$  = beda potensial kedua keping kapasitor bahan penyekat selain udara (V)

## 2. Kapasitas Kapasitor Bola

Kapasitas kapasitor bola dibagi menjadi kapasitas kapasitor bola konduktor dan kapasitas kapasitor bola terisolasi. Kapasitas kapasitor bola konduktor dirumuskan sebagai berikut.

$$C = \frac{q}{V} = \frac{R_1 \cdot R_2}{k(R_2 - R_1)}$$

Sementara itu, kapasitas kapasitor bola terisolasi dengan jari-jari bola konduktor luar bernilai tak terhingga ( $R_2 = \infty$ ) dan jari-jari bola konduktor dalam ( $R_1 = R$ ), kapasitas kapasitor bola terisolasi dirumuskan melalui persamaan berikut.

$$C = 4\pi\epsilon_0 R = \frac{R}{k}$$

Keterangan:

$C$  = kapasitas kapasitor bola (F)

$R$  = jari-jari kapasitor (m)

$k$  = tetapan Coulomb ( $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ )

## 3. Kapasitas Kapasitor Silinder

Kapasitas kapasitor silinder dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$C = \frac{2\pi\epsilon_0 L}{\ln\left(\frac{R_t}{R_d}\right)}$$

Keterangan:

$C$  = kapasitas kapasitor silinder (F)

$L$  = panjang kapasitor (m)

$R_t$  = jari-jari luar (m)

$R_d$  = jari-jari dalam (m)

## E. Rangkaian Kapasitor

### 1. Rangkaian Seri Kapasitor

Beberapa kapasitor yang dihubungkan berderet disebut susunan seri. Susunan kapasitor secara seri yang ditunjukkan seperti gambar di samping mempunyai sifat sebagai berikut.

- Muatan pada tiap-tiap kapasitor bernilai sama dengan muatan kapasitor pengganti.

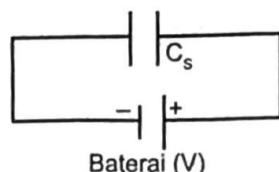
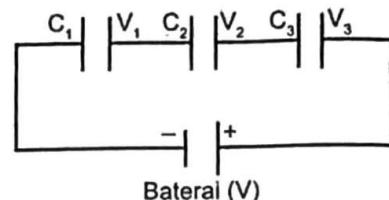
$$q = q_1 = q_2 = \dots = q_n$$

- Beda potensial pada ujung-ujung kapasitor pengganti sama dengan penjumlahan beda potensial seluruh kapasitor yang dirangkai.

$$V_s = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

- Besar kapasitas pengganti seri ( $C_s$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\frac{1}{C_s} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$



### 2. Rangkaian Paralel Kapasitor

Beberapa kapasitor yang dirangkai sejajar dan ujung-ujungnya bertemu pada satu titik yang sama dinamakan rangkaian paralel kapasitor. Pada susunan paralel kapasitor mempunyai sifat sebagai berikut.

- Muatan kapasitor pengganti sama dengan jumlah muatan tiap-tiap kapasitor.

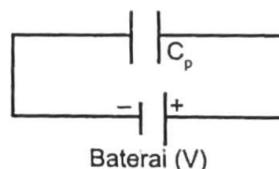
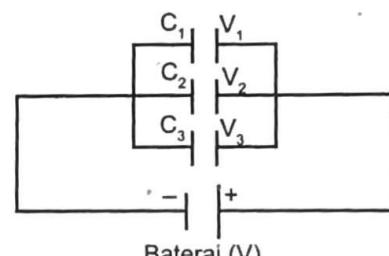
$$q = q_1 + q_2 + \dots + q_n$$

- Beda potensial tiap-tiap kapasitor sama dengan beda potensial sumber.

$$V_s = V_1 = V_2 = \dots = V_n$$

- Besar kapasitas pengganti seri ( $C_p$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_p = C_1 + C_2 + \dots + C_n$$



Rangkaian paralel kapasitor  
dan rangkaian penggantinya

### Kerjakan sesuai perintahnya!

Lakukan analisis cara kerja printer inkjet dengan menjawab pertanyaan berikut.

Tetes tinta masing-masing memiliki massa  $m = 1,3 \times 10^{-11}$  kg bergerak meninggalkan nozzle dengan kecepatan  $v = 18$  m/s. Tetes tinta kemudian melewati elektrode dan mendapatkan muatan sebesar  $1,5 \times 10^{-13}$  C, lalu melewati pelat defleksi dengan medan listrik sebesar E yang panjangnya  $D_o = 1,8$  cm dan jarak antarpelat sebesar 4 cm. Jika tetes tinta harus dibelokkan jarak  $d = 18,75$  mm pada saat mencapai akhir pelat defleksi, maka:

- jelaskan mengapa tinta bermuatan mengalami pembelokan (defleksi) saat melewati elektrode;
- tentukan besar medan listrik pada pelat defleksi dengan asumsi gaya gravitasi diabaikan;
- tentukan beda potensial listrik yang harus diberikan.

### Aktivitas Mandiri

## Materi Pembelajaran

### A. Arus Listrik

#### 1. Pengertian Arus Listrik

Arus listrik adalah fenomena aliran muatan listrik yang bergerak melalui suatu penghantar. Dasar dari konsep ini adalah pergerakan elektron, yaitu partikel subatomik yang bermuatan negatif dalam bahan penghantar seperti logam. Meskipun elektron yang sebenarnya bergerak adalah bermuatan negatif, konvensi arah arus listrik mengacu pada aliran muatan positif dari kutub positif ke kutub negatif.

Arus listrik mengalir dari potensial tinggi menuju potensial rendah. Arus listrik hanya dapat mengalir pada rangkaian tertutup. Arah arus listrik berlawanan dengan arah gerak elektron.

#### 2. Kuat Arus Listrik

Kuat arus listrik pada kawat didefinisikan sebagai jumlah muatan listrik yang melewati kawat persatuan waktu. Definisi tersebut dituliskan dalam sebuah persamaan sebagai berikut.

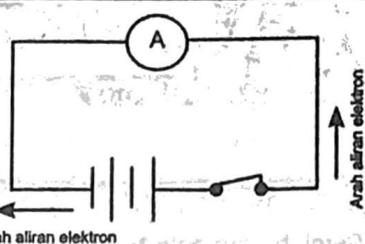
$$I = \frac{Q}{t} = \frac{n_e q_e}{t}$$

Keterangan:

I = kuat arus listrik (A)

t = waktu (s)

$q_e$  = nilai muatan elektron  
 $= (1,6 \times 10^{-19} \text{ C})$



Arah arus listrik

Q = muatan listrik (C)

$n_e$  = jumlah elektron

#### 3. Pengukuran Arus Listrik

Pengukuran arus listrik dapat dilakukan menggunakan sebuah alat yang dinamakan dengan amperemeter. Amperemeter memiliki nilai batas ukur tertentu. Batas ukur digunakan untuk menentukan kemampuan maksimum alat dalam pengukuran arus listrik. Apabila arus yang diukur melebihi kemampuan alat maka diperlukan hambatan shunt. Hambatan shunt berfungsi mencegah terjadinya kerusakan alat. Pemasangan hambatan shunt disusun secara paralel seperti gambar di samping. Sementara itu, hambatan shunt dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

$$R_{sh} = \frac{R_A}{(n-1)}; n = \frac{I}{I_A}$$

Keterangan:

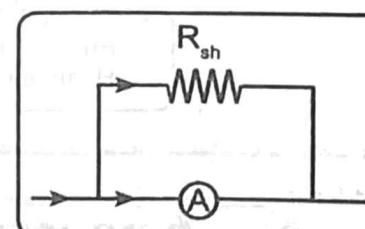
I = kuat arus yang diukur (A)

$I_A$  = kuat arus maksimum yang dapat diukur (A)

n = kelipatan kenaikan batas ukur

$R_A$  = hambatan pada amperemeter ( $\Omega$ )

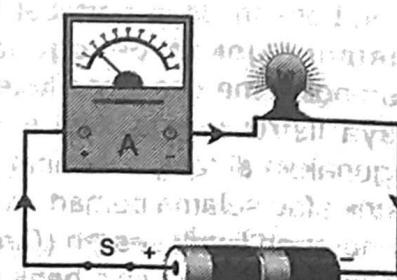
$R_{sh}$  = hambatan shunt ( $\Omega$ )



Pemasangan hambatan shunt

Untuk mengukur kuat arus listrik dalam suatu rangkaian listrik digunakan amperemeter yang dipasang seri dengan cara memotong penghantar agar arus mengalir melewati amperemeter seperti gambar di samping. Kuat arus yang terukur I dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{Hasil pengukuran} = \frac{\text{skala yang ditunjuk}}{\text{skala maksimum}} \times \text{batas ukur}$$



Pengukuran arus listrik

## B. Hukum Ohm dan Hambatan Listrik

### 1. Hukum Ohm

Arus listrik mengalir dari potensial tinggi ke potensial rendah. Hubungan antara beda potensial dan arus listrik pertama kali diselidiki oleh George Simon Ohm (1787–1854). Ia telah mengemukakan hasil penelitiannya yang dikenal dengan hukum Ohm, bahwa "Kuat arus ( $I$ ) yang mengalir pada suatu penghantar berbanding lurus dengan beda potensial atau tegangan ( $V$ ) antara dua ujung penghantar tersebut dan berbanding terbalik dengan hambatannya ( $R$ )". Hukum Ohm dirumuskan sebagai berikut.

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

Keterangan:

- $I$  = kuat arus listrik (A)
- $V$  = tegangan listrik (V)
- $R$  = hambatan ( $\Omega$ )

### Sekilas Info

Thomas Alfa Edison memanfaatkan arus DC untuk penyaluran tenaga listrik komersial yang pertama kali di akhir abad ke-19. Generator komersial yang pertama di dunia menggunakan listrik arus DC. Kemudian di tahun 1883, Nicola Tesla dianugerahi hak paten untuk penemuannya, yakni arus bolak-balik (AC)

### 2. Hambatan

Komponen elektronik yang dapat digunakan untuk mengatur arus listrik dalam rangkaian adalah resistor. Sebuah resistor memiliki resistansi atau hambatan dengan satuan ohm atau  $\Omega$ . Alat-alat listrik yang memiliki nilai hambatan tetap dengan grafik linier antara tegangan dan arus memenuhi hukum Ohm sehingga dikenal dengan hambatan ohmik. Tidak semua nilai hambatan bernilai tetap atau memenuhi hukum Ohm, ada juga yang berubah bergantung pada besaran lainnya. Hambatan dengan nilai berubah disebut hambatan nonohmik, contohnya lampu filamen. Lampu filamen memancarkan cahaya setelah filamen kawat di dalamnya menjadi panas, memiliki hambatan yang tidak konstan namun dipengaruhi oleh suhu kawat. Perbedaan antara hambatan ohmik dan nonohmik dapat dijelaskan melalui karakteristik hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan pada suatu elemen dalam rangkaian listrik. Berikut adalah perbedaan utama hambatan'ohmik dan nonohmik.

#### a. Hambatan Ohmik

- 1) Hubungan tegangan, arus dan hambatan mengikuti hukum Ohm, di mana tegangan ( $V$ ) sebanding dengan arus ( $I$ ) dikali dengan hambatan ( $R$ ).
- 2) Hambatan ohmik memiliki karakteristik linier, artinya grafik hubungan antara tegangan dan arus akan membentuk garis lurus melalui titik koordinat nol.
- 3) Contoh hambatan ohmik adalah resistor.

#### b. Hambatan Nonohmik

- 1) Hubungan tegangan, arus, dan hambatan mengikuti hukum Ohm, akan tetapi hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan bisa bersifat tidak linier atau dapat berubah tergantung pada kondisi tertentu.
- 2) Hambatan nonohmik memiliki karakteristik nonlinear. Grafik hubungan antara tegangan dan arus tidak membentuk garis lurus.
- 3) Contoh hambatan nonohmik adalah diode, transistor, lampu pijar, dan beberapa jenis

## C. Hambatan Jenis

Berdasarkan eksperimen, Ohm juga merumuskan bahwa hambatan  $R$  kawat logam berbanding lurus dengan panjang kawat ( $A$ ), berbanding terbalik dengan luas penampang lintang kawat ( $A$ ), dan bergantung kepada jenis bahan tersebut ( $\rho$ ). Hambatan listrik sebuah konduktor dirumuskan:

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

Keterangan:

- $\rho$  = hambatan jenis konduktor ( $\Omega\text{m}$ )
- $A$  = luas penampang konduktor ( $\text{m}^2$ )

$l$  = panjang konduktor (m)

$R$  = kuat arus listrik (A)

Hambatan jenis kawat berbeda-beda tergantung bahannya. Suatu kawat penghantar listrik pada suatu saat disebut sebagai konduktor, tetapi pada saat yang lain disebut sebagai resistor. Hal ini tergantung pada sifat mana yang akan kita tekankan. Jika kita tekankan sifat kawat penghantar sebagai konduktor maka kebalikan dari resistivitas listrik disebut konduktivitas ( $\sigma$ ) listrik.

$$\sigma = \frac{1}{\rho}$$

Keterangan:

$\sigma$  = konduktivitas listrik bahan penghantar ( $\Omega/m$ )

$\rho$  = resistivitas listrik bahan penghantar ( $\Omega m$ )

Hambatan jenis konduktor bergantung pada suhunya. Makin tinggi suhunya, makin tinggi hambatan jenis konduktor dan makin tinggi pula hambatan konduktor tersebut. Pengaruh suhu terhadap hambatan konduktor dapat dituliskan dalam persamaan berikut.

