



LISTRIK DINAMIS



Standar Kompetensi

Menerapkan konsep kelistrikan dalam berbagai penyelesaian masalah dan berbagai produk teknologi.



Kompetensi Dasar

- Memformulasikan besaran-besaran listrik rangkaian tertutup sederhana (satu loop)



Indikator

- Membedakan jenis dan fungsi alat ukur listrik
- Menjelaskan cara membaca dan memasang alat ukur listrik dengan benar
- Menjelaskan faktor-faktor yang mempengaruhi besarnya hambatan penghantar
- Menjelaskan besar dan arah kuat arus listrik dalam rangkaian sederhana (1 loop)
- Menjelaskan tegangan pada alat listrik dan mampu menghitung energi dan daya listrik



Pendalaman Materi

Listrik dinamis (elektrodinamika) adalah ilmu yang membahas tentang muatan listrik yang bergerak secara permanen. Muatan listrik dapat bergerak jika terjadi perbedaan potensial listrik.



A. KUAT ARUS

Arus listrik adalah aliran partikel bermuatan listrik positif yang bergerak dari potensial tinggi ke potensial rendah. Jadi arah arus listrik sama dengan arah gerak muatan positif (hole) dan berlawanan dengan arah gerak muatan negatif (elektron). Arus listrik dapat mengalir melalui suatu penghantar (konduktor) disebabkan oleh perbedaan potensial listrik (perbedaan tegangan listrik) kedua ujung konduktor.

Kuat arus listrik adalah banyaknya muatan yang mengalir dalam penghantar tiap satu satuan waktu.

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

I = kuat arus listrik (Ampere = A)
q = muatan listrik (Coulomb = C)
t = waktu (sekon = s)

Besaran berikut tidak lazim dipergunakan, namun perlu anda ketahui bahwa, **Rapat arus listrik** adalah kuat arus listrik per satuan luas penampang penghantar. Besarnya rapat arus listrik yang mengalir pada suatu penampang penghantar (bahan) adalah :

$$J = \frac{I}{A} = \frac{E}{\rho} = \sigma \cdot E = v \cdot q \cdot n$$

dengan $E = \frac{V}{L}$

J = rapat arus listrik (A/m²)
I = kuat arus listrik (A)
A = luas penampang penghantar (m²)
 ρ = hambatan jenis bahan (ohm.m)
 σ = konduktivitas listrik bahan (Ω m)
E = kuat medan listrik (Volt/m)
V = beda potensial (volt)
L = panjang penghantar (m)
v = kecepatan elektron(m/s)
q = muatan elektron ($1,6 \cdot 10^{-19}$ C)
n = jumlah elektron per satuan volume



B. HUKUM OHM

Besarnya **arus listrik** dalam suatu penghantar berbanding lurus dengan beda potensial (V) antara kedua ujung penghantar dan berbanding terbalik dengan hambatan penghantar (R).

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

I = kuat arus listrik (A)
 V = tegangan listrik/beda potensial (V)
 R = hambatan listrik (ohm)

Hambatan suatu penghantar tergantung pada :

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

✓ Hambatan jenis kawat penghantar (ρ)
✓ Panjang kawat penghantar (l)
✓ Luas penampang penghantar (A)

ρ = hambatan jenis kawat (ohm.meter)
 l = panjang kawat (m)
 A = luas penampang kawat (m^2)

Hambatan jenis kawat penghantar akan berubah secara linier karena perubahan suhu, akibatnya hambatan kawat juga berubah akibat perubahan suhu

$$\rho_2 = \rho_1(1 + \alpha \cdot \Delta t)$$
$$R_2 = R_1(1 + \alpha \cdot \Delta t)$$

ρ_1 = hambatan jenis kawat pada suhu t_1
 ρ_2 = hambatan jenis kawat pada suhu t_2
 R_1 = hambatan jenis kawat pada suhu t_1
 R_2 = hambatan jenis kawat pada suhu t_2
 α = koefisien suhu ($^{\circ}C$)
 t_1 = suhu mula-mula ($^{\circ}C$)
 t_2 = suhu akhir
 $\Delta t = t_2 - t_1$ = perubahan suhu



Aktivitas 1

MENYELIDIKI PENGARUH SUHU TERHADAP HAMBATAN

Alat-alat :

1. Kawat baja 2,5 m yang dibentuk kumparan (lilitan tidak boleh saling menyentuh satu sama lain)
2. baterai 3 V
3. pembakar bunsen
4. lampu

Langkah-langkah :

1. Hubungkan kumparan, baterai, lampu membentuk rangkaian tertutup.
2. Nyalakan bunsen sampai kumparan membara.
3. Amati lampu sampai kumparan membara

Pertanyaan

1. Pada saat kumparan membara, apakah nyala lampu lebih redup atau lebih terang ? Mengapa demikian ?
2. Apa kesimpulanmu tentang hubungan suhu dengan hambatan ?



Uji Kompetensi 1

1. Pada sebuah kawat penghantar mengalir arus 1,5 A selama 0,5 jam. Berapa :
 - a. Besarnya muatan yang mengalir
 - b. banyak arus elektron dalam penghantar tersebut ? (muatan tiap elektron = $1,6 \cdot 10^{-19}$ C)
2. Beda tegangan ujung-ujung sebuah kawat yang hambatannya 2 ohm adalah 3,2 Volt. Tentukan banyak elektron yang mengalir selama 1 jam !
3. Pada sebuah kawat penghantar luasnya 1 cm^2 mengalir muatan $100 \mu\text{C}$ dalam waktu 1 s. Tentukan rapat arusnya !
4. Sebuah kawat penghantar panjangnya 10 m diameternya 2 mm dan hambatan jenisnya $3,14 \cdot 10^{-5}$ ohm.m. Tentukan hambatan jenis kawat tersebut !
5. Panjang kawat A dua kali panjang kawat B, sedangkan jari-jari kawat B dua kali jari-jari kawat A. Jika kedua kawat sejenis dan kawat A berhambatan 10 ohm, berapa hambatan kawat B ?

- Hambatan jenis suatu logam pada suhu 25°C sebesar 10^{-6} ohm.m dengan koefisien suhu $0,005/^{\circ}\text{C}$. Tentukan hambatan jenis kawat tersebut pada suhu 225°C !
- Dalam sebuah rangkaian dihubungkan ke sumber tegangan 12 V sehingga arus dalam amperemeter menunjukkan 6 A. Berapa besarnya hambatan rangkaian ?

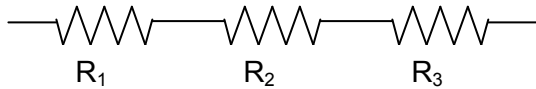


C. RANGKAIAN HAMBATAN

Hambatan listrik dapat disusun dengan dua cara, yaitu :

1. Rangkaian SERI

Perhatikan rangkaian berikut :



Beberapa hal yang perlu diingat sebagai hal mendasar pada rangkaian hambatan secara seri :

- Besarnya hambatan pengganti (total) seri adalah :

$$R_s = R_1 + R_2 + R_3$$

- Kuat arus listrik yang mengalir pada masing-masing hambatan sama besar.

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_{\text{total}} = \frac{V_{\text{total}}}{R_s}$$

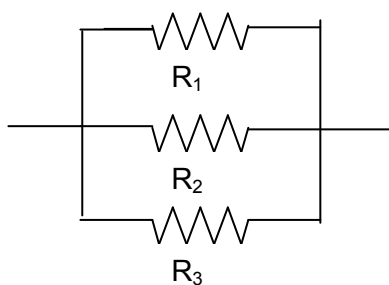
- Besarnya potensial listrik (tegangan listrik) masing-masing hambatan adalah:

$$\begin{aligned} V_1 &= I_1 \cdot R_1 \\ V_2 &= I_2 \cdot R_2 \\ V_3 &= I_3 \cdot R_3 \\ V_{\text{total}} &= V_1 + V_2 + V_3 \end{aligned}$$

- Perbandingan potensial listrik adalah :

$$V_1 : V_2 : V_3 = R_1 : R_2 : R_3$$

2. Rangkaian PARALEL



Berapa hal mendasar yang perlu diingat untuk rangkaian hambatan secara paralel :

- Besarnya hambatan pengganti (total) paralel adalah

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

- Besarnya potensial listrik (tegangan listrik) masing-masing hambatan sama besar.

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

- Kuat arus listrik yang mengalir pada masing-masing hambatan tidak sama sama.

$$I_{total} = \frac{V_{total}}{R_p}$$

$$I_1 = \frac{V_1}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_2}{R_2}$$

$$I_3 = \frac{V_3}{R_3}$$

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

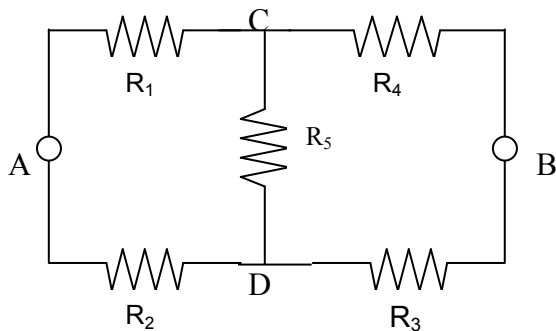
- Perbandingan kuat arus listrik adalah :

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

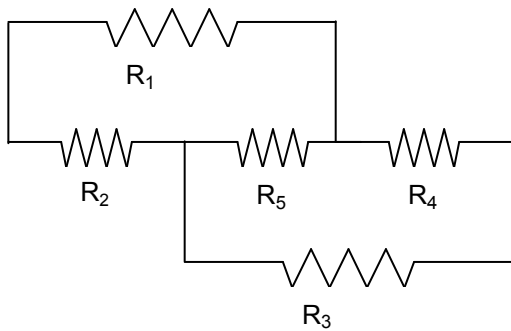
3. Rangkaian JEMBATAN WHEATSTONE

Rangkaian hambatan jembatan wheatstone dijumlahkan secara khusus, karena tidak dapat dijumlahkan secara seri dan paralel.

Bentuk rangkaian jembatan wheatstone adalah (antara titik A dan B) :



Bentuk lain dari jembatan wheatstone adalah :



- Dengan mengatur agar beda potensial antara titik C dan D sama dengan nol, maka akan berlaku $R_1 \times R_3 = R_2 \times R_4$, yang berarti R_5 dapat dihilangkan, karena tidak ada arus yang melewati R_5 dan keadaan ini adalah rangkaian dalam keadaan seimbang.

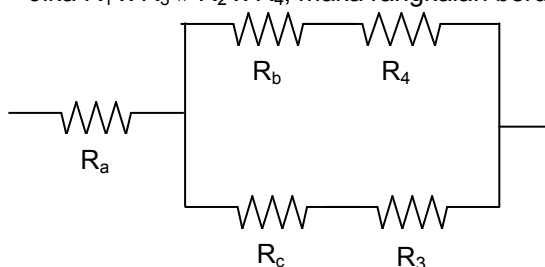
$$R_{s1} = R_1 + R_4$$

$$R_{s2} = R_2 + R_3$$

Sehingga hambatan total adalah :

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_{s2}}$$

- Jika $R_1 \times R_3 \neq R_2 \times R_4$, maka rangkaian berubah menjadi :



R_a , R_b dan R_c adalah rangkaian hambatan pengganti dari R_1 , R_2 dan R_5 .

$$R_a = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_5}$$

$$R_b = \frac{R_1 \cdot R_5}{R_1 + R_2 + R_5}$$

$$R_c = \frac{R_2 \cdot R_5}{R_1 + R_2 + R_5}$$

Sehingga :

$$R_{s1} = R_b + R_4$$

$$R_{s2} = R_c + R_3$$

$$\frac{1}{R_p} = \frac{1}{R_{s1}} + \frac{1}{R_{s2}}$$

Hambatan total adalah $R_s = R_p + R_a$



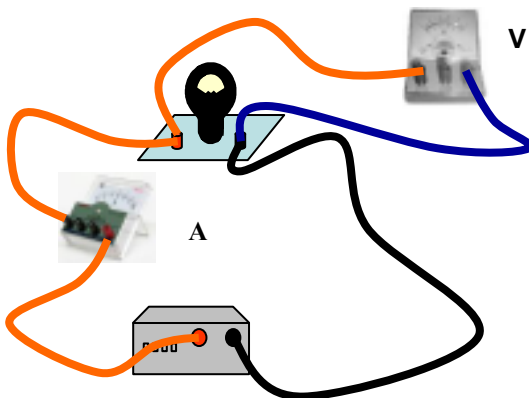
D. ALAT UKUR LISTRIK

Untuk mengetahui besarnya tegangan dan kuat arus listrik digunakan alat listrik. Potensial listrik (tegangan listrik) diukur dengan menggunakan Voltmeter, sedangkan untuk mengukur kuat arus listrik digunakan Ampermeter.