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

Keterangan:

$R$  = hambatan konduktor pada suhu  $T_o$  °C ( $\Omega$ )

$\alpha$  = koefisien suhu hambatan jenis ( $/^\circ C$ )

$R_o$  = hambatan konduktor pada suhu  $T_o$  °C ( $\Omega$ )

$\Delta T$  = selisih suhu ( $^\circ C$ )

## D. Rangkaian Listrik

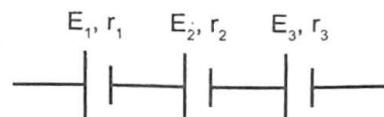
Rangkaian listrik dapat terdiri atas rangkaian hambatan dan sumber tegangan. Kedua komponen elektronika tersebut dapat dirangkai secara seri maupun paralel.

### 1. Rangkaian Seri

#### a. Rangkaian Seri Sumber Tegangan

Sumber tegangan dapat dirangkai secara seri yang ditunjukkan seperti gambar di samping.

$$E_s = \sum_{k=1}^n E_k = E_1 + E_2 + \dots + E_n$$



Rangkaian seri  
sumber tegangan

Nilai hambatan dalam total dari sumber tegangan yang dirangkai secara seri dirumuskan sebagai berikut.

$$R_s = \sum_{k=1}^n r_k = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

Keterangan:

$E_s$  = nilai tegangan total rangkaian (V)

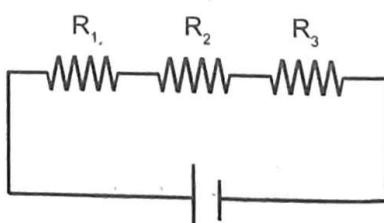
$r_s$  = hambatan dalam total dari sumber tegangan yang dirangkai secara seri ( $\Omega$ )

$n$  = jumlah sumber tegangan

#### b. Rangkaian Seri Resistor

Rangkaian resistor dapat dirangkai seri seperti pada gambar di samping. Nilai hambatan dari hasil rangkaian resistor secara seri disebut dengan hambatan ekuivalen ( $R_{ek}$ ) atau hambatan seri ( $R_s$ ). Perumusan untuk hambatan seri sebagai berikut.

$$R_{ek} = R_s = \sum_{k=1}^n R_k = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$



Rangkaian seri resistor

Pada rangkaian resistor seri berlaku hal-hal berikut.

$$I_s = I_1 = I_2 = I_3$$

$$V_s = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

## 2. Rangkaian Paralel

Merangkai komponen elektronika secara paralel adalah merangkai komponen elektronika dengan cara menyambungkan kaki-kaki komponen elektronika yang polaritasnya sama. Sumber tegangan dan resistor dapat disusun menggunakan rangkaian paralel.

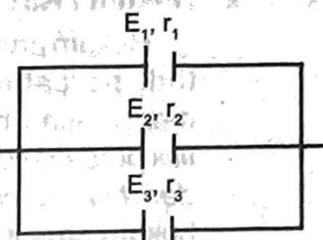
### a. Rangkaian Paralel Sumber Tegangan

Apabila sumber tegangan dirangkai secara paralel akan terbentuk seperti gambar di samping. Sumber tegangan yang disusun secara paralel memiliki nilai yang sama. Jika dituliskan dalam bentuk persamaan sebagai berikut.

$$E_p = E_1 = E_2 = E_3$$

Sementara itu, hambatan dalam total akan bernilai:

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

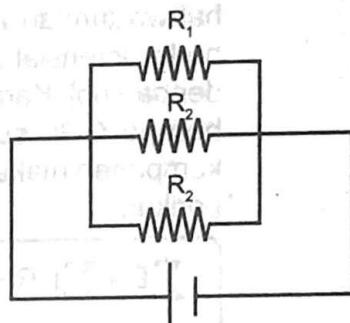


Rangkaian paralel sumber tegangan

### b. Rangkaian Paralel Resistor

Seperti halnya sumber tegangan, resistor juga dapat disusun secara paralel. Jika resistor disusun secara paralel rangkaianya seperti gambar di samping. Nilai hambatan penggantinya dapat dirumuskan sebagai berikut.

$$\frac{1}{R_p} = \sum_{k=1}^n \frac{1}{R_k} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$



Rangkaian paralel resistor

Pada rangkaian resistor paralel akan berlaku hal-hal berikut.

$$I_p = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

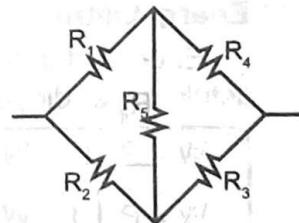
$$V_p = V_1 = V_2 = V_n$$

### c. Rangkaian Jembatan Wheatstone

Resistor yang jumlahnya lebih dari satu dapat dirangkai secara seri maupun paralel. Selain kedua jenis rangkaian tersebut, terdapat rangkaian jembatan wheatstone. Gambar rangkaian tersebut dapat Anda amati pada gambar di samping.

Rangkaian jembaran wheatstone digunakan ketika nilai perkalian dua resistor yang berhadapan bernilai sama dengan menganggap nilai  $R_5$  tidak ada. Oleh karena itu, berlaku nilai  $R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4$ . Susunan tersebut dapat diselesaikan menggunakan rangkaian seri dan rangkaian paralel. Nilai hambatan total pada rangkaian tersebut sebagai berikut:

$$\frac{1}{R_{\text{total}}} = \frac{1}{(R_1 + R_2)} + \frac{1}{(R_3 + R_4)}$$



Rangkaian resistor jembatan wheatstone

Nilai hambatan sebuah penghantar sebanding dengan panjangnya penghantar. Jika dua buah penghantar memiliki hambatan dengan luas penampang sama, nilai dapat dihitung menggunakan metode jembatan wheatstone. Adapun persamaannya sebagai berikut.

$$R_x = \frac{R_2 \times R_5}{R_1} = \frac{\ell_2 \times R_s}{\ell_1}$$

Keterangan:

$R_s$  = hambatan yang diketahui ( $\Omega$ )

$R_x$  = hambatan yang akan diukur

$\ell_1, \ell_2$  = panjang kawat (m)

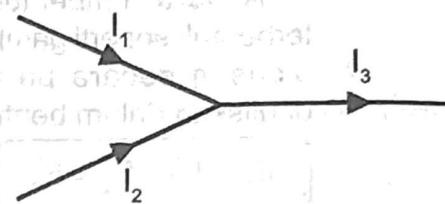
## E. Rangkaian Majemuk

### 1. Hukum Kirchoff

Hukum Kirchoff membahas nilai kuat arus dan tegangan dalam suatu rangkaian. Ada dua hukum Kirchoff, yaitu hukum I Kirchoff dan hukum II Kirchoff

#### a. Hukum I Kirchoff

Hukum arus Kirchoff membicarakan arus listrik pada titik percabangan kawat. Hukum arus Kirchoff menyatakan bahwa "Jumlah arus yang masuk pada titik percabangan sama dengan jumlah arus yang keluar dari titik percabangan tersebut". Secara matematis, hukum arus Kirchoff dirumuskan:  $I_1 + I_2 = I_3$



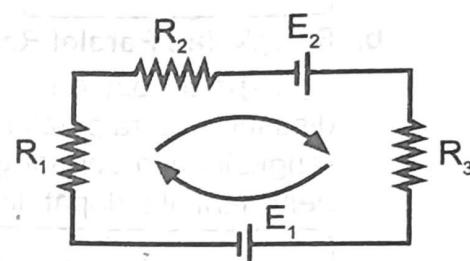
$$\sum I_{\text{masuk}} = \sum I_{\text{keluar}}$$

#### b. Hukum II Kirchoff

Hukum II Kirchoff tentang tegangan menyatakan bahwa jumlah aljabar gaya gerak listrik (GGL) dan beda potensial pada rangkaian listrik tertutup sama dengan nol. Karena tegangan dalam rangkaian dapat berupa GGL sumber tegangan dan tegangan dari komponen maka persamaan dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\sum E + \sum I \cdot R = 0$$

$$R_s = \sum_{i=1}^n R_i$$



Ketentuan tanda untuk E dan I:

$E (+)$  : jika arah loop bertemu dengan kutub (+)

$E (-)$  : jika arah loop bertemu dengan kutub (-)

$I (+)$  : jika arah loop searah dengan arah arus

$I (-)$  : jika arah loop berlawanan dengan arah arus

## F. Energi dan Daya Listrik

### 1. Energi Listrik

Energi listrik adalah energi yang dihasilkan oleh arus listrik karena perpindahan muatan listrik, dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$W = P \cdot t$$

$$W = I^2 R t$$

$$W = P \cdot I \cdot t$$

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

Keterangan:

$P$  = daya (watt)

$I$  = kuat arus (A)

$V$  = beda potensial (volt)

$R$  = hambatan (ohm)

Dalam SI, satuan dari energi listrik adalah joule (disingkat J). Satuan lain yang juga sering digunakan adalah kilowattjam, disingkat kWh (kilowatthour), dengan  $1 \text{ kWh} = 3,6 \times 10^6 \text{ J}$ .

### 2. Daya Listrik

Daya listrik adalah banyaknya energi listrik yang digunakan dalam suatu waktu. Secara matematis, hubungan daya listrik dengan energi listrik dirumuskan sebagai berikut.

$$P = I \cdot V_a \quad P = I^2 R$$

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

Satuan daya listrik dalam SI adalah joule/sekon (disingkat J/s). Satuan ini diberi nama watt (W), dengan  $1 \text{ W} = 1 \text{ J/s}$ .

**Pendidikan  
Antikorupsi**

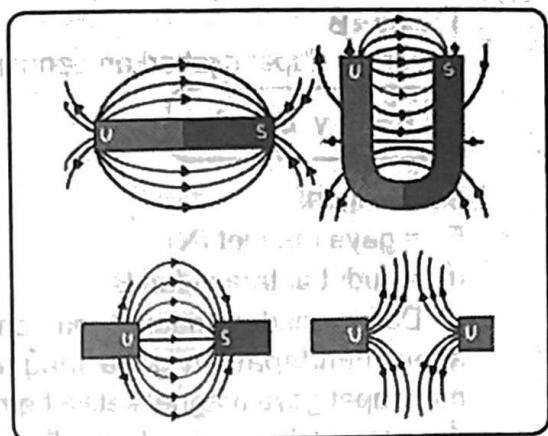


Risiko yang Anda terima setelah mengungkapkan kebenaran janganlah ditakuti, justru Anda harus bangga kepada diri Anda sendiri karena Anda sudah mempunyai keberanian yang luar biasa.

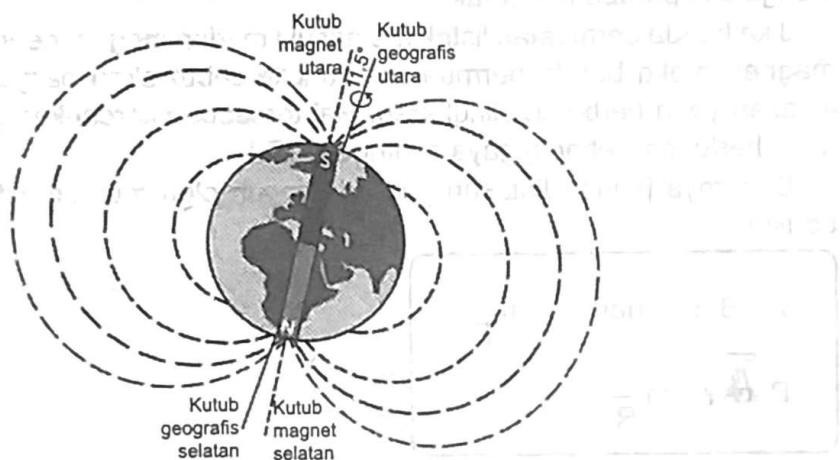
## Materi Pembelajaran

### A. Medan Magnet

Magnet adalah suatu benda yang memiliki gejala dan memengaruhi bahan-bahan tertentu yang berada di sekitarnya. Kekuatan sifat kemagnetan yang paling besar berada pada kutub magnet dan semakin ke tengah kekuatannya makin berkurang. Medan magnet adalah ruang di sekitar magnet yang gaya tarik/tolaknya masih dirasakan oleh magnet lain. Kuat dan arah medan magnetik dapat juga dinyatakan oleh garis-garis gaya magnetik. Jumlah garis gaya per satuan penampang melintang adalah ukuran kuat medan magnetik. Garis-garis gaya magnet selalu keluar dari kutub utara magnet dan masuk ke kutub selatan magnet. Garis-garis tersebut tidak pernah saling berpotongan. Kerapatan garis-garis gaya magnet menunjukkan kekuatan medan magnet. Magnet yang kutubnya senama akan tolak-menolak, sedangkan kutub yang berbeda akan tarik-menarik.