Ampermeter dipasang secara seri dengan dengan beban yang diukur, sedangkan Voltmeter dipasang paralel dengan beban yang diukur.

Perhatikan sambungan alat-alat ukur di bawah ini !



Ampermeter ideal mempunyai hambatan dalam nol. Untuk memperbesar batas ukur ampermeter dipasang hambatan shunt secara paralel dengan ampermeter. Jika ampermeter yang batas ukurnya I_A digunakan untuk mengukur arus yang besarnya I , maka besarnya hambatan shunt yang harus di pasang dan kuat arus yang melewatinya adalah (hal ini merupakan hitungan teknis untuk merancang alat ukur Ampermeter) :

$$R_s = \frac{r_A}{n-1}$$

$$n = \frac{I}{I_A}$$

$$I_s = I_A(n-1) = I - I_A$$

R_s = hambatan shunt (ohm)

r_A = hambatan dalam ampermeter (ohm)

n = daya pembesar arus listrik.

I_A = batas ukur ampermeter

I_s = kuat arus yang melewati hambatan shunt (A)

I = kuat arus yang diukur (A)

Voltmeter ideal memiliki hambatan dalam tak terhingga. Agar batas ukur voltmeter dapat diperbesar, maka harus dipasang hambatan depan yang dipasang seri dengan voltmeter yang besarnya (hal ini merupakan hitungan teknis untuk merancang alat ukur Ampermeter):

$$R_d = (n - 1) \cdot r_v$$

$$n = \frac{V}{V_v}$$

$$V_d = V(n - 1) = V - V_v$$

R_d = hambatan depan voltmeter (ohm)
 n = daya pembesar tegangan
 r_v = hambatan dalam voltmeter (ohm)
 V = tegangan yang diukur (volt)
 V_v = batas ukur tegangan voltmeter (volt)
 V_d = tegangan depan voltmeter (voltmeter)

Hasil pengukuran dapat dibaca dengan cara :

$$\frac{\text{skala yang ditunjuk}}{\text{skala maksimum}} \times \text{batas ukur alat}$$

Hal ini disebabkan lazimnya alat ukur listrik memiliki lebih dari satu skala dan lebih dari satu batas ukur



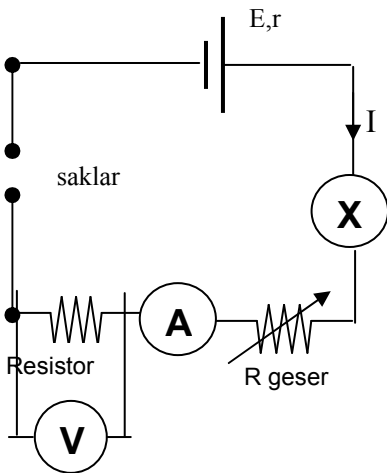
MENENTUKAN HUBUNGAN TEGANGAN DAN KUAT ARUS LISTRIK

Alat-alat :

1. Sumber tegangan DC 12 V (catu daya)
2. hambatan variabel (hambatan geser/Resistance Box)
3. saklar
4. lampu
5. Resistor
6. Ampermeter
7. Voltmeter
8. kabel penghung

Langkah-langkah :

1. Susun alat seperti berikut :



Keterangan :
 E,r = sumber tegangan
 X = bola lampu
 A = ampermeter
 V = voltmeter

2. Hidupkan catu daya dengan tegangan keluaran 3 V DC
3. Tutup saklar, amati keadaan lampu dan skala yang ditunjukkan Ampermeter dan voltmeter. Aturlah hambatan geser agar skala ampermeter dan voltmeter dapat terbaca dengan baik. Apakah lampu menyala terang atau redup ?
4. Ulangi kegiatan di atas untuk tegangan keluaran 6 V, 8 V, 10 V dan 12 V.
5. Catat pengukuran tegangan dan kuat arus pada tabel berikut :

Tegangan keluaran (Volt)	Tegangan pada voltmeter (V)	Kuat Arus (A)
3		
6		
8		
10		
12		

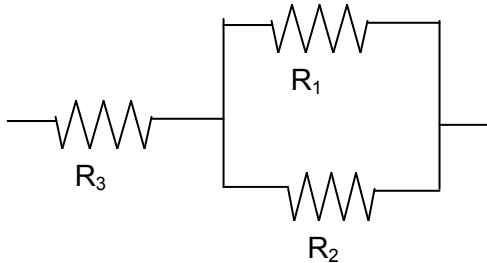
Pertanyaan :

1. Pada tegangan keluaran berapa, nyala lampu lebih terang ? Mengapa demikian?
2. Apa kesimpulanmu tentang hubungan antara tegangan dan kuat arus ?
3. Buatlah grafik hubungan antara tegangan (V) dan kuat arus ?
4. Dari grafik, tentukan besarnya hambatan dalam rangkaian percobaanmu !



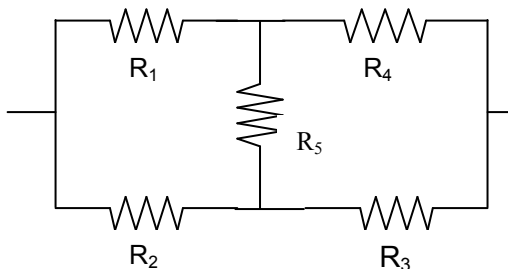
Uji Kompetensi 2

1. Dua buah hambatan masing-masing 10 ohm dan 15 Ohm. Tentukan hambatan pengganti kedua hambatan jika di pasang :
 - a. seri
 - b. paralel
2. Perhatikan rangkaian berikut :



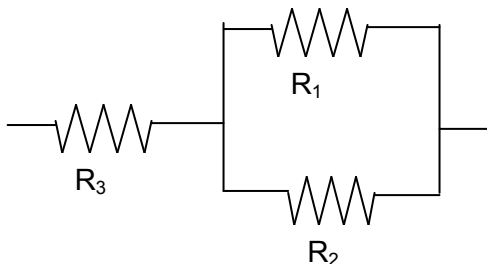
Jika R_1 , R_2 , R_3 masing-masing 10 ohm, 15 Ohm dan 20 ohm, tentukan hambatan pengganti ketiga hambatan !

3. Perhatikan rangkaian hambatan wheatstone berikut :



Jika R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 masing-masing 6 ohm, 3 ohm, 2 ohm, 4 ohm dan 2 ohm, berapa besarnya hambatan penggantinya ?

4. Jika pada rangkaian hambatan wheatstone soal nomor 3 di atas diketahui R_1 , R_2 , R_3 , R_4 , R_5 masing-masing 1 ohm, 3 ohm, 2 ohm, 2 ohm dan 4 ohm, berapa besarnya hambatan penggantinya ?
5. Tiga buah hambatan R_1 , R_2 dan R_3 masing-masing 2 ohm, 4 ohm dan 6 ohm di rangkai seri lalu ujung-ujungnya dihubungkan dengan beda potensial 24 volt. Tentukan :
 - a. kuat arus yang mengalir pada rangkaian
 - b. kuat arus yang melalui R_1 , R_2 dan melalui R_3
 - c. beda potensial di R_1 , di R_2 dan di R_3
6. Tiga buah hambatan R_1 , R_2 dan R_3 masing-masing 2 ohm, 3 ohm dan 6 ohm di rangkai seri lalu ujung-ujungnya dihubungkan dengan beda potensial 12 volt. Tentukan :
 - a. beda potensial di R_1 , di R_2 dan di R_3
 - b. kuat arus yang mengalir pada rangkaian
 - c. kuat arus yang melalui R_1 , R_2 dan melalui R_3
7. Perhatikan rangkaian berikut :



Jika R_1 , R_2 , R_3 masing-masing 10 ohm, 15 Ohm dan 4 ohm, ujung-ujung rangkaian memiliki beda potensial 30 V, Tentukan :

- a. kuat arus yang mengalir pada rangkaian
 - b. kuat arus yang melalui R_1 , R_2 dan melalui R_3
 - c. beda potensial di R_1 , di R_2 dan di R_3
8. Sebuah ampermeter mempunyai batas ukur maksimum 10 mA digunakan untuk mengukur kuat arus 5 A. Jika hambatan dalam ampermeter 10 ohm, berapa besarnya hambatan shunt yang harus dipasang agar alat ampermeter tidak rusak ?

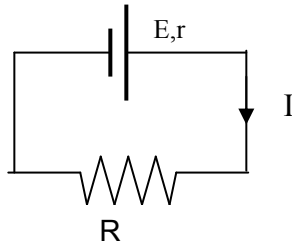
9. Sebuah galvanometer yang hambatannya 50 ohm akan mengalami simpangan maksimum jika dilalui arus 0,01 A. Agar dapat digunakan untuk mengukur tegangan hingga 100 Volt, berapa besarnya hambatan depan yang harus dipasang ?
10. Sebuah ampermeter yang batas ukurnya 0,5 A mempunyai batas skala maksimum 100 A. Jika ampermeter menunjukkan skala 70, tentukan hasil pengukuran ampermeter tersebut !



E. RANGKAIAN LISTRIK SEDERHANA ARUS SEARAH

GGL dan Tegangan Jepit

Perhatikan rangkaian listrik sederhana yang terdiri dari sebuah sumber tegangan (baterai) dan sebuah hambatan berikut :



Pada saat tidak ada arus yang mengalir (saklar terbuka), maka beda potensial pada ujung-ujung sumber tegangan E disebut dengan GGL. Jadi *GGL (gaya gerak listrik)* suatu sumber arus listrik adalah beda potensial antara ujung-ujung sumber arus listrik ketika sumber arus listrik tersebut tidak mengalirkan arus listrik.

Pada saat saklar di tutup, maka dalam rangkaian mengalir arus listrik. Beda potensial antara ujung-ujung sumber tegangan pada saat terjadi aliran arus listrik disebut *tegangan jepit*.

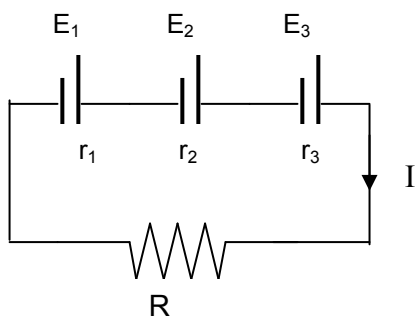
Hubungan antara tegangan jepit (V) dengan GGL (E) adalah :

$$V = E - I.r \text{ atau } V = I.R$$

Sehingga $I = \frac{E}{R + r}$

- V = tegangan jepit (Volt)
- E = GGL (Volt)
- I = kuat arus yang mengalir pada rangkaian (A)
- R = hambatan luar (ohm)
- r = hambatan dalam sumber tegangan (ohm)

Susunan SERI Sumber Tegangan (bertujuan agar besar tegangan total sesuai dengan kebutuhan)



Besarnya GGL total dan hambatan dalam total dari sumber tegangan yang disusun SERI adalah :

$$E_{\text{seri}} = E_1 + E_2 + E_3$$

$$r_{\text{seri}} = r_1 + r_2 + r_3$$

Sehingga kuat arus (I) yang mengalir melalui rangkaian adalah :

$$I = \frac{E_{\text{seri}}}{R_{\text{total}} + r_{\text{seri}}}$$

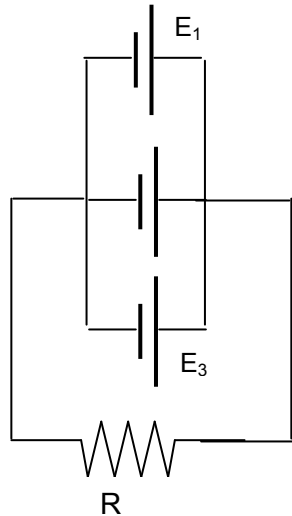
Jika n buah sumber tegangan memiliki nilai E dan r yang sama, maka :

$$E_{\text{total}} = n.E \text{ dan } r_{\text{total}} = n.r$$

Sehingga $I = \frac{n.E}{R_{\text{total}} + n.r}$

Susunan PARALEL Sumber Tegangan

Beberapa sumber tegangan (baterai) juga dapat dirangkai paralel yang dimaksudkan untuk memperbesar tenaga atau arus listrik, dan dihubungkan dengan hambatan luar R membentuk rangkaian listrik sederhana berikut :



Besarnya GGL total dan hambatan dalam total dari sumber tegangan yang disusun PARALEL adalah :

$$E_{\text{paralel}} = E$$

$$\frac{1}{r_{\text{paralel}}} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} + \frac{1}{r_3}$$

Sehingga kuat arus (I) yang mengalir melalui rangkaian adalah :