Bumi juga merupakan sebuah magnet raksasa yang memiliki medan magnet di sekitarnya. Dapat diibaratkan bumi memiliki magnet batang di dalam inti bumi. Kutub utara magnet bumi berada di kutub selatan geografi bumi sedangkan kutub selatan magnet bumi berada di kutub utara geografi bumi. Antara kutub utara magnet dan kutub selatan geografi bumi tidak tepat berhimpit namun berbeda  $11,5^\circ$  seperti gambar berikut.



### B. Gaya Magnet

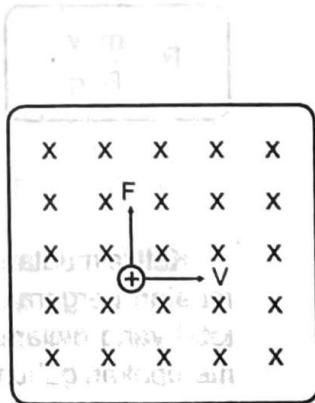
#### 1. Gaya pada Muatan Bergerak

Telah kita ketahui sebelumnya bahwa sebuah muatan berada dalam medan listrik maka muatan akan mendapatkan gaya listrik.

Hanya saja, ketika muatan berada dalam medan magnet, belum tentu muatan mendapat gaya magnet. Sebuah muatan dalam

medan magnet akan mendapat gaya magnet jika muatan bergerak dan arah kecepatan muatan tidak sejajar dengan arah medan magnet.

Perhatikan gambar di samping. Sebuah muatan positif dengan kecepatan ke kanan berada dalam medan magnet secara tegak lurus yang arahnya menembus bidang. Gaya magnet yang terjadi pada muatan ke arah vertikal tegak lurus terhadap gerak muatan dan medan magnetnya.



Arah gaya magnet

Sama halnya dengan menentukan besar medan listrik berdasarkan gaya listrik dan muatannya, besar medan magnet juga dapat ditentukan dari besar gaya magnet dan muatannya. Vektor gaya listrik ( $\vec{F}$ ) pada muatan ( $q$ ) yang bergerak dengan kecepatan ( $v$ ) dalam medan magnet ( $B$ ), yaitu:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B}$$

Besarnya dapat dijabarkan dengan persamaan sebagai berikut.

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

Keterangan:

$F$  = gaya magnet (N)

$\theta$  = sudut antara  $v$  dan  $B$

Dalam medan magnet muatan yang diam tidak akan mendapatkan gaya magnet. Muatan akan mendapat gaya magnet ketika bergerak tidak sejajar dengan medan magnetnya. Jika muatan bergerak tegak lurus terhadap arah medan magnet, maka arah gaya magnet dapat ditentukan dengan aturan tangan kanan seperti gambar di samping.

Ibu jari menyatakan arah kecepatan muatan, telunjuk menyatakan arah medan magnet dan telapak tangan menyatakan arah gaya magnetnya. Ketika muatan bergerak masuk ke daerah medan magnet secara tegak lurus, maka muatan akan mengalami perubahan gerak.

Jika benda bermuatan listrik memasuki medan magnet dengan arah tegak lurus medan magnet, maka benda bermuatan listrik tersebut akan bergerak dalam medan dengan lintasan yang berbentuk lingkaran. Hal tersebut dikarenakan gaya magnetik yang timbul akan berfungsi sebagai gaya sentripetal ( $F_s$ ).

Besarnya jari-jari lintasan yang ditempuh oleh muatan listrik dapat dihitung sebagai berikut.

$$F = B \cdot q \cdot v \text{ dan } F_s = m \frac{v^2}{R}$$

$$B \cdot q \cdot v = m \frac{v^2}{R}$$

Maka, jari-jari lintasan yang ditempuh muatan listrik sebesar:

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

Keterangan:

$R$  = jari-jari lintasan muatan listrik (m)

$v$  = kecepatan benda bermuatan listrik (m/s)

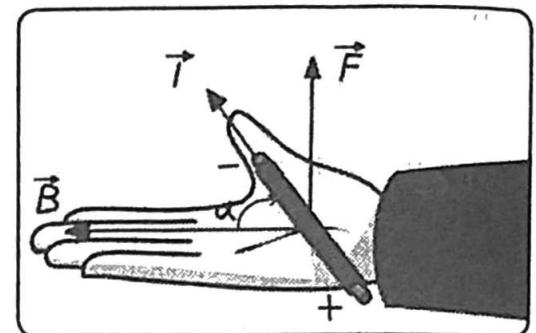
$q$  = muatan listrik benda (C)

$m$  = massa benda bermuatan listrik (kg)

$B$  = induksi magnetik (T)

Ketika muatan diam dalam medan listrik, muatan akan mendapatkan gaya listrik dan saat muatan bergerak dalam medan magnet muatan akan mendapatkan gaya magnet. Gaya total yang dialami muatan yang bergerak dalam medan listrik dan medan magnet, yang merupakan gabungan dari gaya magnet dan gaya listrik dikenal dengan gaya Lorentz. Gaya Lorentz ( $\vec{F}$ ) pada muatan ( $q$ ) yang bergerak dalam medan listrik ( $E$ ) dan medan magnet ( $B$ ) adalah:

$$\vec{F} = q\vec{v} \times \vec{B} + q\vec{E}$$



Aturan tangan kanan gaya magnet

## 2. Gaya Magnet pada Kawat Berarus Listrik

Ketika sebuah kawat dengan panjang tertentu diletakkan di antara dua kutub magnet dan kawat dialiri arus listrik maka pada kawat tersebut akan timbul gaya magnet atau yang disebut dengan gaya Lorentz. Besarnya gaya Lorentz pada kawat berarus listrik sebanding dengan medan magnet, kuat arus listrik pada kawat, dan panjang kawat. Besar gaya Lorentz juga bergantung pada sudut antara arah arus dan arah medan magnet pada kawat. Secara matematis, besar gaya Lorentz dituliskan sebagai berikut.

$$F = BI\ell \sin\alpha$$

$$F = B \cdot q v \sin \alpha$$

Jika medan magnetik  $B$  membentuk sudut  $90^\circ$  dengan arah arus serta panjang kawat lurus yang panjangnya  $\ell$ , besar gaya Lorentz diperoleh:

$$F = B \cdot I \cdot \ell$$

Keterangan:

$F$  = gaya lorentz (N)

$B$  = medan magnetik ( $\text{Wb/m}^2$ )

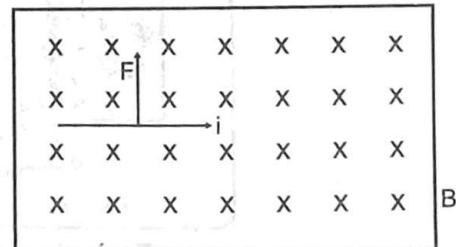
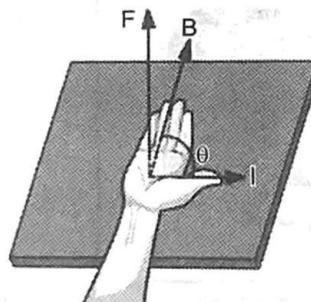
$I$  = kuat arus melalui penghantar (A)

$q$  = muatan (coulomb)

$\ell$  = panjang kawat penghantar (m)

$v$  = kecepatan partikel ( $\text{m/s}$ )

Arah gaya magnet yang timbul pada kawat berarus dalam medan magnet dapat ditentukan dengan aturan tangan kanan.

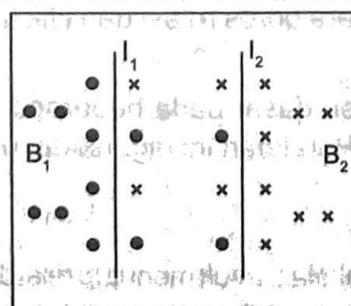


Aturan tangan kanan gaya magnet

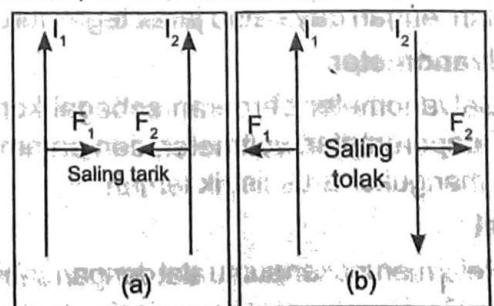
Arah ibu jari menyatakan arah arus listrik (arahnya ke kanan), jari lainnya menyatakan arah medan magnet (arahnya masuk) dan arah telapak tangan adalah arah gayanya (arah ke atas). Gaya magnet ini merupakan dasar dari motor listrik.

### 3. Gaya Antara Dua Kawat Sejajar Berarus

Medan magnet dapat timbul di sekitar kawat berarus listrik. Kawat berarus yang diletakkan di daerah bermedan magnet akan timbul suatu gaya. Jika dua buah kawat diletakkan sejajar dengan jarak  $a$  dan dialiri arus sebesar  $I_1$  dan  $I_2$ , akan menimbulkan induksi magnetik  $B_1$  dan  $B_2$ . Dengan demikian kawat berarus  $I_1$  akan berada dalam medan magnet  $B_2$ , sedangkan kawat berarus  $I_2$  akan berada dalam medan magnet  $B_1$ . Jika arah arus sama, kedua kawat akan tarik-menarik. Jika arah arus berlawanan, kedua kawat akan tolak-menolak.



Induksi magnet pada dua kawat berarus



Gaya Lorentz pada dua kawat berarus  
(a) searah dan (b) berlawanan

Besar gaya yang ditimbulkan dua kawat arus sejajar dapat dirumuskan sebagai berikut.

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

Jadi, besar gaya tiap satuan panjang sebagai berikut.

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

Keterangan:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ Wb/Am}$$

$I_1$  = kuat arus kawat pertama (A)

$I_2$  = kuat arus kawat kedua (A)

$a$  = jarak kedua kawat (m)

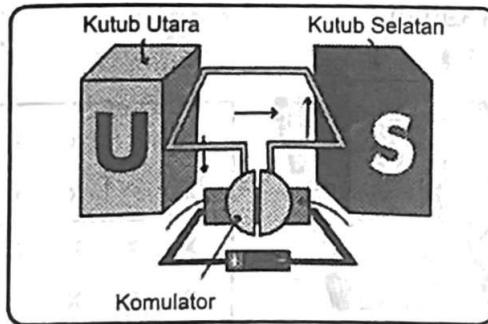
$l$  = panjang kawat (m)

$F$  = gaya tarik-menarik atau tolak-menolak (N)

#### 4. Penerapan Gaya Magnetik

##### a. Motor Listrik

Motor listrik merupakan dasar dari semua alat elektronik yang berputar saat diberi arus listrik. Motor listrik terdiri dari magnet dan kumparan kawat yang akan berputar saat diberi arus listrik.



Bagian-bagian motor listrik

Berdasarkan gambar di atas saat arus listrik mengalir pada kumparan timbul gaya  $F$  yang berpasangan pada kedua sisi kumparan. Putaran kumparan pada motor listrik dipengaruhi oleh medan magnet, arus listrik, dan jumlah lilitan kumparan. Putaran ini disebabkan adanya momen kopel yang timbul karena dua momen gaya berlawanan pada kawat berarus listrik. Besar momen gaya pada masing-masing kawat selalu berubah karena besar lengan gaya selalu berubah akibat perubahan posisi kawat terhadap arah medan magnetnya meskipun besar gaya magnetnya tetap.

Besar gaya magnet pada setiap sisi kawat dapat diturunkan dari persamaan:  $F = i L B \sin 90^\circ$ . Dengan  $L$  adalah panjang sisi kiri atau sisi kanan dan sudut  $\theta = 90^\circ$  karena arah arus listrik pada kawat selalu tegak lurus terhadap medan magnet. Adapun besar momen gaya pada setiap sisi dapat ditentukan dengan persamaan  $\tau = F \cdot d$ . Dengan  $d$  adalah lengan gaya atau jarak tegak lurus antara poros rotasi dan titik tangkap gayanya.

##### b. Galvanometer

Galvanometer berperan sebagai komponen dasar pada beberapa alat ukur, antara lain ampermeter, voltmeter, dan ohmmeter. Peralatan ini digunakan untuk mendekripsi dan mengukur arus listrik lemah.

##### c. Relai

Relai merupakan suatu alat dengan sebuah sakelar, untuk menutup relai digunakan magnet listrik. Relai menggunakan prinsip elektromagnet untuk menggerakkan sakelar, sehingga dengan arus listrik yang kecil dapat menghantarkan listrik yang bertegangan lebih tinggi.