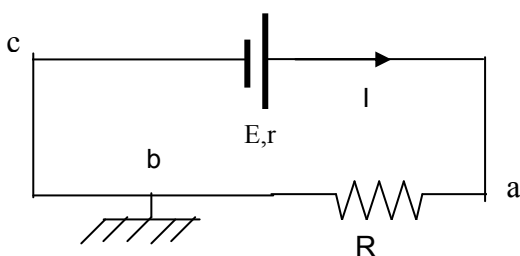
$$I = \frac{E_{\text{paralel}}}{R_{\text{total}} + r_{\text{paralel}}}$$

Jika n buah sumber tegangan memiliki nilai E dan r yang sama, maka :

$$E_{\text{total}} = E \text{ dan } r_{\text{total}} = \frac{r}{n}$$

$$\text{Sehingga } I = \frac{E}{R_{\text{total}} + \frac{r}{n}}$$

Rangkaian Dihubungkan ke tanah



Rangkaian yang dihubungkan ke ground / Chasis / tanah (bumi) dititik b bertujuan agar interferensi yang tidak diharapkan dapat dibuang atau mempermudah penyambungan ke kutub negatif pada banyak tempat, maka di titik b memiliki potensial = nol, sehingga :

$$V_{ab} = I \cdot R$$

$$V_a - V_b = I \cdot R$$

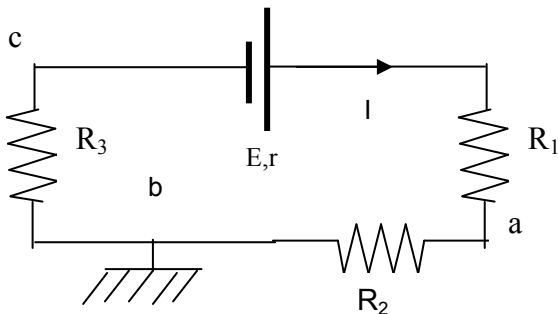
Karena $V_b = 0$, maka $V_a = I \cdot R$

$$\text{Dengan } I = \frac{E}{R + r}$$



Uji Kompetensi 3

- Sebuah aki dengan GGL 20 V memiliki hambatan dalam 1 ohm dihubungkan dengan lampu yang hambatannya 19 ohm. Tentukan besarnya :
 - kuat arus yang mengalir
 - tegangan jepit
- Enam buah baterai ber-GGL sama sebesar 1,5 V dan hambatan dalam sama sebesar 0,2 ohm disusun seri, kemudian ujung-ujungnya dihubungkan dengan lampu pijar yang berhambatan 1,8 ohm. Tentukan :
 - kuat arus yang mengalir
 - tegangan jepit tiap baterai
 - tegangan jepit rangkaian.
- Empat buah baterai ber-GGL sama sebesar 1,5 V dan hambatan dalam sama sebesar 0,2 ohm disusun seri, kemudian ujung-ujungnya dihubungkan dengan lampu pijar yang berhambatan 0,5 ohm. Tentukan :
 - kuat arus yang mengalir
 - tegangan jepit tiap baterai
 - tegangan jepit rangkaian.
- Perhatikan rangkaian dibumikan berikut :



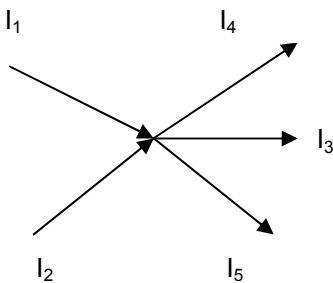
- Jika diketahui $R_1 = 3$ ohm, $R_2 = 2$ ohm dan $R_3 = 6$ ohm dan $E = 6$ Volt, $r = 1$ ohm, tentukan :
- kuat arus yang mengalir
 - Potensial di titik a
 - Potensial di titik c



F. HUKUM KIRCHOFF

Hukum (I) Kirchoff

Hukum (I) Kirchoff menyatakan bahwa jumlah kuat arus listrik yang menuju (masuk) titik percabangan sama dengan jumlah kuat arus listrik yang meninggalkan (keluar) titik percabangan itu.

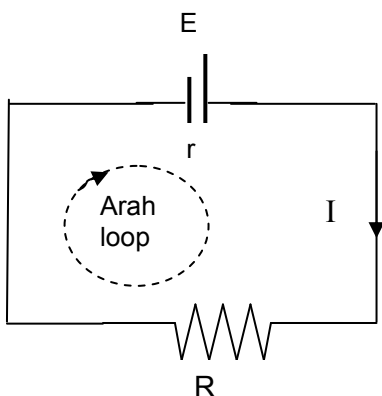


Jumlah arus masuk = jumlah arus keluar

$$I_1 + I_2 = I_3 + I_4 + I_5$$

Hukum (II) Kirchoff

Hukum II Kirchoff menyatakan bahwa jumlah aljabar perbedaan tegangan yang mengelilingi suatu rangkaian tertutup (loop) sama dengan nol atau dalam rangkaian tertutup, jumlah aljabar GGL dengan penurunan tegangan sama dengan nol.



Menurut hukum II Kirchoff, maka :

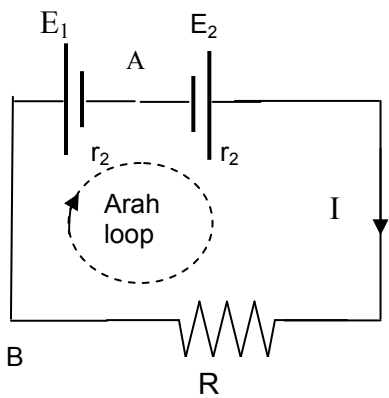
$$\begin{aligned} \Sigma V &= 0 \\ \text{atau} \\ \Sigma E + \Sigma(I.R) &= 0 \\ \text{jadi} \\ \Sigma V &= \Sigma E + \Sigma(I.R) \end{aligned}$$

Penting untuk diingat !

- kuat arus I bertanda positif jika searah dengan arah loop dan bertanda negatif jika berlawanan dengan loop.
- GGL bertanda positif jika kutub positifnya lebih dulu dijumpai pada saat mengikuti arah loop.
- Pemilihan arah loop boleh sembarang, tetapi bila nilai I yang dimaksud bertanda negatif maka arah pemisalan loop terbalik, arah pemisalan loop yang terbakik tidak mengakibatkan nilai arus yang berbeda.

Rangkaian dengan satu loop

Perhatikan rangkaian dengan sebuah loop berikut :



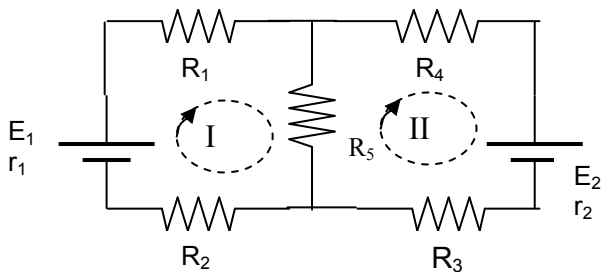
Sesuai dengan hukum II Kirchoff, maka besarnya kuat arus yang mengalir melalui rangkaian dapat dihitung :

$$\begin{aligned} \Sigma E + \Sigma(I.R) &= 0 \\ E_1 - E_2 + I(R + r_1 + r_2) &= 0 \end{aligned}$$

Dengan Hukum II Kirchoff kita dapat menghitung besarnya beda potensial antara dua titik (A dan B), yaitu :

$$\begin{aligned} \Sigma V &= \Sigma E + \Sigma(I.R) \\ V_{AB} &= -E_2 + I(R + r_2) \end{aligned}$$

Rangkaian dengan dua loop(sebagai bahan pengayaan)



- Persamaan hukum II Kirchoff untuk loop I

$$\Sigma E + \Sigma(I.R) = 0$$

$$-E_1 + I_1.(R_1 + R_2) + I_3.R_5 = 0$$
- Persamaan hukum II Kirchoff untuk loop II

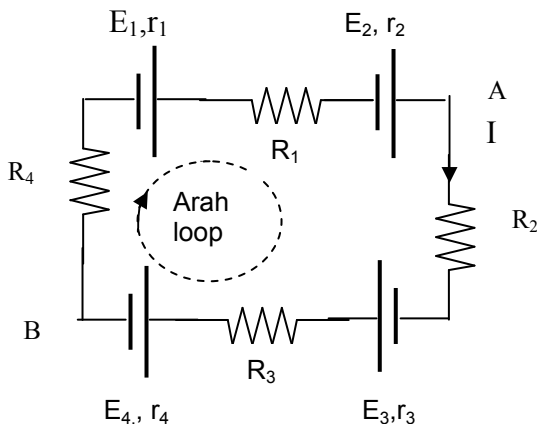
$$\Sigma E + \Sigma(I.R) = 0$$

$$E_2 + I_2.(R_3 + R_4) + I_3.R_5 = 0$$
- Dengan mensubstitusikan kedua persamaan, maka besarnya I_1 , I_2 dan I_3 dapat dihitung.



Uji Kompetensi 4

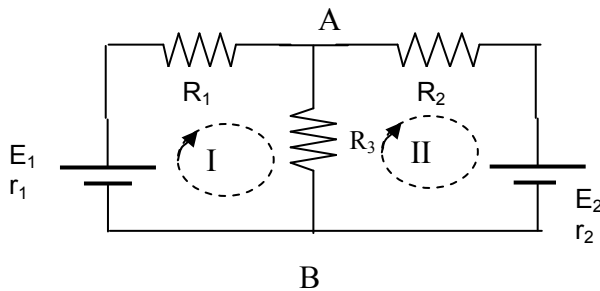
1. Perhatikan rangkaian satu loop berikut :



Jika diketahui $E_1 = 6 \text{ V}$, $E_2 = 16 \text{ V}$, $E_3 = 20 \text{ V}$, $E_4 = 12 \text{ V}$, $r_1 = 2 \Omega$, $r_2 = 0,5 \Omega$, $r_3 = 0,8 \Omega$, $r_4 = 0,7 \Omega$, $R_1 = 6 \Omega$, $R_2 = 6 \Omega$, $R_3 = 5 \Omega$, $R_4 = 9 \Omega$, tentukan :

- Kuat arus yang melalui rangkaian
- Beda potensial di R_1 , R_2 , R_3 dan R_4
- Beda potensial antara titik A dan B

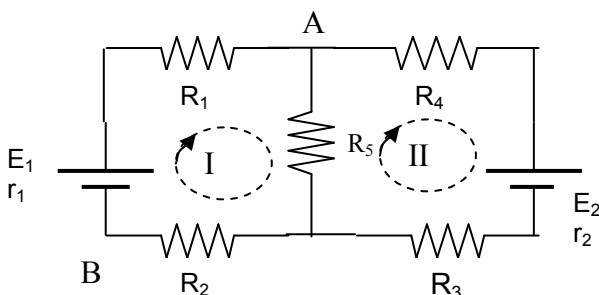
2. Perhatikan rangkaian 2 loop berikut :



Jika diketahui $R_1 = 2 \Omega$, $R_2 = 5 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$, $E_1 = 6 \text{ V}$, $E_2 = 6 \text{ V}$, $r_1 = r_2 = 1 \Omega$, tentukan :

- kuat arus yang melalui R_1 , R_2 dan R_3
- beda potensial titik A dan B

3. Perhatikan rangkaian 2 loop berikut :



Jika diketahui $R_1 = 1 \Omega$, $R_2 = 2,5 \Omega$, $R_3 = 0 \Omega$, $R_4 = 0,5 \Omega$, $R_5 = 6 \Omega$, $E_1 = 4 \text{ V}$, $E_2 = 2 \text{ V}$, $r_1 = r_2 = 0,5 \Omega$, tentukan :

- kuat arus yang melalui R_1 , R_4 dan R_5
- beda potensial titik A dan B



G. ENERGI DAN DAYA LISTRIK

Listrik merupakan suatu bentuk energi. Energi listrik dapat diubah menjadi energi panas, energi gerak, energi cahaya, energi bunyi dan sebagainya. Energi listrik mempunyai peran yang sangat besar untuk alat-alat elektronika mulai dari yang paling sederhana sampai komputer super canggih, termasuk alat komunikasi di era modern dan mendunia seperti saat ini dan di masa yang akan datang. Energi Listrik menjadi Sumber Energi Primer di sebagian besar sisi kehidupan manusia setelah energi yang berasal dari bahan bakar minyak.