#### Sekilas Info

Gauss meter atau magnetometer adalah alat yang digunakan untuk melakukan pengukuran medan magnet yang ada pada suatu benda. Selain itu, juga digunakan untuk mengukur besaran arus pada magnet. Untuk mengetahui lebih lanjut tentang jenis-jenis dan prinsip kerja gauss meter pindai QR code berikut.

Pindai QR Code untuk Membaca Artikel Lengkap



### C. Medan Magnet Induksi

Induksi magnetik adalah kuat medan magnet akibat adanya arus listrik yang mengalir dalam konduktor. Adanya kuat medan magnet di sekitar konduktor berarus listrik diselidiki pertama kali oleh Hans Christian. Jika jarum kompas diletakkan sejajar dengan konduktor, maka konduktor itu akan dialiri arus listrik.

#### 1. Medan Magnet di Sekitar Kawat Lurus

Untuk mengetahui bentuk medan magnet di sekitar kawat lurus berarus dapat digunakan serbuk besi yang ketika arus dialirkannya pada kawat maka serbuk akan menunjukkan pola melingkar yang konsentris. Besar kuat medan magnet di sekitar penghantar lurus panjang dituliskan:

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

atau

$$B = k \frac{I}{r}$$

Keterangan:

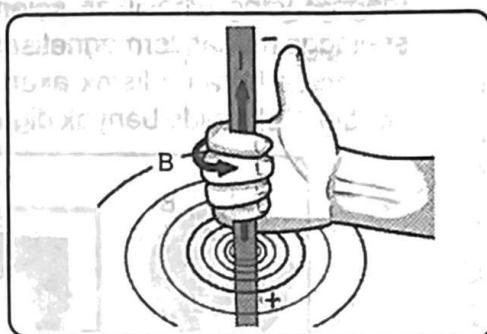
$B$  = kuat medan magnet (T)

$a$  = jarak titik ke kawat (m)

$k = 2 \times 10^{-7} \text{ N/A}^2$

$I$  = kuat arus (A)

Kompas yang menyimpang saat diletakkan dekat dengan kawat berarus listrik menunjukkan bahwa di sekitar kawat berarus listrik terdapat medan magnet, atau dikenal dengan medan magnet induksi. Arah medan magnet memenuhi aturan tangan kanan, yaitu arah ibu jari menyatakan arah arus dan arah jari yang melingkar menyatakan arah medan magnetnya. Jika arah medan digambarkan dalam dua dimensi, untuk kawat lurus panjang ke kanan, maka arah medan magnet bagian atas keluar bidang kertas (digambarkan dengan titik) dan arah medan magnet bagian bawah kawat masuk bidang kertas (digambarkan dengan silang).



Aturan tangan kanan medan magnet

#### 2. Kawat Melingkar Berarus Listrik

Jika arus listrik mengalir pada kawat melingkar, medan magnet yang timbul terlihat pada gambar di samping. Di pusat lingkaran, arah medan magnet ditunjukkan dengan arah jari tangan sedangkan ibu jari menunjukkan arah arus pada kawat. Untuk besar medan magnet  $N$  lilitan kawat berarus listrik di pusat lingkaran dengan jari-jari  $R$  adalah:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}$$

atau

$$B = N \frac{\mu_0 I}{2R}$$

Keterangan:

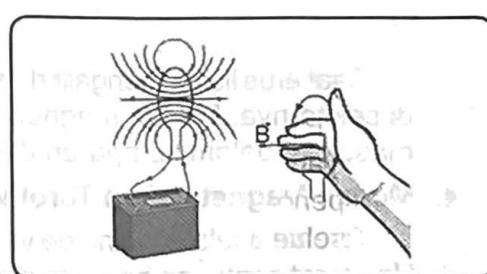
$B$  = kuat medan magnet (T)

$N$  = banyak lilitan

$\mu_0$  = permeabilitas vakum (ruang hampa)

$I$  = kuat arus (A)

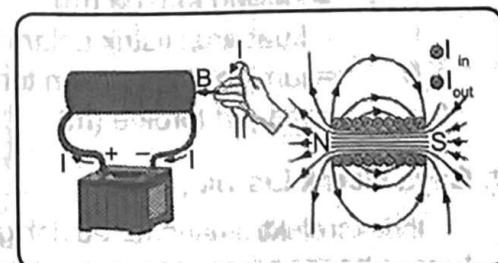
$R$  = jari-jari penghantar melingkar (m)



Arah medan magnet kawat melingkar

#### 3. Medan Magnet pada Solenoide

Solenoid adalah kumparan kawat yang terdiri atas banyak lilitan. Medan magnet dalam solenoid merupakan resultan magnet yang dihasilkan oleh setiap lilitan. Diameter kumparan solenoid lebih kecil dibandingkan dengan panjang kumparan, jarak antara lilitan yang satu dengan yang lainnya sangat rapat dan biasanya terdiri atas satu lapisan atau lebih. Medan magnet yang dihasilkan solenoid dapat dilihat pada gambar di samping.



Medan magnet pada solenoid

Besar kuat medan magnet di pusat solenoide adalah:

$$B = \frac{\mu_0 IN}{L}$$

sedangkan di ujung solenoide sebagai berikut.

$$B = \frac{1}{2} \frac{\mu_0 IN}{L}$$

Keterangan:

$B$  = induksi magnet pada solenoide ( $\text{Wb/m}^2$ )

$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa ( $\text{Wb/Am}$ )

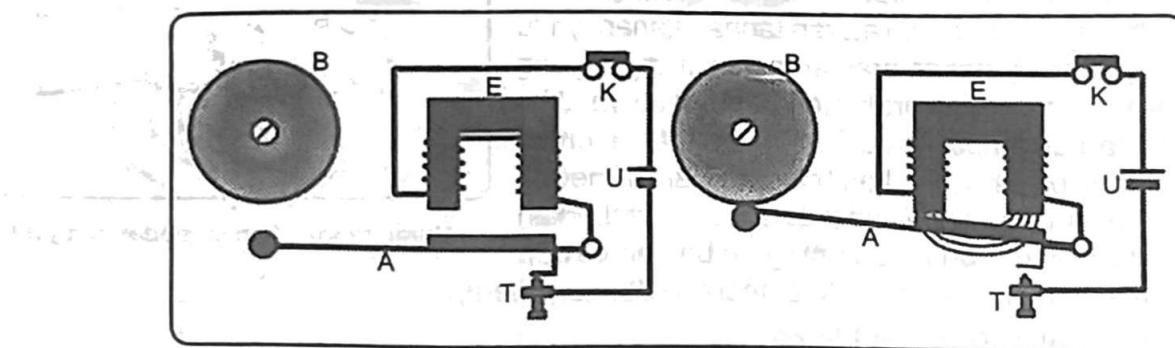
$I$  = kuat arus listrik dalam solenoide (A)

$N$  = jumlah lilitan dalam solenoide

$A$  = panjang solenoide yang bergantung letak titiknya (m)

$n$  = banyaknya lilitan per panjang kawat

Inti besi biasanya dimasukan ke dalam lilitan solenoide untuk meningkatkan medan magnet yang dihasilkan solenoide. Inti besi memiliki permeabilitas magnetik yang tinggi sehingga mudah termagnetisasi. Medan magnet yang dihasilkan inti besi saat berada dalam solenoide berarus listrik akan memperkuat medan magnet yang dihasilkan solenoide itu sendiri. Solenoide banyak digunakan pada produk teknologi. Salah satunya pada bel listrik.



Bel Listrik

Saat arus listrik mengalir dalam rangkaian solenoide bel listrik, medan magnet dibangkitkan di sekitarnya. Medan magnet ini menyebabkan gaya tarik pada batang besi, menarik besi masuk ke dalam kumparan dan memukul belnya.

#### 4. Medan Magnet dalam Toroide

Toroide adalah solenoide yang dilengkungkan sehingga sumbunya membentuk lingkaran. Untuk menentukan besar kuat medan magnet pada sumbu toroide dapat digunakan hukum ampere. Kuat medan magnet  $B$  di inti sebuah toroide dirumuskan:

$$B = \frac{\mu_0 IN}{2\pi a}$$

Keterangan:

$B$  = induksi magnet di pusat toroide ( $\text{Wb/m}^2$ )

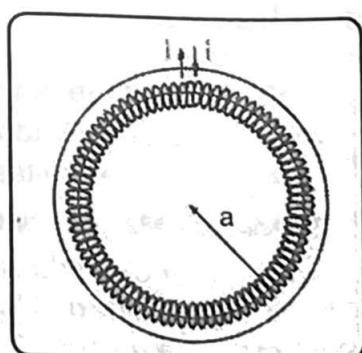
$\mu_0$  = permeabilitas ruang hampa ( $\text{Wb/Am}$ )

$2\pi a$  = keliling toroide (m)

$I$  = kuat arus listrik dalam toroide (A)

$N$  = jumlah lilitan dalam toroide

$a$  = jari-jari toroide (m)

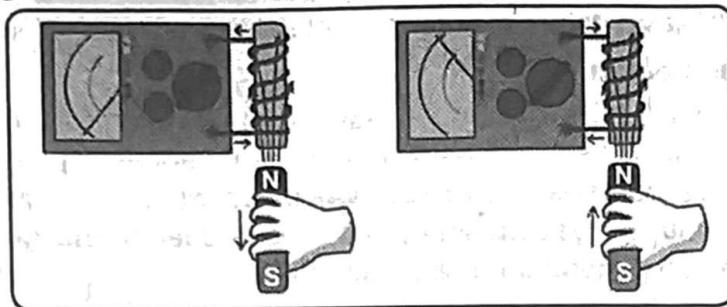


Toroide

#### D. Gaya Gerak Listrik (GGL)

Induksi elektromagnetik adalah gejala timbulnya listrik pada suatu pengantar yang disebabkan karena pengaruh medan magnet yang berubah-ubah. Gaya gerak listrik yang timbul pada ujung-ujung pengantar akibat perubahan medan magnet disebut gaya gerak listrik induksi (GGL induksi).

Sebuah magnet batang jika digerakkan ke dalam lilitan kumparan kawat yang dihubungkan dengan galvanometer, maka jarum galvanometer akan bergerak. Jarum galvanometer ini menunjukkan adanya arus listrik atau Gaya Gerak Listrik (GGL). GGL ini dihasilkan oleh perubahan fluks magnetik induksi dalam kumparan.



Arah GGL Induksi

Saat kutub utara magnet digerakkan mendekati kumparan, arah arus listrik berbeda dengan saat kutub utara magnet digerakkan menjauhi kumparan. Fenomena ini dijelaskan dengan hukum Faraday dan hukum Lenz. Sebelum memahami keduanya, pahami terlebih dulu mengenai fluks magnet.

### 1. Fluks Magnetik

Fluks magnetik adalah perubahan pada medan magnet. Fluks magnetik dihasilkan dari perkalian antara medan magnet ( $B$ ) dengan luas bidang ( $A$ ) yang saling tegak lurus. Secara matematis rumus fluks magnetik sebagai berikut.

$$\Phi = BA$$

Rumus tersebut digunakan pada fluks magnetik di mana medan magnetnya tegak lurus dengan luas bidangnya. Jika antara medan magnet dan luas bidangnya tidak tegak lurus, akan tetapi membentuk sudut, maka besar fluks magnetiknya dikalikan cosinus sudutnya.

$$\Phi = BA \cos \theta$$

Keterangan:

$\Phi$  = fluks magnetik (Wb)

$\theta$  = sudut antara arah induksi magnet  $B$  dengan arah garis normal

$B$  = induksi magnet ( $\text{Wb/m}^2$  atau T)

$A$  = luas bidang ( $\text{m}^2$ )

### 2. Hukum Faraday

Hasil percobaan yang dilakukan Faraday menghasilkan sebuah hukum yang berbunyi:

- Bila jumlah fluks magnetik yang memasuki suatu kumparan berubah, maka pada ujung-ujung kumparan timbul gaya gerak listrik induksi (GGL induksi).
- Besarnya gaya gerak listrik induksi bergantung pada laju perubahan fluks dan banyaknya lilitan. Secara matematis GGL yang dihasilkan dapat ditentukan dengan menggunakan rumus:

$$\varepsilon = -N \left( \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right)$$

Keterangan:  $\varepsilon$  = GGL induksi (volt)

$N$  = jumlah lilitan

$\frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$  = laju perubahan fluks magnetik

(tanda negatif menunjukkan arah induksi)

### 3. Hukum Lenz

Hukum Lenz berbunyi. "Arus induksi akan muncul di dalam arah yang sedemikian rupa sehingga arah induksi menentang perubahan yang dihasilkan". Dengan kata lain, arah arus induksi yang terjadi dalam suatu penghantar menimbulkan medan magnet yang menentang penyebab perubahan medan magnet tersebut.

Keterangan:

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

$\varepsilon$  = GGL induksi

$\ell$  = panjang kawat penghantar (m)

$$B = \text{induksi magnetik } (\text{Wb/m}^2)$$

$v$  = kecepatan kawat penghantar (m/s)

## E. Generator

Generator adalah alat untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator ada dua jenis, yaitu generator arus searah (DC) atau dinamo dan generator arus bolak-balik (AC) atau alternator. Generator bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, yaitu dengan memutar suatu kumparan dalam medan magnet sehingga timbul GGL induksi.

### 1. Generator Arus Searah (DC)

Selain arus bolak-balik, generator juga dapat membangkitkan arus searah atau DC (*direct current*). Prinsip kerjanya sama dengan generator AC dan bagian-bagian utamanya juga sama, hanya berbeda pada cincin luncurnya diganti oleh cincin belah (komutator) yang berfungsi untuk penyebarluas arus. Contoh penerapan prinsip generator pada alat, yaitu dinamo sepeda dan generator pembangkit listrik.

### 2. Generator Arus Bolak-Balik (AC)

Rotor yang berbentuk silinder dililitkan oleh kawat dan berada di dalam medan magnet yang dihasilkan oleh magnet tetap. Setiap ujung kawat dihubungkan ke sebuah cincin luncur yang terpisah. Setiap cincin berhubungan dengan sikat-sikat yang berfungsi sebagai penghubung ke rangkaian luar, misal lampu. Sumbu rotor dihubungkan dengan turbin yang digerakkan oleh air. Ketika rotor berputar, GGL muncul pada kumparan. Setiap setengah putaran, arus listrik pada kumparan berbalik arah dan arus seperti ini disebut arus bolak-balik atau AC (*alternating current*).

Pada kumparan timbul GGL dan arus listrik induksi yang besarnya setiap saat berubah-ubah, dari nol mencapai harga maksimum, sampai kembali menjadi nol. Keadaan itu terjadi jika kumparan berputar menempuh sudut  $180^\circ$ . GGL induksi yang dihasilkan berbentuk gelombang sinusoidal yang besarnya dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\varepsilon = NAB\omega \sin \omega t = \varepsilon_m \sin \omega t$$

Keterangan:

$\varepsilon$  = GGL induksi (volt)

B = medan magnetik (T)

N = jumlah lilitan

$\omega$  = kecepatan sudut kumparan (rad/s)

A = luas bidang kumparan ( $m^2$ )

t = waktu (s)

## F. Induktansi dan Transformator

Induktansi adalah sifat dari rangkaian yang menyebabkan timbulnya potensial listrik secara proporsional terhadap arus yang mengalir pada rangkaian tersebut.

### 1. Induktansi

#### a. Induktansi diri

GGL induktansi diri besarnya tergantung pada kecepatan perubahan arus listrik yang terjadi, arah arus induksi yang terjadi sedemikian rupa akan menimbulkan medan magnet yang berlawanan dengan medan magnet yang menyebabkan timbulnya perubahan fluks magnetik. Besarnya induktansi diri dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$\varepsilon = -L \frac{di}{dt} \quad \text{atau} \quad \varepsilon = -L \frac{\Delta i}{\Delta t} = -L \left( \frac{i_2 - i_1}{t_2 - t_1} \right)$$

Keterangan:

L = induktansi diri (henry atau H)

$\frac{di}{dt}$  = laju perubahan arus listrik (A/s)

#### b. Induktansi Kumparan

Besarnya induktansi pada kumparan dapat dinyatakan melalui persamaan:

$$L = \frac{N\Phi}{I}$$

Keterangan:

L = induktansi diri (henry atau H)  $\Phi$  = fluks magnetik (Wb)

N = jumlah lilitan

I = kuat arus listrik (A)

### c. Induktansi Solenoide

Besarnya induktansi diri pada solenoide dapat dinyatakan dengan persamaan:

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

Keterangan:

$L$  = induksi diri (henry atau H)

$N$  = jumlah lilitan

$A$  = luas penampang solenoide ( $m^2$ )

$l$  = panjang solenoide (m)

### d. Induktansi Silang

GGL yang timbul pada kumparan primer dan sekunder disebut induksi silang. Secara matematis, besarnya induktansi silang dapat ditentukan menggunakan persamaan berikut.

$$M = \frac{\mu_0 N_1 N_2 A}{l}$$

Keterangan:

$N_1$  = jumlah lilitan kumparan pertama

$N_2$  = jumlah lilitan kumparan kedua

$A$  = luas penampang solenoide ( $m^2$ )

$l$  = panjang solenoide (m)

### e. Energi yang Tersimpan dalam Induktor

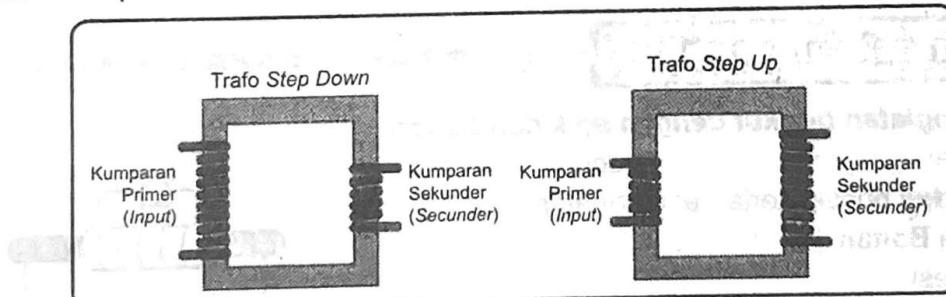
Induktor berfungsi untuk menyimpan energi yang berbentuk medan magnet. Energi yang tersimpan di dalam induktor sebagai berikut.

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

$W$  = energi yang tersimpan di dalam induktor (J)

## 2. Transformator

Transformator (trafo) adalah alat yang digunakan untuk menaikkan dan menurunkan tegangan AC. Trafo terdiri atas dua buah kumparan, yaitu kumparan primer (*input*) dan kumparan sekunder (*output*) dengan inti besi di dalamnya. Letak kumparan primer dan sekunder sedemikian sehingga perubahan fluks magnetik pada kumparan primer dapat melintasi kumparan sekunder.



Jenis-jenis transformator

Trafo yang dapat menaikkan tegangan disebut trafo step-up dan trafo yang dapat menurunkan tegangan disebut trafo step-down.

#### a. Prinsip Kerja Transformator

Ketika kumparan primer dihubungkan dengan sumber tegangan bolak-balik, arus listrik bolak-balik mengalir melalui kumparan primer. Oleh karena arus bolak-balik berubah secara sinusoidal, fluks magnetik yang dihasilkannya juga berubah secara sinusoidal. Fluks magnetik tersebut menginduksi kumparan sekunder sehingga pada kumparan sekunder timbul tegangan atau arus yang juga berubah secara sinusoidal. Besarnya perbandingan tegangan *input* dan tegangan *output* sebagai berikut.

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

Keterangan:

$N_p$  = jumlah lilitan kumparan primer

$N_s$  = jumlah lilitan kumparan sekunder

$i_s$  = arus sekunder

$i_p$  = arus primer

$V_p$  = tegangan primer

$V_s$  = tegangan sekunder

### b. Efisiensi Transformator

Ketika trafo bekerja, energi atau daya dari kumparan primer dipindahkan ke kumparan sekunder. Akan tetapi tidak semua daya dari kumparan primer dipindahkan ke kumparan sekunder karena selalu ada energi yang hilang atau berubah bentuk menjadi energi lain, misalnya panas. Oleh karena itu, daya pada kumparan sekunder selalu lebih kecil daripada daya pada kumparan primer. Perbandingan antara daya pada kumparan primer ( $P_p$ ) dan daya kumparan sekunder ( $P_s$ ) disebut efisiensi transformator. Secara matematis dinyatakan oleh persamaan:

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \times 100\%$$

Keterangan:

$\eta$  = efisiensi transformator ( $0 < \eta < 1$ )

$P_p$  = daya input (watt)

$P_s$  = daya output (watt)

### Aktivitas Mandiri

Lakukan kegiatan berikut dengan baik dan benar!

#### A. Tujuan

Mengetahui arah medan magnet.

#### B. Langkah-Langkah Percobaan

- Siapkan alat dan bahan yang diperlukan dalam kegiatan, yaitu berupa kertas HVS, magnet kotak, dan serbuk besi.
- Letakkan magnet di atas kertas HVS kemudian taburi serbuk besi dan amati apa yang terjadi serta jangan lupa didokumentasikan.
- Buatlah kesimpulan dari hasil kegiatan tersebut.

### Aktivitas Kelompok

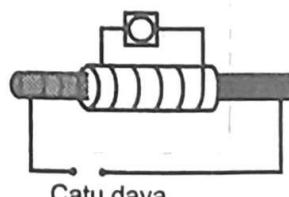
Lakukan kegiatan berikut dengan baik dan benar!

#### A. Tujuan

Mengetahui prinsip kerja transformator.

#### B. Alat dan Bahan

- Inti besi
- Voltmeter
- Kertas
- Penghantar
- Catu daya



#### C. Cara Kerja

- Melilitkan penghantar pada inti besi.
- Menutup lilitan pada inti besi dengan kertas.
- Melilitkan penghantar pada gulungan kertas dan menghubungkan lilitan pada voltmeter seperti gambar.
- Menghubungkan rangkaian alat tersebut pada catu daya.
- Mengamati jarum pada voltmeter.

#### D. Pertanyaan

- Bagaimanakah keadaan pada jarum penunjuk voltmeter? Mengapa demikian?
- Buatlah kesimpulan dari percobaan tersebut.

## Materi Pembelajaran

### A. Persamaan Arus Bolak-Balik

Arus bolak-balik adalah arus listrik yang berbalik arah dengan frekuensi tetap sehingga disebut arus AC (*alternating current*). Pada listrik arus bolak-balik, GGL serta arusnya mempunyai lebih dari satu arah atau arahnya berubah sebagai fungsi waktu. Sumber arus bolak-balik adalah generator arus bolak-balik. Generator arus bolak-balik terdiri atas sebuah kumpuran persegi yang diputar dalam medan magnet.

#### 1. Arus dan Tegangan Listrik Bolak-Balik (AC)

Arus dan tegangan bolak-balik (*alternating current*) adalah arus dan tegangan yang besar dan arahnya berubah-ubah secara periodik. Besarnya arus dan tegangan dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$V = V_m \sin \omega t$$

dan

$$I = I_m \sin (\omega t + \theta)$$

Keterangan:

$V$  = tegangan sesaat (V)

$I$  = arus sesaat (I)

$V_m$  = tegangan maksimum ( $V_m$ )

$I_m$  = arus maksimum ( $I_m$ )

$\omega$  =  $2\pi f$  = kecepatan sudut (rad/s)

$f$  = frekuensi (Hz)

$t$  = waktu (s)

$\theta$  = sudut fase (radian atau derajat)

#### Profil Pelajar Pancasila

Beriman, Bertakwa kepada Tuhan YME, dan Berakhhlak Mulia

Meningkatkan keyakinan terhadap kebesaran Tuhan Yang Maha Esa berdasarkan keberadaan, keindahan, dan keteraturan alam ciptaan-Nya dengan mengembangkan rasa ingin tahu dan tanggung jawab untuk memahami tentang rangkaian bolak-balik.

#### 2. Nilai Efektif Arus dan Tegangan

Nilai efektif arus dan tegangan bolak-balik adalah nilai arus dan tegangan yang setara dengan nilai arus dan tegangan searah akan menghasilkan efek kalor yang sama. Apabila tegangan dan kuat arus diukur dengan alat-alat ukur listrik AC, nilai yang ditunjukkan merupakan nilai efektifnya.