Secara umum, besarnya energi listrik adalah :

$$W = q.V, \text{ karena } q = I.t, \\ \text{maka :} \\ W = V.I.t, \text{ karena } P = V.I = I^2.R = \frac{V^2}{R} \\ \text{maka : } W = P.t = I^2.R.t = \frac{V^2.t}{R}$$

Keterangan :
 W = energi listrik (J)
 q = muatan listrik (C)
 P = daya listrik (watt)
 V = tegangan listrik (volt)
 I = kuat arus listrik (A)
 t = waktu (s)
 R = hambatan listrik (Ω)

Sebuah peralatan listrik (lampu) yang dayanya P_1 dan tegangannya V_1 , dipasang pada tegangan V_2 , maka daya yang diserap lampu menjadi :

$$P_2 = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^2 . P_1$$

P_2 = daya yang diderap oleh peralatan listrik (W)
 P_1 = daya yang tertulis pada spesifikasi alat (W)
 V_2 = tegangan yang diberikan pada alat (V)
 V_1 = tegangan yang tertulis pada alat (V)



Uji Kompetensi 4

1. Sebuah lampu berhambatan 200Ω dihubungkan dengan sumber tegangan 110 V dalam waktu 5 menit. Tentukan energi listrik yang diserap lampu !
2. Sebuah lampu tertulis $25 \text{ W}/220 \text{ V}$. Tentuk hambatan lampu tersebut !
3. Sebuah lampu spesifikasinya $60 \text{ W}/220 \text{ V}$ dipasang pada tegangan 110 V . Tentukan besarnya daya yang diserap lampu !
4. Sebuah alat pemanas air berhambatan 100Ω dialir arus listrik $0,5 \text{ A}$ selama 1 menit, digunakan untuk memanaskan 100 gram air yang bersuhu 25°C . Tentukan suhu air setelah arus diputus!
5. Dua lampu $60 \text{ W}/110 \text{ V}$ dan $40 \text{ W}/110 \text{ V}$ dipasang secara seri dan kedua lampu dihubungkan dengan GGL 110 V . Berapa daya yang dipergunakan oleh kedua lampu secara bersama-sama ?
6. Dua lampu spesifikasinya sama $100 \text{ W}/110 \text{ V}$ mula-mula dipasang secara seri dan kedua lampu dihubungkan dengan GGL 110 V . Kemudian dipasang paralel dan dihubungkan dengan GLL 110 V . Berapa perbandingan daya yang diserap oleh kedua lampu dari rangkaian seri terhadap rangkaian paralel ?
7. Sebuah pesawat TV dipasang pada tegangan 110 V dan memerlukan arus 2 A . Jika pesawat TV rata-rata dinyalakan tiap hari selama 5 jam, tentukan :
 - a. berapa kWh energi yang diperlukan selama 1 bulan (30 hari)
 - b. biaya yang harus dibayar ke PLN bila harga per kWh Rp. $200,-$
8. Dua alat pemanas bila dipergunakan sendiri-sendiri membutuhkan waktu masing-masing 20 menit dan 30 menit untuk mendidihkan air satu panci. Jika keduanya dihubungkan secara seri, maka berapa lama air satu panci akan mendidih?
9. Sebuah keluarga menyewa listrik PLN sebesar 500 W dengan tegangan 110 V . Untuk penerangan keluarga tersebut menggunakan lampu $100 \text{ W}/220 \text{ V}$. Berapa jumlah lampu maksimum yang dapat dipasang ?
10. Air terjun setinggi 20 m digunakan untuk PLTA. Setiap detik air mengalir 10 m^3 . Jika efisiensi generator 55% dan $g = 10 \text{ m/s}^2$, tentukan daya rata-rata yang dihasilkan generator !



H. TEGANGAN DC DAN AC

Tegangan listrik dapat diklasifikasikan menjadi dua bagian, yaitu :

1. Tegangan DC (direct current atau arus searah), dihasilkan oleh sumber tegangan DC misalnya generator DC, baterai, akumulator. Tegangan DC juga dapat diperoleh dari sumber tegangan AC setelah melalui rangkaian penyearah yang disebut rectifier atau adaptor. Arus dan tegangan DC hanya mengalir dalam satu arah.
2. Tegangan AC (alternating current atau arus bolak-balik). Tegangan AC dihasilkan oleh sumber tegangan AC, msalnya generator AC. Tegangan listrik PLN merupakan tegangan AC. Pada tegangan AC, arus listrik mengalir berbalik arah secara periodik. Listrik PLN atau Generator AC yang beredar di Indonesia berfrekuensi 60 Hz .

Untuk membedakan antara tegangan AC dan DC digunakan osiloskop. Osiloskop akan menampilkan grafik mendatar untuk tegangan DC dan grafik sinusoidal untuk tegangan AC.

Tegangan AC dalam rumah

Energi listrik yang kita beli dari PLN masuk ke rumah kita melalui kWh-meter (Penghitung energi listrik yang kita pakai) dan pembatas daya dengan MCB (Mini Circuit Breaker).. Misalnya, tegangan listrik

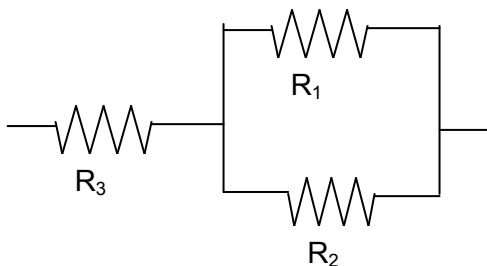
dirumah adalah 220 V, maka pembatas daya dengan spesifikasi 4 A akan membatasi daya maksimum $4 \text{ A} \times 220 \text{ V} = 880 \text{ VA}$. Karena tegangan 220 V adalah bukan tegangan maksimal, maka daya 880 VA dikategorikan berdaya 900 VA. Untuk pengamanan jaringan listrik akibat hubungan pendek (korsleting) digunakan alat pemutus arus (sekring) dan dalam banyak hal karena pertimbangan kepraktisan dan lain-lain, alat ini digantikan fungsinya oleh MCB.

Transmisi listrik jarak jauh dari pusat pembangkit listrik ke rumah-rumah menggunakan tegangan tinggi mencapai 250.000 Volt. Hal ini didasarkan pada pertimbangan efisiensi daya (daya yang hilang lebih kecil) dan efisiensi biaya dan pertimbangan teknis (dapat menggunakan kabel dengan ukuran kabel yang relatif kecil). Perubahan tegangan dilakukan sepanjang transmisi daya listrik dengan menggunakan transformator. Antar gardu induk bertegangan 250.000 Volt, kemudian ditransmisikan ke daerah pelanggan dengan tegangan sekitar 20.000 Volt, kemudian diturunkan lagi menjadi sekitar 220 Volt dan tegangan ini siap disalurkan kepada pelanggan listrik.

Alat-alat listrik yang berada dalam rumah tangga seperti kipas angin, setrika listrik, rice cooker, lemari es, blender, mesin cuci menggunakan catu daya tegangan AC. Sedangkan alat-alat elektronik yang menggunakan komponen transistor seperti radio, tape, VCD, TV, komputer menggunakan catu daya DC. Namun pada alat-alat elektronik tersebut sudah dilengkapi Rangkaian Catu Daya (adaptor). Alat-alat listrik portable (mudah ditenteng) biasanya menggunakan tegangan DC dari baterai. Alat-alat elektronik portable seperti handphone, kamera digital, Kamera video, laptop menggunakan tegangan DC dari baterai yang dapat dimuati ulang (rechargeable battery).

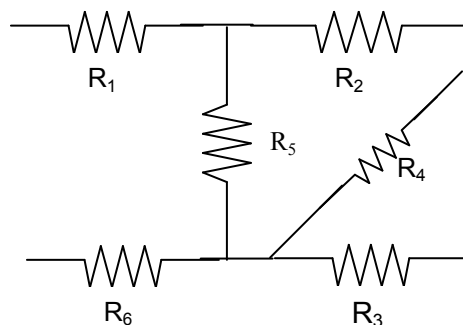


- Jika dalam penghantar selama $\frac{1}{2}$ menit mengalir muatan $6 \cdot 10^{-2} \text{ C}$, maka besarnya kuat arus adalah mA
 - 120
 - 80
 - 30
 - 15
 - 2
- Seutas kawat panjangnya 50 cm, luas penampangnya 2 mm^2 berhambatan 100Ω . Hambatan jenis kawat adalah Ωm
 - $5 \cdot 10^{-6}$
 - $2 \cdot 10^{-5}$
 - $4 \cdot 10^{-4}$
 - $5 \cdot 10^{-2}$
 - $8 \cdot 10^2$
- Perhatikan rangkaian berikut :



$R_1 = 30 \Omega$, $R_2 = 60 \Omega$, $R_3 = 10 \Omega$, jika kuat arus yang melewati $R_3 = 3 \text{ A}$, maka kuat arus yang melalui R_1 dan R_2 adalah ... A

- 1 dan 2
 - 2 dan 1
 - 1,5 dan 2,5
 - 3 dan 6
 - 2 dan 4
- Dua hambatan jika dirangkai seri hambatan totalnya 100Ω , dan jika dirangkai paralel hambatan totalnya 16. Besarnya kedua hambatan tersebut adalah ... Ω
 - 60 dan 4
 - 70 dan 30
 - 80 dan 20
 - 90 dan 10
 - 100 dan 16
 -
 - perhatikan rangkaian berikut :

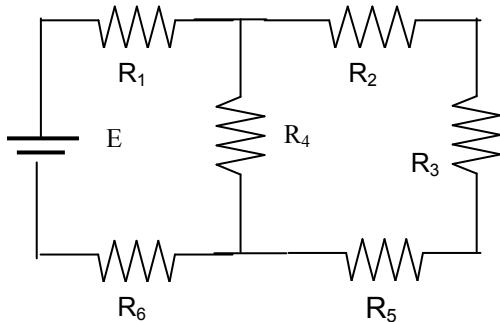


Jika $R_1 = R_5 = R_6 = 60 \Omega$

$R_2 = R_3 = R_4 = 40 \Omega$, maka hambatan pengganti antara ujung-ujung rangkaian adalah Ω

- a. 40
- b. 60
- c. 100
- d. 120
- e. 150

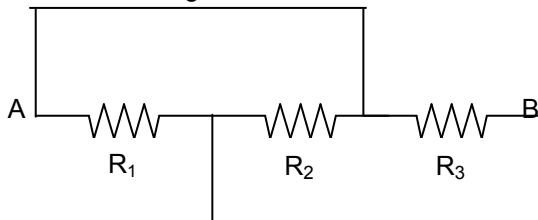
5. Perhatikan rangkaian berikut :



Jika $R_1 = 16 \Omega$, $R_2 = 1 \Omega$, $R_3 = 3 \Omega$, $R_4 = 8 \Omega$, $R_5 = 4 \Omega$, $R_6 = 5 \Omega$, maka beda potensial pada hambatan 4Ω adalah ... V

- a. 0,5
- b. 1
- c. 1,5
- d. 2
- e. 2,5

6. Perhatikan rangkaian berikut :



Jika R sama besar = 3Ω , maka besarnya hambatan pengganti ujung-ujung rangkaian (AB) adalah ... Ω

- a. 1
- b. $4/3$
- c. 2
- d. 3
- e. 6

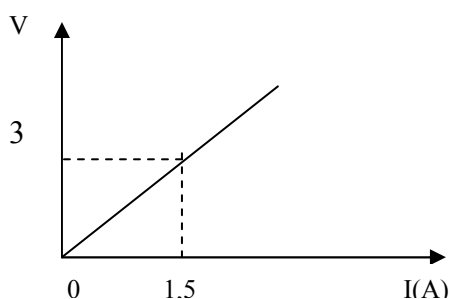
8. Sebuah baterai dihubungkan dengan sebuah resistor menghasilkan kuat arus listrik 0,6 A. Jika pada rangkaian ditambahkan resistor 4Ω yang dihubungkan seri dengan resistor pertama, maka kuat arus akan turun menjadi 0,5 A. GGL baterai adalah ... V

- a. 4
- b. 5
- c. 6
- d. 12
- e. 24

9. Sebuah baterai yang hambatan dalamnya 1Ω dihubungkan dengan sebuah hambatan luar 7Ω menghasilkan arus 3 A. Besarnya GGL baterai adalah ... V

- a. 2,7
- b. 5
- c. 8
- d. 11
- e. 24

10. Diketahui grafik hubungan potensial dan arus berikut :



Besarnya hambatan adalah ... Ω

- a. 0,5
 - b. 1
 - c. 1,5
 - d. 2
 - e. 2,5
11. Tiga hambatan 3 ohm, 2ohm dan 6 ohm di susun paralel dan dihubungkan dengan baterai menghasilkan arus 3 A. Jika disusun seri dan dihubungkan dengan baterai yang sama, ternyata arus yang keluar 0,5 A. Besarnya GGL dan hambatan dalam baterai adalah ...
- a. 5 V ; 1 ohm
 - b. 6 V ; 1 ohm
 - c. 3,6 V ; 0,4 ohm
 - d. 1,5 V ; 0,5 ohm
 - e. 8 V ; 1,5 ohm
12. Sebuah alat pemanas 200W / 220 V dipasang pada tegangan 100 V, menyerap daya listrik sebesar W
- a. 400
 - b. 200
 - c. 100
 - d. 75
 - e. 50
13. Sebuah lampu berukuran 90W / 30V dipasang pada tegangan 120 V dengan daya tetap, maka lampu harus dirangkai seri dengan hambatan ... ohm
- a. 10
 - b. 20
 - c. 30
 - d. 40
 - e. 50
14. Tiga lampu spesifikasinya sama 100W / 110 V dihubungkan dengan sumber tegangan 220 V. Agar dihasilkan nyala lampu 200 W, maka lampu-lampu itu harus dihubungkan dengan sumber tegangan dengan cara
- a. dua lampu paralel
 - b. dua lampu seri
 - c. tiga lampu paralel
 - d. tiga lampu seri
 - e. satu lampu paralel, dua lampu seri

6. Listrik Statis

Standar Kompetensi :

Menerapkan konsep kelistrikan dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah dan produk teknologi.