Hubungan antara nilai efektif dan nilai maksimum dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$V_{\text{eff}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}}$$

$$V_{\text{eff}} = 0,707 \cdot V_m$$

$$I_{\text{eff}} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}$$

$$I_{\text{eff}} = 0,707 \cdot I_m$$

Keterangan:

$V_{\text{eff}}$  = nilai tegangan maksimum (volt)

$I_{\text{eff}}$  = nilai arus listrik maksimum (A)

#### 3. Nilai Rata-Rata Arus dan Tegangan Bolak-Balik

Nilai rata-rata arus dan tegangan bolak-balik, yaitu nilai arus dan tegangan yang setara dengan arus searah untuk memindahkan sejumlah muatan listrik yang sama dalam waktu yang sama pada sebuah penghantar yang sama. Hubungan antara nilai arus dan tegangan bolak-balik dengan nilai arus dan tegangan maksimumnya dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$I_r = \frac{2I_m}{\pi} \quad V_r = \frac{2V_m}{\pi}$$

Keterangan:

$V_r$  = tegangan rata-rata (V)

$I_m$  = kuat arus maksimum (A)

$V_m$  = tegangan maksimum (V)

$I_r$  = kuat arus rata-rata (A)

#### 4. Daya pada Rangkaian Arus Bolak-Balik

##### a. Daya Sesaat ( $P$ )

Daya sesaat pada sebuah rangkaian seperti yang terlihat pada rangkaian seri RLC. Beberapa rumus yang sudah dioperasikan diperoleh persamaan sebagai berikut.

$$P = V_{\text{rms}} \cdot I_{\text{rms}} \cos \varphi$$

Dengan  $\cos \varphi$  menyatakan faktor daya sehingga persamaan di atas menjadi:

$$P = V_{\text{rms}} \cdot I_{\text{rms}}$$

##### b. Daya Rata-Rata ( $\bar{P}$ )

Daya rata-rata diperoleh dengan memasukkan nilai rata-rata  $\sin^2 \omega t = \frac{1}{2}$  dan nilai rata-rata  $\sin 2\omega t = 0$ . Sehingga didapatkan nilai matematisnya sebagai berikut.

$$\bar{P} = \frac{1}{2}(V_{\text{eff}} \sqrt{2})(I_{\text{eff}} \sqrt{2}) \cos \varphi = V_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}}$$

Besaran  $\cos \varphi$  adalah faktor daya. Faktor daya rangkaian arus bolak-balik ditentukan dari diagram fasor segitiga impedansi atau dari diagram fasor segitiga tegangan. Secara matematis dituliskan sebagai berikut.

$$P = V_{\text{eff}} \cdot I_{\text{eff}} \cos \varphi = I \cdot Z \cos \varphi$$

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

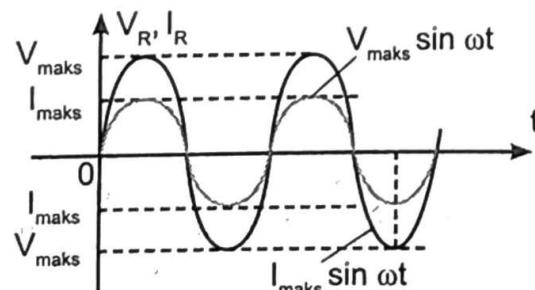
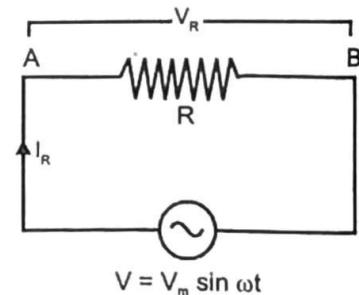
#### B. Karakteristik Rangkaian Arus Bolak-Balik

Pada bagian ini kita akan membahas tentang perilaku resistor, induktor, kapasitor, dan kombinasi ketiga elemen tersebut jika dipasang pada rangkaian arus bolak-balik.

##### 1. Karakteristik Komponen R, L, dan C Murni

###### a. Karakteristik Resistor (R) Murni

Resistor pada arus bolak-balik berfungsi sebagai pembatas arus listrik yang masuk atau menurunkan potensial listrik dalam rangkaian. Sehingga antara arus dan tegangan pada hambatan dengan arus dan tegangan pada sumber tidak mengalami perubahan fase. Tegangan dan arus memiliki sudut fase yang sama. Artinya arus dan tegangan pada hambatan sefase dan digambarkan sebagai berikut.



Grafik arus dan tegangan sebagai fungsi waktu

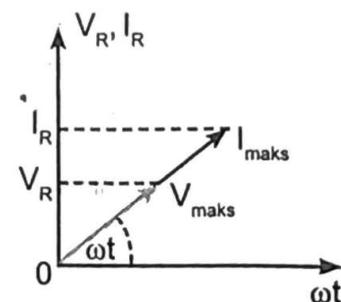


Diagram fasor rangkaian resistor murni

Tegangan pada resistor sama dengan tegangan sumber dirumuskan sebagai berikut.

$$V_r = V_m \sin \omega t$$

Sesuai dengan hukum Ohm, arus yang mengalir melalui resistor sebagai berikut.

$$I_R = \frac{V_R}{R} = \frac{V_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t$$

Dengan demikian akan berlaku juga hubungan sebagai berikut.

$$I_m = \frac{V_m}{R} \text{ atau } V_m = I_m R$$

$$I_{\text{ef}} = \frac{V_{\text{ef}}}{R} \text{ atau } V_{\text{ef}} = I_{\text{ef}} R$$

Resistor tidak mengubah fase tegangan atau arus sehingga tegangan dan arus sefase. Beda fase arus dan tegangannya adalah nol ( $\Delta\theta = 0$ ).

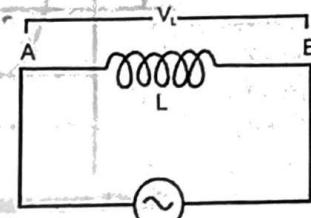
### b. Karakteristik Induktor (L) Murni

Ketika induktor dialiri arus AC akan timbul hambatan yang dinamakan reaktansi induktif. Arus pada rangkaian ini memiliki beda fase dengan tegangannya. Tegangan pada induktor sama dengan tegangan sumber, maka berlaku:

$$I_L = \frac{V_{\text{maks}}}{\omega \cdot L} \sin\left(\omega \cdot t - \frac{\pi}{2}\right)$$

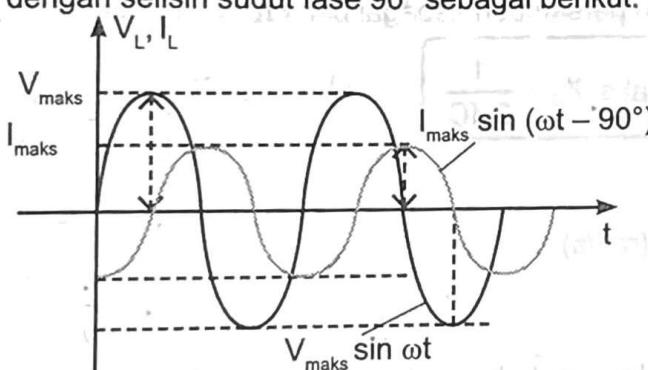
$$\text{Jika } \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) = \pm 1, \text{ maka } \frac{V_{\text{maks}}}{\omega \cdot L} = I_{\text{maks}}$$

$$I_L = I_{\text{maks}} \sin\left(\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \text{ atau } I_L = I_{\text{maks}} \sin(\omega t - 90^\circ)$$



$$V = V_m \sin \omega t$$

Berdasarkan persamaan arus yang mengalir pada induktor, terlihat selisih sudut fase sebesar  $90^\circ$  di mana digambarkan pada grafik, bahwa tegangan (V) mendahului arus dengan selisih sudut fase  $90^\circ$  sebagai berikut.



Grafik arus dan tegangan sebagai fungsi waktu

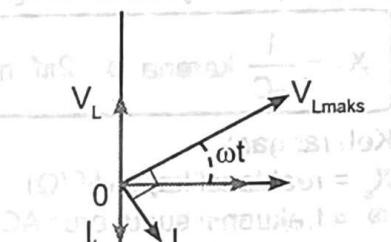


Diagram fasor rangkaian  
Induktor murni

Reaktansi induktif merupakan perbandingan tegangan dan arus pada induktor yang dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$X_L = \omega L = 2\pi f L$$

Keterangan:

$X_L$  = reaktansi induktif ( $\Omega$ )

$L$  = induktansi diri (Henry)

$\omega$  = frekuensi sudut arus AC (rad/s)

$f$  = frekuensi arus AC (Hz)

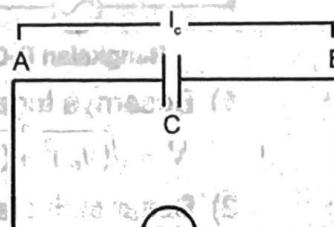
Dengan demikian, maka berlaku juga hubungan sebagai berikut.

$$I_m = \frac{V_m}{X_L} \text{ atau } X_L = \frac{V_m}{I_m}$$

$$I_{\text{ef}} = \frac{V_{\text{ef}}}{X_L} \text{ atau } X_L = \frac{V_{\text{ef}}}{I_{\text{ef}}}$$

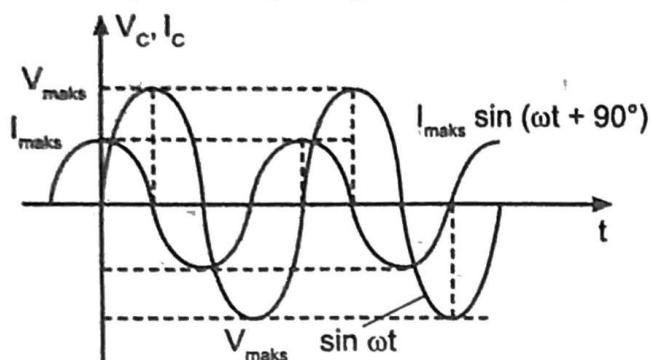
### c. Karakteristik Kapasitor (C) Murni

Rangkaian kapasitor dalam arus AC ditunjukkan pada gambar di samping. Dalam suatu rangkaian AC terdiri atas kapasitor yang mempunyai sifat bahwa antara tegangan dan arus memiliki beda fase, di mana arus mendahului tegangan dengan beda fase sebesar  $90^\circ$ .



$$V = V_m \sin \omega t$$

Grafik tegangan dan arus sebagai fungsi waktu serta diagram fasor rangkaian kapasitor murni dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Grafik arus dan tegangan sebagai fungsi waktu

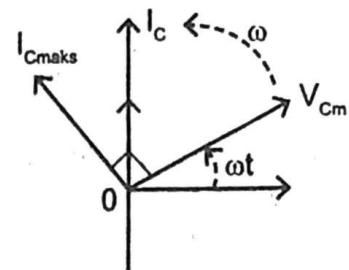


Diagram fasor rangkaian kapasitor murni

Besarnya kuat arus listrik yang mengalir dalam kapasitor dapat dinyatakan dengan laju perpindahan muatan listrik pada keping kapasitor tersebut yang dapat ditentukan dengan rumus sebagai berikut.

$$I_c = \omega C$$

Apabila kapasitor dialiri arus akan timbul hambatan yang dinamakan reaktansi kapasitif ( $X_c$ ). Reaktansi kapasitif merupakan perbandingan tegangan dan arus pada kapasitor yang dapat dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut.

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \text{ karena } \omega = 2\pi f \text{ maka } X_c = \frac{1}{2\pi f C}$$

Keterangan:

$X_c$  = reaktansi kapasitif ( $\Omega$ )

$\omega$  = frekuensi sudut arus AC (rad/s)

$f$  = frekuensi arus AC (Hz)

$C$  = kapasitas kapasitor (F)

Dengan demikian, maka berlaku juga hubungan persetuan sebagai berikut.

$$I_m = \frac{V_m}{X_c} \text{ atau } X_c = \frac{V_m}{I_m}$$

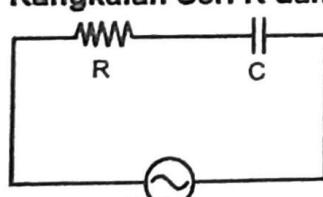
$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{X_c} \text{ atau } X_c = \frac{V_{ef}}{I_{ef}}$$

$X_c$  = hambatan pada kapasitor

$Z$  = impedansi rangkaian ( $\Omega$ ) atau reaktansi kapasitif ( $\Omega$ )

## 2. Rangkaian Komponen R, L, dan C

### a. Rangkaian Seri R dan C



Rangkaian R-C

- 1) Besarnya tegangan total pada rangkaian:

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

- 2) Besar sudut fase V terhadap I:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{V_c}{V_R} \text{ atau } \operatorname{tg} \theta = \frac{X_c}{R}$$

### Pendidikan Antikerupsi

Masalah yang terjadi dalam suatu kelompok bukanlah masalah dari salah satu pihak, melainkan masalah semua orang yang ada dalam kelompok tersebut. Oleh karena itu, jangan pernah melempar kesalahan kepada orang lain karena termasuk sikap pengecut.

### 3) Impedansi rangkaian R-C:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

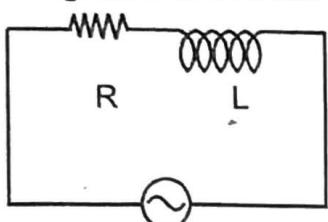
Keterangan:

$V$  = tegangan total (volt)

$V_R$  = tegangan pada resistor (volt)

$V_C$  = tegangan pada kapasitor (volt)

### b. Rangkaian seri R dan L



- 1) Tegangan total pada rangkaian R-L adalah:

$$V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$$

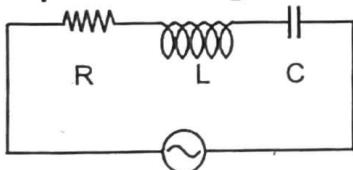
- 2) Besarnya fase (sudut pergeseran fase):

$$\tan \theta = \frac{X_L}{R}$$

- 3) Impedansi rangkaian R-L:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \text{ atau } Z = \sqrt{R^2 + (2\pi f L)^2}$$

### c. Impedansi Rangkaian Seri R-L-C



Besarnya tegangan jepit pada rangkaian seri RLC dapat dicari dengan menjumlahkan fasor dari  $V_R$ ,  $V_L$ , dan  $V_C$  menjadi:

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

Berdasarkan hukum Ohm dapat ditentukan besar tegangan tiap-tiap elemen.

$$V_R = I \cdot R, V_L = I \cdot X_L, V_C = I \cdot X_C$$

- 1) Besar sudut pergeseran fase

$$\tan \theta = \frac{V_L - V_C}{V_R} \text{ atau } \tan \theta = \frac{X_L - X_C}{R}$$

- 2) Besarnya impedansi atau hambatan total

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

Keterangan:

$Z$  = impedansi rangkaian ( $\Omega$ )

$R$  = hambatan ( $\Omega$ )

$X_L$  = reaktansi induktif ( $\Omega$ )

$X_C$  = reaktansi kapasitif ( $\Omega$ )

### C. Resonansi Rangkaian

Sifat suatu rangkaian seri RLC bergantung pada besar kendala yang dihasilkan oleh induktor dan kapasitor. Jika suatu rangkaian mempunyai reaktansi induktif yang lebih besar maka sifatnya tidak akan sama dengan rangkaian yang mempunyai reaktansi kapasitif lebih besar.

### Sekilas Info

Suatu diagram fasor adalah sebuah vektor yang panjangnya sama dengan nilai maksimum dari suatu variabel dan berotasi berlawanan arah jarum jam pada kelajuan sudut yang sama dengan frekuensi sudut yang bersesuaian dengan variabelnya. Proyeksi dari fasor pada sumbu vertikal menunjukkan nilai sesaat dari besaran yang direpresentasikan. Proyeksi dari panah-panah fasor pada sumbu vertikal ditentukan oleh sebuah fungsi sinus dari sudut fasor terhadap sumbu horizontal.

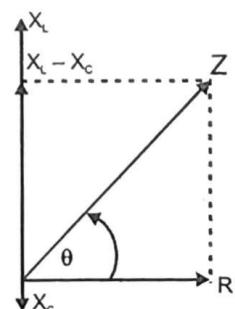
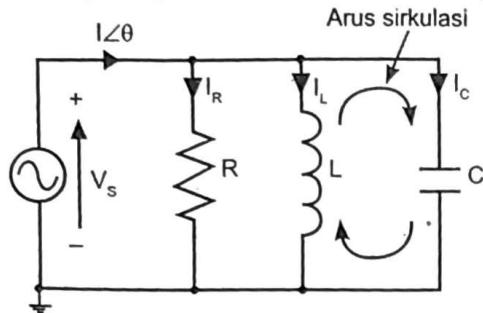


Diagram fasor impedansi

Terdapat tiga keadaan yang menunjukkan sifat pada suatu rangkaian seri RLC, yaitu:



1. Jika  $X_L > X_C$ 
  - a. rangkaian bersifat induktif
  - b. V melampaui I sebesar  $\theta$
2. Jika  $X_L < X_C$ 
  - a. rangkaian bersifat konduktif
  - b. I melampaui V sebesar  $\theta$
3. Jika  $X_L = X_C$ 
  - a. rangkaian bersifat resistif
  - b. V dan I sefase

Resonansi pada rangkaian seri RLC terjadi jika memenuhi syarat berikut ini.

1. Reaktansi induktif dan reaktansi kapasitif sama besar ( $X_L = X_C$ ).
2. Impedansi = kendala resistor ( $Z = R$ ).
3. Sudut fase =  $\theta = 0$ .

Frekuensi resonansi pada rangkaian seri RLC dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

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

Keterangan:

$f_t$  = frekuensi resonansi (Hz)

L = induktansi induktor (H)

C = kapasitansi kapasitor (F)

### Aktivitas Mandiri

#### Kerjakan sesuai perintahnya!

1. Bacalah permasalahan di bawah ini dengan teliti.  
Bagaimana proses perubahan daya yang terjadi pada rangkaian arus bolak-balik pada resistor, kapasitor, dan induktor? Perubahan energi apa saja yang menyertainya?
2. Bertanyalah kepada guru jika Anda belum memahami permasalahan di atas.
3. Carilah berbagai materi yang dapat membantu Anda menyelesaikan permasalahan tersebut.
4. Diskusikan bersama teman sebangku Anda secara komunikatif. Carilah penyelesaiannya dengan analitis.
5. Komunikasikan hasil diskusi di depan kelas.

### Aktivitas Kelompok

#### Lakukan kegiatan berikut dengan baik dan benar!

##### A. Tujuan

Menentukan induktansi kumparan saat dihubungkan dengan tegangan AC.

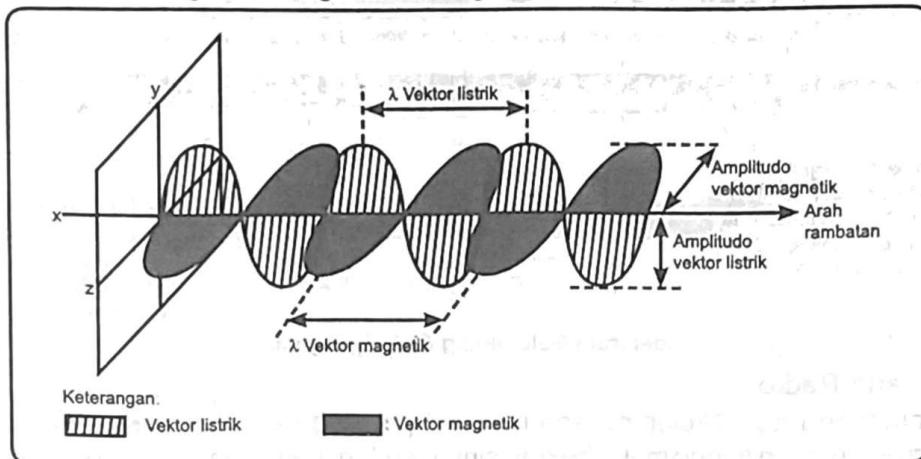
##### B. Alat dan Bahan

1. Resistor 100Ω
2. Kapasitor 10 μF
3. Kumparan 1.200 lilitan/kumparan 600 lilitan
4. Inti besi
5. Papan rangkaian
6. Catu daya
7. Multimeter

## Materi Pembelajaran

### A. Pengertian Gelombang Elektromagnetik

Teori gelombang elektromagnetik pertama kali dikemukakan oleh James Clark Maxwell (1831–1879) pada tahun 1865 dengan hipotesisnya bahwa “*Perubahan medan magnet dapat menimbulkan medan listrik, sebaliknya perubahan medan listrik dapat menimbulkan perubahan medan magnet.*” Hipotesis ini merupakan penggabungan teori kelistrikan dan kemagnetan yang dikemukakan oleh Hans Christian Oersted (1777–1851), Michael Faraday (1791–1867), dan André-Marie Ampère (1775–1836). Medan listrik dihasilkan dari sebuah muatan listrik sedangkan medan magnet dihasilkan oleh perubahan medan listrik, sehingga ketika muatan berosilasi dihasilkan perubahan medan listrik dan medan magnet. Jika proses ini berulang secara terus-menerus, maka medan listrik dan medan magnet yang arahnya tegak lurus akan merambat membentuk gelombang elektromagnetik.



Perambatan gelombang elektromagnetik

Besar medan listrik dan medan magnet yang dihasilkan dipengaruhi oleh besar arus listrik dari sumber tegangan, demikian juga arahnya dipengaruhi oleh arah arus pada kawat tersebut. Jika tiang pemancar diberi arus bolak-balik dengan persamaan sinusoidal, maka besar medan listrik dan medan magnet juga berupa fungsi sinusoidal.

Besar medan listrik ditentukan oleh besar muatan. Oleh karena itu, saat tiang pemancar mengalami perubahan listrik maka medan listriknya akan mengalami perubahan. Perubahan arus listrik ini menghasilkan medan magnet. Besar medan magnet ditentukan oleh besar dan arah arus listrik sehingga ketika ada perubahan arus, medan magnet juga mengalami perubahan.

Arah medan magnet selalu tegak lurus dengan arah medan listrik yang dihasilkan dan arah keduanya selalu tegak lurus dengan arah perambatan gelombangnya. Bentuk sederhana persamaan medan listrik ( $E$ ) dan medan magnet ( $B$ ) dari gelombang elektromagnetik dapat dinyatakan menggunakan fungsi sinusoidal (sinus atau cosinus) seperti berikut.

$$E = E_{\text{maks}} \sin(\omega t \pm kx)$$

$$B = B_{\text{maks}} \sin(\omega t \pm kx)$$

Dengan  $E_{\text{maks}}$  adalah medan listrik maksimum dan  $B_{\text{maks}}$  adalah medan magnet maksimum sedangkan  $\omega$  adalah frekuensi sudut osilasi dari sumber gelombang. Laju gelombang elektromagnetik di ruang hampa, Maxwell menentukannya secara teori dengan persamaan:

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

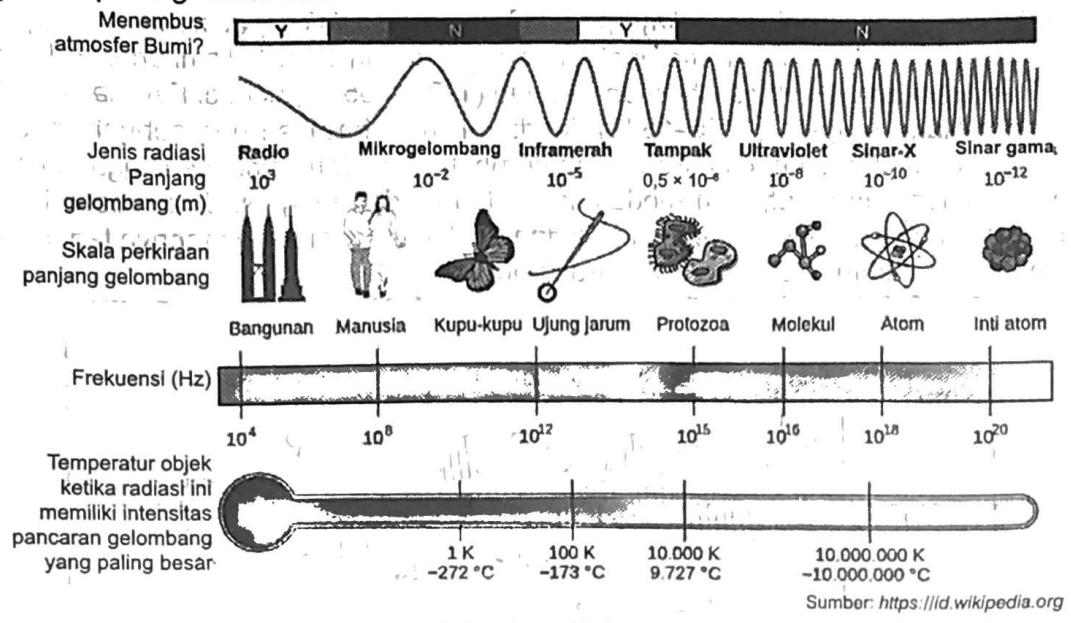
Keterangan:

$\epsilon_0$  = permitivitas listrik di ruang hampa ( $8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$ )

$\mu_0$  = permeabilitas magnetik di ruang hampa ( $4\pi \times 10^{-7} \text{ Ns}^2/\text{C}^2$ )

## B. Spektrum Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik dikelompokkan sesuai dengan panjang gelombang atau frekuensinya. Gelombang elektromagnetik merupakan energi atau radiasi yang tidak terlihat dan diproduksi oleh benda-benda elektronik, seperti handphone, komputer, dan sebagainya. Pengelompokan gelombang elektromagnetik disebut dengan spektrum elektromagnetik yang ditunjukkan pada gambar berikut.



Sumber: <https://id.wikipedia.org>

Spektrum Gelombang Elektromagnetik

### 1. Gelombang Radio

Gelombang radio dikelompokkan menurut panjang gelombang atau frekuensinya. Jika panjang gelombang tinggi, maka frekuensinya rendah atau sebaliknya. Frekuensi gelombang radio mulai dari 30 kHz ke atas dan dikelompokkan berdasarkan lebar frekuensinya. Gelombang radio ini dipancarkan dari antena dan diterima oleh antena pula.

### 2. Gelombang Mikro

Gelombang mikro (*microwave*) adalah gelombang radio dengan frekuensi paling tinggi, yaitu di atas 3 GHz. Jika gelombang mikro diserap oleh sebuah benda, maka akan muncul efek pemanasan pada benda itu.

### 3. Sinar Inframerah

Sinar inframerah meliputi daerah frekuensi  $10^{11}$  Hz sampai  $10^{14}$  Hz atau daerah panjang gelombang  $10^{-4}$  cm sampai  $10^{-1}$  cm. Sinar yang tidak dilihat tetapi dapat dideteksi di atas spektrum merah itu disebut radiasi inframerah.