Kompetensi Dasar

- Memformulasikan gaya listrik, kuat medan listrik, fluks, potensial listrik, energi potensial listrik serta penerapannya pada keping sejajar

Indikator

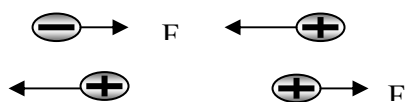
- Memformulasikan hukum Coulomb
- Memformulasikan medan listrik oleh distribusi muatan titik
- Memformulasikan hukum Gauss
- Mengaplikasikan hukum Coulomb dan Gauss untuk mencari medan listrik bagi distribusi muatan kontinu
- Memformulasikan potensial listrik dan kaitannya dengan medan listrik
- Menentukan potensial listrik oleh distribusi muatan titik dan kontinu
- Memformulasikan energi potensial listrik dan kaitannya dengan gaya atau medan listrik dan potensial listrik
- Menentukan beda energi potensial antara dua titik dalam medan listrik

PENDALAMAN MATERI

A. Hukum Coulomb

Muatan listrik ada dua jenis, yaitu muatan positif dan muatan negatif. Benda bermuatan positif jika benda kekurangan elektron, dan benda bermuatan negatif jika benda kelebihan elektron. Jika suatu benda mengandung muatan negatif yang jumlahnya sama dengan muatan positif, maka benda dikatakan netral (tidak bermuatan listrik). Besar kecilnya muatan listrik diukur dalam satuan Coulomb (C.). Misalnya Sebuah elektron memiliki muatan sebesar $-1,6 \cdot 10^{-19}$ C dan sebuah proton memiliki muatan sebesar $+1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

Dua muatan sejenis akan saling tolak menolak, sebaliknya dua muatan tak sejenis akan tarik menarik. Dengan percobaan melalui neraca puntir, Charles Coulomb (1785) mengungkapkan Hukum Coulomb, yang berbunyi : *Besarnya gaya tarik menarik atau gaya tolak-menolak antara dua buah muatan listrik sebanding dengan besarnya masing-masing muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan tersebut.*



Besarnya gaya elektrostatis antara dua muatan listrik yang terletak di udara pada jarak r adalah:

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

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

F = gaya elektrostatis dua muatan (N)
 k = konstanta Coulomb ($9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$)
 q = muatan listrik (C).
 r = jarak kedua muatan (m)
 ϵ_0 = permitivitas ruang hampa
($8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$)

Jika kedua muatan listrik terletak ditempat yang memiliki nilai permitivitas relatif bahan (konstanta dielektrik) K (beberapa buku menggunakan simbol ϵ_r), maka besarnya gaya elektrostatis menjadi :

$$F_{\text{bahan}} = \frac{F_{\text{udara}}}{\epsilon_r} = \frac{F_{\text{udara}}}{K}$$

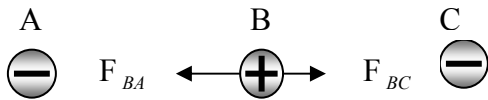
F_{udara} = gaya elektrostatis di udara (N)

$K = \epsilon_r$ = konstanta (koefisien) dielektrik bahan/permitivitas relatif bahan
(untuk udara $K = 1$)

B. GAYA ELEKTROSTATIS AKIBAT BEBE-RAPA MUATAN LISTRIK

Besarnya gaya elektrostatis di suatu titik yang ditimbulkan oleh beberapa muatan listrik merupakan jumlah vector dari seluruh gaya di titik tersebut.

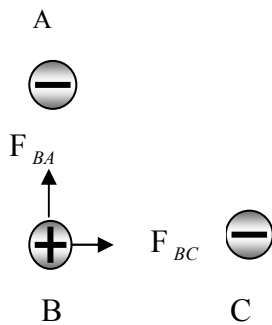
Perhatikan tiga buah muatan sejajar berikut :



Besarnya gaya total yang dialami muatan B akibat muatan A dan C adalah :

$$F_B = F_{BC} - F_{BA}$$

Perhatikan juga tiga muatan yang berada pada titik-titik sudut segitiga berikut :



Besarnya gaya elektrostatis yang dialami muatan B dihitung dengan rumus pitagoras adalah :

$$F_B = \sqrt{F_{BA}^2 + F_{BC}^2 + 2F_{BA}F_{BC} \cdot \cos \theta}$$

F_B = gaya elektrostatis di B (N)

F_{BA} = gaya antara muatan B dan A (N)

F_{BC} = gaya antara muatan B dan C (N)

θ = sudut antara F_{BA} dan F_{BC} (sudut di B)

Contoh Soal

Dua muatan listrik masing-masing $1 \mu\text{C}$ dan $2 \mu\text{C}$ terletak di udara pada jarak 30 cm. Hitunglah besarnya gaya elektrostatis antara dua muatan tersebut !

Diketahui :

$$q_1 = 1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$$

$$q_2 = 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

Ditanya : $F \dots ?$

Jawab :

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

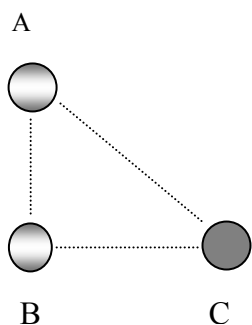
$$F = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(0,3)^2}$$

$$F = 0,2 \text{ N}$$

Uji Kompetensi

- Dua buah muatan sejenis sebesar $3 \mu\text{C}$ terletak di udara pada jarak 10 cm . Tentukan gaya elektrostatis !
- Dua buah keping bermuatan $24 \mu\text{C}$ dan $18 \mu\text{C}$ berjarak 12 cm . Hitung besarnya gaya Coulomb kedua muatan jika kedua muatan :
 - terletak di udara
 - terletak dalam bahan dengan permitivitas relatif = 2
- Dua bola kecil bermuatan sama terpisah diudara pada jarak 3 m timbul gaya 40 N . Hitung besarnya masing-masing muatan !
- Dua muatan A dan B berjarak 3 cm terletak di udara timbul gaya Coulomb 80 N . Besar muatan B = dua kali muatan A. Tentukan besarnya muatan A dan muatan B
- Dua muatan A dan B sejenis dan sama besar terletak pada jarak r menimbulkan gaya sebesar 90 N . Jika jarak kedua muatan dijadikan $3r$, berapa besarnya gaya Coulomb sekarang ?
- Tiga buah partikel A, B dan C bermuatan $-4 \mu\text{C}$, $+5 \mu\text{C}$ dan $-9 \mu\text{C}$ diletakkan sejajar. Partikel B terletak di tengah-tengah muatan A dan C. Jika jarak AC 50 cm , tentukan besarnya gaya elektrostatis yang dialami oleh :
 - muatan A
 - muatan B
 - muatan C

- Dua buah partikel A, B bermuatan $-4 \mu\text{C}$ dan $-9 \mu\text{C}$ diletakkan pada jarak 50 cm , tentukan letak suatu titik yang memiliki gaya elektrosatis = nol !
- Tiga buah muatan listrik jenis dan besarnya sama terletak pada sudut-sudut segitiga sama sisi ABC. Jika gaya antara dua muatan adalah 6 N , berapa besar gaya Coulomb di titik C ?
- Perhatikan tiga muatan berikut :

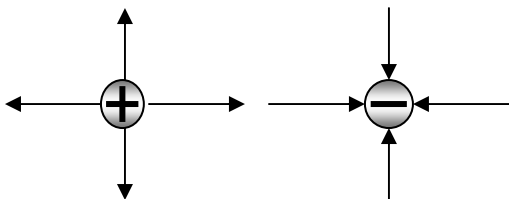


Jika muatan A, B dan C masing-masing $50 \mu\text{C}$, $40 \mu\text{C}$ dan $50 \mu\text{C}$, tentukan gaya elektrosatis di B !

- Pada titik-titik sudut segitiga sama sisi terdapat muatan A, B dan C masing-masing $1 \mu\text{C}$, $2 \mu\text{C}$ dan $4 \mu\text{C}$. Jika panjang sisi segitiga 30 cm , tentukan besarnya gaya yang bekerja pada muatan A !

C. MEDAN LISTRIK

Medan listrik adalah daerah disekitar benda bermuatan listrik. Arah medan listrik menurut Faraday sama dengan arag gaya yang dialami oleh benda yang bermuatan positif. Medan listrik digambarkan dengan garis-garis gaya listrik yang menjauhi muatan positif dan mendekati muatan negatif.



1. Kuat Medan Listrik yang dialami oleh muatan listrik

Besarnya medan listrik yang dialami oleh suatu benda bermuatan listrik disebut kuat medan listrik (E).

Kuat medan listrik yang dialami oleh sebuah muatan q adalah :

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

E = kuat medan listrik (N/m)
F = gaya elektrostatis (N)

q = muatan listrik (C.)

Dua muatan A dan B yang didekatkan pada jarak r , akan menimbulkan kuat medan listrik pada masing-masing muatan akibat gaya elektrostatis antar kedua muatan.



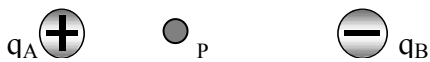
Kuat medan listrik yang dialami muatan A (E_A) dan B (E_B) masing-masing sebesar :

$$E_A = \frac{F}{q_A} \text{ atau } E_A = \frac{k \cdot q_B}{r^2}$$

$$E_B = \frac{F}{q_B} \text{ atau } E_B = \frac{k \cdot q_A}{r^2}$$

E_A = kuat medan listrik di A (N/m)
 E_B = kuat medan listrik di B (N/m)
 F = gaya elektrostatis muatan A dan B
 q_A = muatan A (C.)
 q_B = muatan B (C.)
 k = konstanta coulomb (Nm^2/C^2)
 r = jarak muatan A dan B (m)

2. Kuat Medan Listrik Oleh Beberapa Muatan Segaris



Jika sebuah benda P terletak sejauh r_A dari muatan A (q_A) dan sejauh r_B dari muatan B (q_B), maka kuat medan listrik total di titik P adalah jumlah vector dari kuat medan listrik oleh muatan A dan B.

- Kuat medan listrik di titik P akibat muatan A adalah :

$$E_1 = \frac{k \cdot q_A}{r_A^2} \text{ (menjauhi } q_A = \text{ ke kanan)}$$

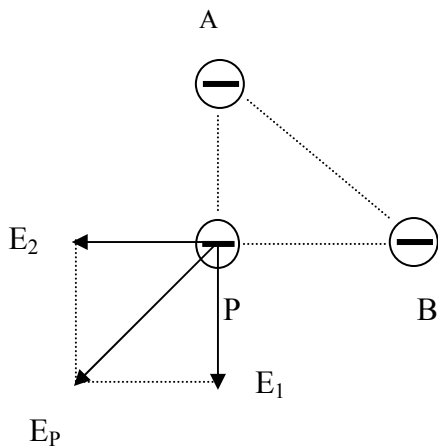
- Kuat medan listrik di titik P akibat muatan B adalah :

$$E_2 = \frac{k \cdot q_B}{r_B^2} \text{ (mendekati } q_B = \text{ ke kanan)}$$

- Kuat medan listrik total di titik P akibat muatan A dan B adalah :

$$E_P = E_1 + E_2$$

3. Kuat Medan Listrik Oleh Beberapa Muatan Tidak Segaris



- Kuat medan listrik di titik P akibat muatan A adalah :

$$E_1 = \frac{k \cdot q_A}{r_A^2} \text{ (menjauhi } q_A = \text{ ke bawah)}$$

- *Kuat medan listrik di titik P akibat muatan B adalah :*

$$E_2 = \frac{k \cdot q_B}{r_B^2} \text{ (menjauhi } q_B = \text{ ke kiri)}$$

- *Kuat medan listrik total di titik P akibat muatan A dan B adalah :*

$$E_P = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$$

D. HUKUM GAUSS

Hukum Gauss didasarkan pada konsep fluks, yaitu kuantitas yang menyatakan banyaknya medan listrik yang menembus suatu permukaan. Besarnya fluks listrik dirumuskan :

$$\phi = E \cdot A \cdot \cos \theta$$

- ϕ = fluks listrik (weber = Wb)
- E = kuat medan listrik (N/C)
- A = luas permukaan yang ditembus medan listrik (m²)
- θ = sudut antara medan listrik dengan bidang

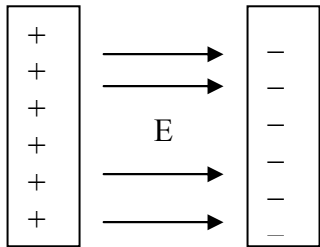
Dari konsep fluks listrik tersebut, Gauss menyatakan hukum Gauss, yang berbunyi : *“Jumlah garis gaya yang keluar dari suatu permukaan tertutup sebanding dengan jumlah muatan listrik yang dilingkupi oleh permukaan tertutup itu”.*

Secara matematis ditulis :

$$\phi = \frac{q}{\epsilon} \quad \epsilon = K \cdot \epsilon_0$$

Penerapan Hukum Gauss

a. Medan Listrik pada Keping Sejajar



Jika dua keping sejajar yang luasnya sama (A) diberikan muatan sama besar (q) berlawanan jenis, maka antara dua keping timbul medan listrik (E) dari keping positif menuju keping negatif. Rapat muatan tiap keping (σ) adalah sebesar :

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

Karena $\phi = E \cdot A = \frac{q}{\epsilon}$, maka besarnya kuat medan listrik kedua keping adalah :

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

- E = kuat medan listrik (N/C)
- q = muatan keping (C.)
- A = luas tiap keping (m²)
- ϵ_r = permitivitas relatif bahan
- σ = rapat muatan tiap keping (C/m²)

b. Kuat Medan Listrik pada Bola Berongga

Bola konduktor berongga yang berjari-jari R bermuatan listrik q, akan memiliki kuat medan listrik sebagai berikut :

- *Kuat medan listrik di dalam bola = nol*
- *Kuat medan listrik di permukaan bola*

$$E = \frac{k \cdot q}{R^2}$$

- *Kuat medan listrik di titik luar permukaan bola yang jaraknya r dari pusat bola*

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

Contoh Soal

Tentukan kuat medan listrik pada jarak 20 cm yang dari sebuah muatan 2 μC !
Jawab :

$$E = \frac{k \cdot q}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{0,2^2} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ N/C}$$

Uji Kompetensi

1. Sebuah benda bermuatan 200 mC terletak di dalam medan listrik yang besarnya $4 \cdot 10^{-4}$ N/C. Tentukan besarnya gaya Coulomb yang di alami muatan tersebut !
2. Dua muatan A dan B besarnya sama tetapi berbeda jenis sebesar 18 μC terpisah sejauh 60 cm. Kuat medan di tengah-tengah kedua muatan !
3. Dua muatan A dan B besarnya $-5 \mu\text{C}$ dan $+2 \mu\text{C}$ berjarak 1 m. Titik P terletak diantara kedua muatan berjarak 60 cm dari muatan A. Tentukan kuat medan listrik di titik P tersebut !
4. Titik P berada sejauh 6 cm dari muatan A. Muatan B yang besarnya sama dengan muatan A sebesar 10 μC diletakkan di tengah-tengah keduanya. Tentukan besarnya medan listrik di titik P !
5. Dua muatan A dan B masing-masing 20 μC dan 5 μC berada sejauh 6 m. Tentukan letak titik C yang kuat medan listriknya sama dengan nol !
6. Muatan A dan B masing-masing $+30 \mu\text{C}$ dan $-270 \mu\text{C}$ berada sejauh 2 m. Tentukan letak titik C yang kuat medan listriknya sama dengan nol !
7. Tiga buah titik A, B dan C membentuk suatu bangun segitiga siku-siku di B panjang sisi AB = BC = 100 cm. Ditik A dan C diletakkan muatan positif sama besar 10 μC . Tentukan kuat medan listrik di titik B !
8. Sebuah konduktor keeping sejajar dengan luas tiap keeping 20 cm^2 bermuatan 1,77 μC . Tentukan rapat muatan tiap keeping dan dan besarnya kuat medan listri diantara kedua keeping !
9. Sebuah bola konduktor berongga dengan diameter 6 cm bermuatan $-60 \mu\text{C}$. Hitung kuat medan listrik pada :
 - a. jarak 2 cm dari pusat bola
 - b. permukaan bola
 - c. 2 cm dari permukaan bola
10. Bola konduktor diameternya 2 m. Jika kuat medan di permukaan bola = 1440 N/C, berapa kuat medan di titik P yang berjarak 3 m dari pusat bola ?
11. Sebutir debu bermassa 5 mg bermuatan 10 μC dapat mengapung bebeas di dalam medan listrik. Jika percepatan gravitasi bumi 10 m/s^2 , tentukan besarnya kuat medan listrik tersebut !

E. POTENSIAL DAN ENERGI POTENSIAL LISTRIK

1. Potensial Listrik di Sekitar Muatan

Disekitar muatan listrik, selain timbul medan listrik juga akan timbul potensial listrik. Medan listrik merupakan besaran vector, sedangkan potensial listrik merupakan besaran scalar. Besarnya potensial listrik di suatu titik yang ditimbulkan oleh muatan q adalah:

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

V = potensial listrik (volt = V)
 q = muatan listrik (C.)
 r = jarak titik terhadap muatan (m)
 k = konstanta Coulomb

Jika suatu titik dipengaruhi oleh beberapa muatan listrik, maka besarnya potensial listrik merupakan jumlah aljabar masing-masing potensial listrik.

2. Potensial Listrik Bola Konduktor

- *Potensial listrik di dalam bola sama dengan potensial di permukaan bola, yaitu sebesar :*

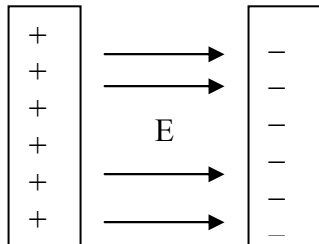
$$V = \frac{k \cdot q}{R}$$

- *Potensial listrik di luar permukaan bola*

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

R = jari-jari bola (m)
 r = jarak titik dengan pusat bola (m)

3. Potensial Listrik Keping Sejajar



Jika dua keping sejajar yang luasnya sama (A) diberikan muatan sama besar (q) berlawanan jenis, maka antara dua keping timbul potensial listrik (V), yang besarnya :

$$V = E \cdot r$$

V = potensial listrik antar keping (volt)
 E = kuat medan listrik dua keping (N/C)
 r = jarak antar keping (m)

4. Energi Potensial Listrik

Dua muatan A dan B yang terpisah sejauh r akan timbul energi potensial pada masing-masing muatan.



- *Potensial listrik di A akibat B adalah :*

$$V_A = \frac{k \cdot q_B}{r}$$

- *Potensial listrik di B akibat A adalah :*

$$V_B = \frac{k \cdot q_A}{r}$$

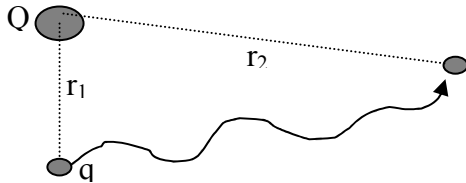
Besarnya energi potensial listrik yang dimiliki muatan A sama dengan energi potensial listrik yang dimiliki muatan B, yaitu sebesar :

$$EP = q_A \cdot V_B = q_B \cdot V_A = \frac{k \cdot q_A \cdot q_B}{r}$$

EP = energi potensial listrik (Joule = J)
 q_A = muatan A (C.)
 q_B = muatan B (C.)
 V_A = potensial listrik muatan A (V)
 V_B = potensial listrik muatan B (V)
 r = jarak muatan A dan B (m)

F. USAHA LISTRIK

Usaha listrik adalah usaha untuk memindahkan suatu muatan dari suatu titik ke titik lain.



Sebuah muatan q mula-mula terletak sejauh r_1 dari muatan Q . Muatan q di pindahkan sejauh r_2 dari muatan Q . Usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan q dari kedudukan r_1 ke r_2 adalah sebesar :

$$W = EP_2 - EP_1 = q \cdot (V_2 - V_1)$$

atau

$$W = k \cdot q \cdot Q \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

W = usaha listrik (J)
 EP_2 = energi potensial saat di r_2 (J)
 EP_1 = energi potensial saat di r_1 (J)
 q = muatan yang dipindahkan (C.)
 r_1 = jarak awal sebelum pindah (m)
 r_2 = jarak akhir setelah pindah (m)

G. HUKUM KEKALKAN ENERGI

Gerak partikel di dalam medan listrik memenuhi hukum kekekalan energi mekanik jika hanya gaya Coulomb saja yang bekerja pada partikel tersebut. Jika partikel yang bermuatan q bermassa m bergerak di dalam medan magnet, maka energi mekanik awal hingga akhir gerak besarnya tetap.

$$EK_1 + EP_1 = EK_2 + EP_2$$

Karena $EP = q \cdot V$ dan $EK = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$, maka hukum kekekalan energi mekanik dapat ditulis sebagai berikut :

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

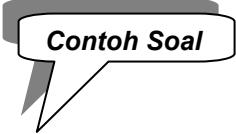
atau

$$q(V_1 - V_2) = \frac{1}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

atau

$$q \cdot \Delta V = \frac{1}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

q = muatan partikel yang bergerak (C.)
 m = massa partikel (kg)
 $\Delta V = V_1 - V_2$ = beda potensial (volt)
 V_1 = potensial listrik pada kedudukan awal (V)
 V_2 = potensial listrik pada kedudukan akhir (V)
 v_1 = kecepatan partikel awal (m/s)
 v_2 = kecepatan partikel akhir (m/s)



Usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan 20 C dari titik A ke titik B 2 J. Jika jarak titik A dan B 20 cm, tentukan beda potensial antara titik A dan B !

Jawab :

$$W = q \cdot (V_B - V_A)$$

$$W = q \cdot \Delta V$$

$$2 = 20 \cdot \Delta V$$

$$\Delta V = 0,1 \text{ Volt}$$



Uji Kompetensi

1. Tentukan besarnya potensial listrik di titik P yang terletak sejauh 2,5 cm dari muatan positif 2,5 μC !
2. Titik A bermuatan 5 μC berada sejauh 1 m dari titik B yang bermuatan $-3 \mu\text{C}$. Besarnya potensial listrik di tengah-tengah antara A dan B !
3. Tiga muatan 3 μC , 5 μC dan 5 μC berada pada koordinat (4,0) cm, (0,3) cm dan (4,3) cm. Tentukan potensial listrik di pusat koordinat !
4. Titik A berjarak 25 cm dari muatan listrik q. Jika potensial di titik A 200 V, hitung kuat medan di titik A tersebut !
5. Sebuah bola konduktor bermuatan +2 μC berjari-jari 10 cm. Tentukan besarnya potensial listrik :
 - a. di pusat bola
 - b. di titik yang berjarak 2 cm dari pusat bola
 - c. dipermukaan bola
 - d. di titik yang berjarak 10 dari permukaan bola
6. Dua pelat konduktor sejajar masing-masing luasnya 10 cm^2 bermuatan masing-masing 0,885 μC . Jika jarak kedua pelat 10 cm, tentukan potensial listrik yang timbul antara kedua pelat !
7. Dua muatan $-1 \mu\text{C}$ dan $-0,5 \mu\text{C}$ menimbulkan energi potensial pada masing-masing muatan sebesar 18 J. Tentukan jarak kedua muatan !
8. Tiga muatan A, B dan C masing-masing 1 μC , 2 μC dan $-6 \mu\text{C}$ terletak pada titik-titik sudut segitiga sama sisi dengan panjang sisi 2 cm. Tentukan :
 - a. energi potensial pada muatan A
 - b. energi potensial sistem
9. Hitung usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan 100 μC dari tempat yang potensialnya -10 V ke tempat yang potensialnya 20 V !
10. Dua pelat logam A dan B masing-masing potensialnya 6 V dan 2 V. Hitung usaha yang diperlukan elektron untuk berpindah dari pelat A ke B ! (*muatan elektron* = $-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$)
11. Sebuah bola logam berjari-jari 2 cm bermuatan 1 μC . Tentukan usaha yang diperlukan untuk memindahkan sebuah muatan $10^{-4} \mu\text{C}$ yang berada pada jarak 10 cm dari pusat bola ke permukaan bola tersebut !
12. Beda potensial dua pelat sejajar 200 V. Sebuah proton bergerak dari pelat A ke pelat B. Hitung kecepatan proton saat menumbuk pelat B ! (*massa proton* = $1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$, *muatan proton* = $+1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$).
13. Dalam tabung diode, sebuah elektron keluar dari katode tanpa kecepatan awal dan dipercepat menuju anode. Elektron menumbuk anode dengan kecepatan $4 \cdot 10^7 \text{ m/s}$. Tentukan beda potensial antara katode dan anode !