### 4. Sinar Tampak

Cahaya tampak didefinisikan sebagai bagian dari spektrum gelombang elektromagnetik yang dapat dideteksi oleh mata manusia. Panjang gelombang sinar tampak bervariasi tergantung warnanya mulai dari panjang gelombang sekitar  $4 \times 10^{-7}$  m untuk cahaya violet sampai  $7 \times 10^{-7}$  m untuk cahaya merah.

### 5. Sinar Ultaviolet

Sinar ultraviolet mempunyai frekuensi dalam daerah  $10^{15}$  Hz sampai  $10^{16}$  Hz atau dalam daerah panjang gelombang  $10^{-8}$  m sampai  $10^{-7}$  m. Gelombang ini dihasilkan oleh atom dan molekul dalam nyala listrik.

### 6. Sinar-X

Sinar-X mempunyai frekuensi antara  $10^{16}$  sampai  $10^{20}$  Hz. Panjang gelombangnya sangat pendek, yaitu  $10^{-12}$  sampai  $10^{-10}$  m. Sinar-X mempunyai daya tembus yang kuat.

### 7. Sinar Gama

Sinar gama dihasilkan dari peristiwa peluruhan inti radioaktif. Inti atom unsur yang tidak stabil meluruh menjadi inti atom unsur lain yang stabil dengan memancarkan sinar radioaktif.

### C. Energi Gelombang Elektromagnetik

Gelombang elektromagnetik sama seperti gelombang lainnya, merambat dengan membawa energi. Energinya dibawa oleh medan listrik dan medan magnet yang biasa dinyatakan dalam rapat energi. Rapat energi adalah besar energi tiap satuan volume ruang di mana energi merambat. Total rapat energi gelombang elektromagnetik besarnya dapat dinyatakan dengan persamaan berikut.

$$u = \frac{\text{energi}}{\text{volume}} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

Keterangan:

$u$  = rapat energi (joule/m<sup>3</sup>)

$E$  = kuat medan listrik (N/C)

$B$  = kuat medan magnet (tesla).

Gelombang elektromagnetik saat merambat di udara atau ruang hampa, medan listrik dan medan magnetnya membawa sejumlah energi yang sama tiap satuan volumenya.

$$\frac{1}{2} \epsilon_0 E^2 = \frac{1}{2\mu_0} B^2$$

Sehingga, persamaan rapat energi dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$u = \epsilon_0 E^2$$

atau

$$u = \frac{1}{\mu_0} B^2$$

Pada keadaan maksimum, hubungan antara medan listrik dan medan magnet dapat dinyatakan:

$$\frac{E_o^2}{B_o^2} = \frac{1}{\epsilon_0 \mu_0}$$

Untuk gelombang elektromagnetik yang merambat di udara atau ruang hampa, hubungan medan listrik maksimum dan medan magnet maksimum dapat dinyatakan sebagai berikut.

$$\frac{E_o}{B_o} = c$$

Keterangan:

$E_o$  = medan listrik maksimum (N/C)

$B_o$  = medan magnet maksimum (tesla)

$c$  = laju gelombang elektromagnetik (m/s)

Energi yang melewati tiap satuan luas tiap satuan waktu atau intensitasnya dinyatakan dengan persamaan:

$$s = \frac{\text{total energi}}{\text{waktu} \cdot \text{luas}} = \frac{\text{rapat energi} \cdot \text{volume}}{\text{waktu} \cdot \text{luas}} = \frac{u(c \cdot t \cdot A)}{t \cdot A} = u \cdot c$$

$$s = \frac{1}{2} c \epsilon_0 E^2 + \frac{1}{2\mu_0} c$$

Intensitas gelombang elektromagnetik dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$s = c \epsilon_0 E^2 = \frac{c}{\mu_0} B^2 = \frac{EB}{\mu_0}$$

Keterangan:

$s$  = intensitas gelombang elektromagnetik (watt/m<sup>2</sup>)

Medan listrik dan medan magnet pada gelombang elektromagnetik berupa fungsi sinusoidal, maka persamaan di atas berlaku untuk kondisi sesaat. Untuk mendapatkan nilai efektifnya, dapat menggunakan analogi dengan persamaan arus bolak-balik.

#### Sekilas Info

NASA menampilkan foto yang memperlihatkan di bagian kanan Pluto ada gumpalan berwarna biru yang tak lain adalah cahaya sinar-X. Fakta bahwa Pluto dapat memancarkan sinar-X sangat mengejutkan karena batuan yang dingin seperti Pluto seharusnya tidak bisa menghasilkan sinar-X. Menurut para ilmuwan, sinar-X yang terbentuk dari Pluto ini berkaitan dengan matahari. Matahari tidak hanya memberikan cahaya dan panas, tetapi juga aliran partikel yang mengalir dari matahari. Ketika partikel-partikel dari matahari bertemu dengan atmosfer Pluto, terbentuklah sinar-X.

Medan listrik efektif (*root mean square*), yaitu:

$$E_{\text{ef}} = \frac{E_0}{1,41} \text{ atau } E_{\text{ef}} = \frac{E_0}{\sqrt{2}}$$

Sedangkan medan magnet efektif (*root mean square*), yaitu:

$$B_{\text{ef}} = \frac{B_0}{1,41} \text{ atau } B_{\text{ef}} = \frac{B_0}{\sqrt{2}}$$

Persamaan intensitas gelombang rata-ratanya sebagai berikut.

$$\vec{s} = \frac{1}{2} \epsilon_0 E_0^2 = \frac{1}{2\mu_0} c B_0^2 = \frac{\epsilon_0 B_0}{2\mu_0}$$

atau

$$\vec{s} = \frac{E_{\text{ef}} B_{\text{ef}}}{\mu_0}$$

### Profil Pelajar Pancasila

#### Gotong Royong

Tunjukkan sikap sebagai pelajar Indonesia yang mau dan mampu bekerja sama dengan orang lain agar kegiatan yang dikerjakan berjalan dengan lancar.

## D. Pemanfaatan Gelombang Elektromagnetik

### 1. Gelombang Radio

Alat yang memanfaatkan gelombang radio antara lain radiofon, telepon genggam, pesawat radio, dan pesawat televisi.

#### a. Radiofon

Radiofon adalah telepon yang tidak menggunakan kabel. Alat ini memanfaatkan satelit komunikasi. Telepon jenis ini sering mengalami gangguan jika cuaca tidak baik.

#### b. Telepon Genggam

Telepon memanfaatkan frekuensi dari 824,04 MHz sampai dengan 848,97 MHz. Sinyal yang diterima telepon genggam dari 869,04 MHz sampai dengan 893,07 MHz. Sinyal telepon genggam memanfaatkan gelombang radio pada frekuensi ultratinggi atau pada gelombang ultrapendek.

#### c. Pesawat Radio dan Pesawat Televisi

Gelombang radio sering dipakai untuk komunikasi jarak jauh karena gelombang radio mudah dipantulkan oleh lapisan ionosfer. Dalam sistem komunikasi, gelombang radio berperan sebagai gelombang pembawa yang membawa gelombang bunyi menuju penerima. Ada dua cara membawa gelombang bunyi, yaitu *amplitudo modulation* (AM) dan *frequency modulation* (FM).

### 2. Gelombang Mikro

Gelombang mikro biasanya dimanfaatkan pada *microwave* dan RADAR (*Radio Detection Ranging*). Adapun penjelasan mengenai keduanya sebagai berikut.

#### a. Microwave

*Microwave* memanfaatkan sifat gelombang mikro yang memberikan efek pemanasan pada benda yang dikenai radiasi. Makanan yang berada pada *microwave oven* menyerap radiasi gelombang mikro sehingga makanan menjadi panas dalam waktu singkat. Oleh karena itu, *microwave oven* dimanfaatkan untuk memasak makanan secara cepat dan bebas api.

#### b. RADAR (*Radio Detection and Ranging*)

RADAR menggunakan prinsip pemantulan gelombang mikro. Antena pada pesawat radar berfungsi sebagai pemancar dan penerima gelombang mikro yang dipancarkan. RADAR berfungsi untuk menentukan posisi suatu objek. RADAR digunakan dalam dunia penerbangan dan pelayaran sebagai pemandu agar tidak menabrak objek lain. Persamaan yang digunakan dalam radar sebagai berikut.

$$s = \frac{c \cdot \Delta t}{2}$$

Keterangan:

s = jarak bidang pantul dengan detektor gelombang (m)

c = kecepatan cahaya ( $3 \times 10^8$  m/s)

$\Delta t$  = selang waktu pengirim dan penerima pulsa (s)

### 3. Sinar Inframerah

Saat ini pemanfaatan sinar inframerah selain digunakan pada *remote control* juga digunakan pada alat pendeksi suhu tanpa harus menyentuh orang yang akan diukur suhunya. Termometer inframerah menjadi sangat populer ketika masa pandemi Covid19, saat itu setiap orang satu sama lain tidak boleh bersentuhan. Termometer inframerah cukup diarahkan pada jarak tertentu, tanpa harus disentuhkan untuk mengukur suhu tubuh manusia. Prinsip kerjanya memanfaatkan fakta bahwa setiap orang akan memancarkan radiasi inframerah karena suhunya di atas 0 K (nol Kelvin). Radiasi inframerah yang dipancarkan seseorang akan dikumpulkan oleh lensa menuju sensor yang disebut *thermofile*, kemudian diolah menjadi data digital dan ditampilkan pada layar sebagai suhu yang terbaca.

### 4. Cahaya Tampak

Penggunaan cahaya tampak dalam kehidupan sehari-hari selain untuk membantu melihat juga banyak diaplikasikan dalam bidang kedokteran, kecantikan, dan industri. Salah satu yang paling populer adalah sinar laser. Sinar laser digunakan dalam bidang kecantikan untuk meratakan kulit, menghilangkan tato dan bekas jerawat, serta untuk terapi lasik pada mata minus. Selain itu, sinar laser juga digunakan dalam bidang kedokteran, seperti untuk menghancurkan batu ginjal, empedu, atau tumor.

### 5. Sinar Ultraviolet (UV)

Ada keuntungan atau manfaat dari sinar UV namun terdapat pula efek bahayanya. Mendapatkan radiasi sinar ultraviolet dari matahari yang berlebihan berbahaya bagi tubuh namun jika radiasi yang didapatkan sesuai kebutuhan, maka akan sangat bermanfaat. Radiasi UV pada panjang gelombang 320–400 nm yang disebut UV-A bermanfaat dalam pembentukan vitamin D oleh tubuh.

Sinar matahari juga menjadi alternatif untuk penyembuhan salah satu penyakit yang dikenal dengan psoriasis dan eksfolif cheilitis, yaitu kondisi penyakit ketika sel-sel tubuh membelah lebih cepat dari seharusnya. Radiasi yang berlebihan juga berbahaya bagi kulit, yakni menyebabkan kulit terbakar serta berbagai sindrom penyakit kulit dan katarak. Radiasi yang masuk pada panjang gelombang lebih pendek, 280–320 nm yang disebut UV-B dapat menyebabkan kerusakan pada tingkat molekuler sel jaringan tubuh bahkan kanker kulit.

Ultraviolet juga digunakan pada bidang kesehatan, yaitu untuk sterilisasi fasilitas medis dengan menggunakan lampu ultraviolet. Pada tingkat energi yang cukup, sinar ultraviolet dapat membuat mikroorganisme tidak dapat bereproduksi dan tidak berbahaya. UV juga digunakan untuk sterilisasi jenis makanan dan air minum. Begitu pula pada bidang industri, ultraviolet banyak digunakan, baik sebagai pendeksi kebakaran, teknologi semikonduktor, maupun teknologi polimer.

### 6. Sinar-X dan Sinar Gama

Sinar gama dengan tingkat energi yang tinggi mampu mengionisasi sel sehingga dimanfaatkan untuk membunuh sel kanker, sterilisasi alat kedokteran, dan bedah saraf otak. Demikian pula dengan energi sinar-X dapat mengionisasi sel sehingga sangat berbahaya jika terpapar berlebihan. Energi sinar-X dapat diserap oleh jaringan tubuh, karenanya sinar-X kemudian dimanfaatkan dalam pencitraan jaringan tubuh untuk mengetahui beberapa jenis penyakit.

Sinar-X akan diserap jaringan tubuh sehingga intensitasnya berkurang saat melewatinya. Semakin padat material penyusun tubuh (seperti jaringan tulang), intensitas sinar-X yang diserap akan semakin besar. Perbedaan intensitas yang diproyeksikan menjadi gambar ini dianalisis untuk menentukan apakah ada kelainan pada jaringan tersebut.

### Pendidikan Antikorupsi



Sekecil apa pun keinginan kita, kita perlu berusaha dan bekerja keras. Jika mempunyai impian yang besar, usaha yang kita lakukan pun juga cukup besar. Dengan adanya kerja keras, kita pun akan mendapatkan imbalan yang cukup banyak.