EVALUASI

1. Empat buah muatan A, B, C dan D bermuatan listrik. Titik A menolak B, titik B menarik C dan titik C menolak D. Jika muatan D negatif, maka muatan jenis A, B dan C adalah ...
 - a. positif, positif, negatif
 - b. positif, negatif, negatif
 - c. negatif, positif, positif
 - d. negatif, negatif, negatif
 - e. positif, positif, positif
2. Dua muatan berjarak 2 m berada di udara. Jika jarak kedua muatan dijadikan dua kali semula, besarnya gaya coulomb menjadi ... kali semula.
 - a. 4
 - b. $\frac{1}{4}$
 - c. $\frac{1}{8}$
 - d. $\frac{1}{16}$

- e. 16
3. Dua muatan $-9 \mu\text{F}$ dan $+6\mu\text{C}$ berada pada jarak 3 cm di udara. Besar gaya yang dialami kedua muatan N
- 0,054
 - 0,54
 - 5,4
 - 54
 - 540
4. Tiga buah titik bermuatan listrik besar dan jenisnya sama terletak pada sudut-sudut segitiga sama sisi ABC. Jika gaya antara dua titik = F, maka besar gaya Coulomb pada titik C adalah ...
- $\frac{1}{4} F \sqrt{2}$
 - $\frac{1}{3} F \sqrt{2}$
 - $\frac{1}{2} F \sqrt{2}$
 - $F \sqrt{2}$
 - $F \sqrt{3}$
5. Dua partikel bermuatan di dalam bahan tertentu menimbulkan gaya Coulomb 0,5 N dan di udara menimbulkan gaya 3 N. Besarnya permitivitas relatif bahan adalah ...
- 6
 - 4
 - 3
 - 2
 - 1
6. Tiga buah partikel A, B dan C masing-masing bermuatan $-2 \mu\text{C}$, $-8 \mu\text{C}$ dan $+3 \mu\text{C}$. Jika jarak AB 60 cm, partikel C diletakkan antara A dan B. Jarak partikel C dengan A agar tidak terpengaruh oleh gaya coulomb A dan B adalah ... m
- 0,1
 - 0,2
 - 0,4
 - 0,6
 - 0,8
7. Sebuah benda A 20 gram bermuatan $0,5 \mu\text{C}$ digantung pada seutas tali ringan yang massanya diabaikan. Tepat di kanan benda pada jarak 15 cm diletakkan benda B bermuatan $-1 \mu\text{C}$ sehingga benda A tertarik ke kanan dan menyimpang dengan sudut θ . Tegangan tali sebesar N
- 0,2
 - 0,24
 - 0,28
 - 0,32
 - 0,4
8. Pada titik sudut B dan D sebuah bujur sangkar ABCD masing-masing diletakkan muatan $+q$. Agar kuat medan listrik di titik A sama dengan nol, maka di titik C harus diletakkan sebuah partikel yang bermuatan
- $-q$
 - $+q$
 - $-q \sqrt{2}$
 - $+q \sqrt{2}$
 - $-2q \sqrt{2}$
9. artikel bermuatan $4 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ diletakkan di dalam medan listrik homogen $1,2 \cdot 10^5 \text{ N/C}$ akan mengalami gaya coulomb sebesar ... N
- $3,3 \cdot 10^{-24} \text{ C}$
 - $4,8 \cdot 10^{-14} \text{ C}$
 - $5,2 \cdot 10^{-24} \text{ C}$
 - $3,0 \cdot 10^{-23} \text{ C}$
 - $4,8 \cdot 10^{-24} \text{ C}$
10. Sebuah titik P terletak di sebelah kiri partikel A dan partikel B. Jarak PA = 1 m dan PB = 3 m. Jika kuat muatan A = $30 \mu\text{C}$ dan kuat medan di titik P sama dengan nol, besarnya muatan C adalah ... μC
- 270
 - 90
 - 90
 - 120
 - 270

11. Garis medan yang menembus bidang secara tegak lurus sebesar 6 Wb. Jika luas permukaan bidang $0,08 \text{ m}^2$, kuat medan listrik tersebut sebesar ... N/C
- 0,48
 - 62
 - 75
 - 125
 - 714
12. Bola konduktor muatannya $10 \text{ } \mu\text{C}$ dan jari-jarinya 10 cm. Besarnya kuat medan di titik yang berjarak 3 cm dari pusat bola adalah ... N/C
- 0
 - 3
 - 9
 - 18
 - 27
13. Dua plat paralel terpisah sejauh 6 cm. Jika diinginkan besar kuat medan listrik antara kedua plat 300 V/m, besarnya potensial yang digunakan adalah ... V
- 6
 - 12
 - 18
 - 24
 - 32
14. Dua muatan $5 \text{ } \mu\text{C}$ dan $-3 \text{ } \mu\text{C}$ berjarak 1 m. Besarnya potensial listrik di tengah-tengah kedua muatan adalah ...V
- 26000
 - 36000
 - 600000
 - 2600000
 - 3600000
15. Beda potensial antara titik A dan B akibat bola konduktor adalah 5400 V. Jika jarak A dengan bola 6 cm, jarak B dengan bola 8 cm, maka muatan bola konduktor adalah ... C
- $14,4 \cdot 10^{-8}$
 - $12 \cdot 10^{-8}$
 - $-14,4 \cdot 10^{-8}$
 - $-12 \cdot 10^{-8}$
 - $14,4 \cdot 10^8$
16. Potensial listrik di titik P 12000 V. Usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan $400 \text{ } \mu\text{C}$ ke titik tersebut adalah ... J
- 1,2
 - 2,4
 - 4,8
 - 8,4
 - 840
17. Dua muatan $10 \text{ } \mu\text{C}$ dan $40 \text{ } \mu\text{C}$ terpisah 6 cm. Sebuah muatan $-0,02 \text{ } \mu\text{C}$ diletakkan di titik C yang terletak ditengah-tengah kedua muatan. Energi potensial muatan di titik C sebesar J
- 10
 - 0,7
 - 0,3
 - 0,15
 - 0,1
18. Muatan A $5 \text{ } \mu\text{C}$ diletakkan di pusat koordinat. Muatan B $-2 \text{ } \mu\text{C}$ diletakkan pada koordinat (3,0) dan muatan C $4 \text{ } \mu\text{C}$ terletak pada koordinat (0,4). Energi potensial muatan C adalah J
- 3060
 - 306
 - 30,6
 - 0,306
 - 0,0306
19. Sebuah electron mula-mula diam lalu bergerak melalui beda potensial 1000 V. Energi kinetik akhirnya adalah J
- 1000
 - $1,6 \cdot 10^{-16}$
 - $5,7 \cdot 10^{-24}$
 - $-1,6 \cdot 10^{-31}$
 - $14,6 \cdot 10^{-50}$
20. Sebuah proton ($m = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ dan $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$) bergerak dari pelat positif menuju pelat negatif yang beda potensialnya 220 V. Kecepatan proton saat menumbuk pelat negatif jika pelat berada dalam ruang vakum adalah m/s
- 180000

- b. 20000
- c. 24000
- d. 27000
- e. 36000

5 KAPASITOR

Standar Kompetensi :

Menerapkan konsep kelistrikan dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah dan produk teknologi.

Kompetensi Dasar

- Memformulasikan gaya listrik, kuat medan listrik, fluks, potensial listrik, energi potensial listrik serta penerapannya pada keping sejajar.

Indikator

- Memformulasikan cara kerja kapasitor keping sejajar
- Menganalisis rangkaian kapasitor
- Menjelaskan pengaruh dielektrikum terhadap kapasitansi kapasitor keping sejajar
- Menentukan energi yang tersimpan dalam kapasitor

PENDALAMAN MATERI

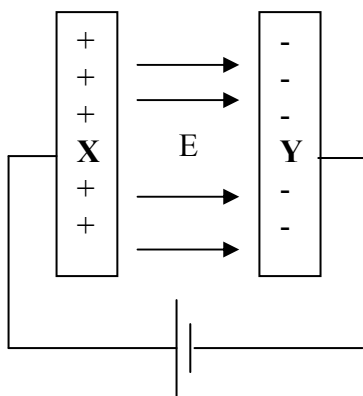
A. PRINSIP KERJA KAPASITOR

Kapasitor (kondensator) terdiri dari dua keping konduktor yang dipisahkan oleh isolator (zat dielektrikum). Kapasitor berfungsi untuk :

1. menyimpan muatan atau energi listrik
2. digunakan dalam rangkaian penala, berfungsi untuk memilih panjang gelombang pada pesawat radio
3. menghindari loncatan listrik pada rangkaian yang mengandung kumparan jika tiba-tiba arus listrik putus.
4. meratakan arus listrik pada rangkaian catu daya (memisahkan arus bolak-balik menjadi arus searah)
5. mengontrol frekuensi pada rangkaian osilator
6. penghubung (coupling) dan penyimpang arus (bypass)

Pengisian Kapasitor

Proses pengisian kapasitor dilakukan dengan menghubungkan kedua keping (pelat) kapasitor dengan ujung-ujung sumber tegangan. Perhatikan gambar berikut :



Kutub positif baterai akan menarik electron dari pelat X kapasitor dan memindahkan ke pelat Y, sehingga jumlah muatan positif pada pelat X sama dengan jumlah muatan negatif pada pelat Y kapasitor. Pada keadaan ini kapasitor dikatakan diisi dengan muatan. Proses pengisian kapasitor berlangsung sangat cepat.

Pengosongan kapasitor

Proses pengosongan kapasitor yang telah bermuatan listrik dilakukan dengan cara menghubungkan kedua pelat kapasitor melalui kawat atau resistor. Elektron dari pelat negatif akan mengalir menuju pelat positif, sebaliknya arus listrik mengalir dari pelat positif menuju pelat negatif. Keadaan ini terjadi

sampai kedua muatan saling menetralkan. Hal tersebut terjadi karena kedua muatan pada pelat kapasitor sama besar namun berlawanan jenis.

B. KAPASITAS KAPASITOR (KAPASITANSI)

Yaitu kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan listrik. Besarnya kapasitas sebuah kapasitor adalah :

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

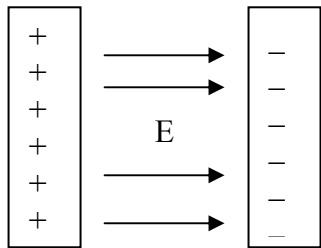
q = muatan yang tersimpan (C.)

V = beda potensial (V)

C = kapasitas-kapasitor (Farad = F)

Kapasitor yang dapat kita jumpai dan beredar luas di pasaran ada beberapa jenis, diantaranya yaitu kapasitor kertas, kapasitor keramik, kapasitor mylar, dan kapasitor elektrolit. Jenis kapasitor tersebut dibedakan berdasarkan bahan dielektrikum yang dipakai atau diselipkan diantara dua keping sejajarnya.

Kapasitas Kapasitor Keping Sejajar



Jika dua keping sejajar yang luasnya sama (A) diberikan muatan sama besar (q) berlawanan jenis, maka antara dua keeping timbul medan listrik (E) dari keeping positif menuju keeping negatif.

Rapat muatan tiap keeping (σ) adalah sebesar :

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

Karena $\phi = E \cdot A = \frac{q}{\epsilon}$, maka besarnya kuat medan listrik kedua keping adalah :

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

Besarnya potensial antara kedua keeping kapasitor adalah :

$$V = E \cdot r = \frac{q \cdot r}{A \cdot K \cdot \epsilon_0}$$

E = kuat medan listrik (N/C)

q = muatan keping (C.)

A = luas tiap keeping (m^2)

K = ϵ_r = permitivitas relatif bahan (konstanta dielektrik bahan)

σ = rapat muatan tiap keeping (C/m^2)

Jika di antara kedua keeping kapasitor terdapat bahan yang memiliki konstanta dielektrik K, maka besarnya kapasitas kapasitor keping sejajar adalah :

$$C = \frac{q}{V} = \frac{\epsilon \cdot A}{r} = \frac{K \cdot \epsilon_0 \cdot A}{r} = K \cdot C_0$$

A = luas tiap keeping (m^2)

$\epsilon = K \cdot \epsilon_0$ = permitivitas bahan

- ϵ_0 = permitivitas hampa udara
- K = konstanta dielektrikum bahan
- r = jarak antara keeping (m)
- C = kapasitas kapasitor saat kedua keeping terdapat bahan dengan konstanta dielektri K
- C_0 = kapasitas kapasitor saat kedua keeping terisi udara

Kapasitas Kapasitor Bola Konduktor

Besarnya kapasitas kapasitor bentuk bola adalah :

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

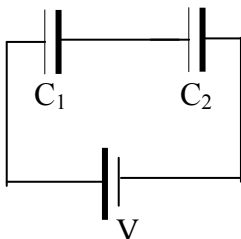
C. RANGKAIAN KAPASITOR

Kapasitor memiliki symbol :



Dua kapasitor atau lebih dapat dirangkai secara seri dan parallel.

1. Rangkaian Kapasitor SERI



Sifat-sifat rangkaian seri kapasitor :

a. Kapasitas kapasitor total seri sebesar :

$$\frac{1}{C_{seri}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}$$

b. muatan tiap kapasitor sama dengan muatan total

$$q_1 = q_2 = q_{seri} = C_{seri} \cdot V_{seri}$$

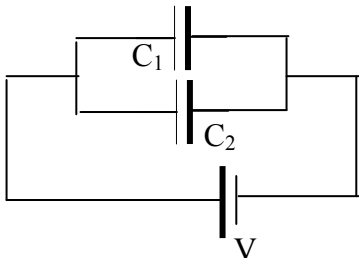
c. Besarnya potensial pada masing-masing kapasitor adalah :

$$V_1 = \frac{q_1}{C_1} = \frac{q_{seri}}{C_1}, \quad \text{dan} \quad V_2 = \frac{q_2}{C_2} = \frac{q_{seri}}{C_2}$$

d. Potensial total rangkaian seri adalah :

$$V_{seri} = V_1 + V_2$$

2. Rangkaian Kapasitor PARALEL



Sifat-sifat rangkaian paralel kapasitor :

a. Kapasitas kapasitor total parallel sebesar :

$$C_{par} = C_1 + C_2$$

b. Potensial tiap kapasitor sama dengan potensial total rangkaian

$$V_1 = V_2 = V_{par}$$

c. Besarnya muatan masing-masing kapasitor adalah :

$$q_1 = C_1 \cdot V_1 = C_1 \cdot V_{par}$$

$$q_2 = C_2 \cdot V_2 = C_2 \cdot V_{par}$$

d. Muatan total rangkaian paralel adalah :

$$q_{par} = q_1 + q_2$$

D. GABUNGAN DUA KAPASITOR

Dua kapasitor A dan B masing-masing kapasitasnya C_1 dan C_2 dan bermuatan listrik q_1 dan q_2 dapat digabungkan dengan cara menghubungkan kutub kapasitor yang polaritasnya sama. Gabungan ini mengakibatkan aliran muatan dari kapasitor yang beda potensialnya tinggi menuju kapasitor yang beda potensialnya rendah, hingga mencapai beda potensial yang sama (V_{gab}). Sehingga jumlah muatan kedua kapasitor sebelum digabung sama dengan setelah digabung.

$$q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2 = (C_1 + C_2) \cdot V_{gab}$$

$$V_{gab} = \frac{q_1 + q_2}{C_1 + C_2}$$

H. ENERGI KAPASITOR

Energi yang tersimpan dalam kapasitor berasal dari proses pemindahan muatan dari sumber tegangan menuju ke dalam kedua keeping kapasitor, sehingga terjadi beda potensial antara kedua keeping. Sebelum pemindahan beda potensial awal keeping kapasitor sama dengan nol, sehingga beda potensial rata-rata keeping kapasitor sebelum dan sesudah pemindahan adalah :

$$\bar{V} = \frac{q}{2C}$$

Usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan merupakan **energi yang tersimpan dalam kapasitor**, yaitu sebesar :

$$W = q \cdot \bar{V} = \frac{q^2}{2C} = \frac{CV^2}{2} = \frac{q \cdot V}{2} = \frac{\epsilon \cdot E^2 \cdot V_{olume}}{2}$$

Besarnya rapat energi dalam medan listrik adalah energi per volume diantara dua keeping kapasitor, yang besarnya :

$$\rho = \frac{W}{V_{olume}} = \frac{\epsilon \cdot E^2}{2} = \frac{K \cdot \epsilon_0 \cdot E^2}{2}$$

W = energi kapasitor (J)
 q = muatan kapasitor (C.)
 V = potensial kapasitor (V)
 C = kapasitas kapasitor (F)

- ε = permitivitas bahan
- ε_0 = permitivitas udara
- K = konstanta dielektrik bahan
- E = kuat medan listrik (N/C)
- V_{volume} = volume antara dua keeping (m^3)
- ρ = rapat energi dalam medan listrik (J/m^3)

Contoh Soal

Dua kapasitor 4 μF dan 2 μF disusun seri dihubungkan dengan potensial 6 V. Hitung energi yang tersimpan dalam dalam rangkaian !

Jawab :

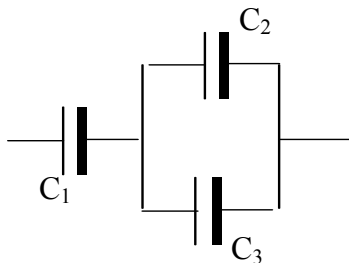
$$C_{\text{seri}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = 1,33 \mu\text{F} = 1,33 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

Jadi energi dalam rangkaian :

$$W = \frac{C_{\text{seri}} \cdot V^2}{2} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ Joule}$$

Uji Kompetensi

2. Sebuah kapasitor kapasitasnya 60 μF dihubungkan dengan baterai 6 V. Hitung :
 - a. muatan yang tersimpan dalam kapasitor
 - b. energi yang tersimpan dalam kapasitor
3. Kapasitor keeping sejajar dengan luas tiap keeping 1000 cm^2 , jarak antar keeping 1 cm. Kapasitor dihubungkan dengan sumber tegangan 12 V. Tentukan :
 - a. kapasitas kapasitor
 - b. rapat muatan tiap keeping
 - c. kuat medan listrik dalam kapasitor
 - d. muatan kapasitor, jika diantara keeping berisi udara
 - e. muatan kapasitor setelah antar keeping berisi kertas dengan nilai $K = 2$.
4. Kapasitor bola berdiameter 18 cm diberi tegangan 200 kV. Hitung muatan dan energi yang tersimpan dalam kapasitor !
5. Dua kapasitor 30 μF dan 90 μF disusun seri dan dihubungkan dengan sumber tegangan 6 V. Tentukan :
 - a. kapasitas kapasitor total
 - b. muatan masing-masing kapasitor
 - c. tegangan masing-masing kapasitor
 - d. energi masing-masing kapasitor
6. Tiga buah kapasitor A, B dan C masing-masing kapasitasnya 10 pF, 20 pF dan 30 pF dirangkai parallel. Setelah dihubungkan dengan sumber listrik, kapasitor A berisi muatan 1,2 nC. Tentukan :
 - a. kapasitas total
 - b. tegangan sumber listrik
 - c. muatan B dan C
7. Perhatikan rangkaian kapasitor berikut :



- Jika C_1 , C_2 dan C_3 masing-masing 3 μF , 2 μF dan 4 μF dan ujung-ujung rangkaian dihubungkan dengan potensial 300 V, tentukan :
- a. muatan pada masing-masing kapasitor
 - b. beda potensial masing-masing kapasitor
 - c. energi masing-masing kapasitor
8. Dua kapasitor bola A dan B masing-masing berdiameter 18 cm dan 27 cm, bermuatan masing-masing 1 μC dan -500 nC . Kedua kapasitor disentuhkan, tentukan :
 - a. potensial A sebelum disentuhkan
 - b. potensial A dan B setelah disentuhkan
 - c. muatan listrik konduktor A setelah disentuhkan

9. Kapasitor keeping sejajar, luas tiap kepingnya 200 cm^2 dan jarak antar keeping $0,5 \text{ cm}$. Kapasitor diisi bahan dielektrik ($K = 0,5$) dan dihubungkan dengan beda potensial 12 V . Hitung :
 - a. energi yang tersimpan dalam kapasitor
 - b. rapat energi dalam medan listriknya
10. Dua kapasitor $4 \mu\text{F}$ dan $5 \mu\text{F}$ masing-masing dihubungkan dengan baterai 6 V . Setelah baterai dilepas, kedua kaki kapasitor dihubungkan sehingga membentuk gabungan kapasitor. Tentukan muatan akhir tiap kapasitor setelah keduanya digabungkan !
11. Dua kapasitor keeping sejajar memiliki luas dan kapasitas sama. Salah satu kapasitor diisi bahan dengan konstanta dielektrik $2,5$. Jika keduanya dihubungkan dengan tegangan sama, tentukan perbandingan rapat energi kedua kapasitor !

EVALUASI

21. Kapasitor mempunyai kapasitas $50 \mu\text{F}$ dihubungkan dengan tegangan 10 V . Jika luas tiap keeping 1000 cm^2 , maka rapat muatan tiap keeping adalah ... C/m^2
 - a. $0,0005$
 - b. $0,005$
 - c. 500
 - d. 5000
 - e. 15000
22. Dua kapasitor 6 F dan 3 F di rangkai seri. Kapasitas totalnya adalah ... F
 - a. 2
 - b. 3
 - c. 6
 - d. 9
 - e. 15
23. Tiga kapasitor $2 \mu\text{C}$, $4 \mu\text{C}$ dan $10 \mu\text{C}$ di rangkai parallel dan dihubungkan dengan potensial 10 V . Muatan tiap kapasitor adalah ... μC
 - a. 185
 - b. 160
 - c. 96
 - d. 16
 - e. 12
24. Dua kapasitor $2 \mu\text{F}$ dan $3 \mu\text{F}$ dirangkai seri dan ujung-ujungnya diberi tegangan 10 V . Perbandingan muatan kedua kapasitor adalah ...
 - a. $1 : 1$
 - b. $1 : 2$
 - c. $1 : 3$
 - d. $2 : 1$
 - e. $3 : 2$
25. Kapasitor dengan luas tiap keeping 500 cm^2 dan jarak keeping $0,5 \text{ cm}$ memiliki kapasitas sebesar ... pF
 - a. $0,5$
 - b. $0,8$
 - c. $1,85$
 - d. $8,5$
 - e. $88,5$
26. Kapasitor $2 \mu\text{F}/15 \text{ V}$ dihubungkan dengan kapasitor $4 \mu\text{F}/30 \text{ V}$ dengan menghubungkan ujung-ujung kedua platnya. Potensial gabungannya adalah V
 - a. 0
 - b. $12,5$
 - c. 15
 - d. 25
 - e. 45
27. Kapasitas kapasitor keeping sejajar adalah $12,5 \mu\text{F}$. Setelah disipkan bahan dielektrik kapasitasnya menjadi $37,5 \mu\text{F}$. Permittifitas relatif bahan dielektrik sebesar ...
 - a. 0
 - b. 1
 - c. 2
 - d. 3
 - e. 4
28. Dua kapasitor A dan B masing-masing kapasitasnya 4 pF dan 8 pF diparalel dan dihubungkan dengan baterai. Jika kapasitor A bermuatan $36 \cdot 10^{-12} \text{ C}$, besarnya potensial baterai adalah V
 - a. $1,5$
 - b. 3
 - c. $4,5$

- d. 6
e. 9
29. Dua kapasitor jika disusun seri kapasitasnya totalnya 2 F dan jika disusun parallel kapasitas totalnya 9 F. Besarnya kapasitas masing-masing kapasitor adalah ... F
- a. 1 dan 8
b. 2 dan 7
c. 3 dan 6
d. 4 dan 5
e. 0 dan 9
30. Sejumlah n buah kapasitor disusun seri kemudian dirangkai dengan n buah kapasitor yang disusun parallel. Jika tiap kapasitor kapasitasnya = C , kapasitas total rangkaian tersebut adalah ...
- a. $\frac{n.C}{(n^2 + 1)}$
b. $\frac{n.C}{n^2}$
c. $\frac{C}{(n^2 + 1)}$
d. $\frac{(n^2 - 1)}{n.C}$
e. $\frac{n.C}{2}$

3. Medan Magnetik

Standar Kompetensi :

Menerapkan konsep kelistrikan dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah dan produk teknologi.

Kompetensi Dasar :

Menerapkan induksi magnetik dan gaya magnetik pada beberapa produk teknologi.

Indikator

- Memformulasikan induksi magnetik di sekitar kawat berarus listrik (hukum Biot Savart)
- Memformulasikan hukum Ampere
- Mengaplikasikan hukum Biot Savart dan hukum Ampere untuk menentukan kuat medan magnet oleh berbagai bentuk kawat berarus listrik
- Memformulasikan gaya magnet (Lorent) pada kawat berarus yang berada dalam medan magnet atau partikel bermuatan yang bergerak dalam medan magnet.
- Mengaplikasikan gaya Lorent pada persoalan fisika sehari-hari.

PENDALAMAN MATERI

A. PENGERTIAN MEDAN MAGNET

Medan magnet diartikan sebagai daerah (ruang) disekitar magnet yang masih dipengaruhi oleh gaya magnet. Magnet sering diartikan sebagai benda yang dapat menarik benda lain. Jika sepotong besi ditempatkan dekat magnet alam, maka besi akan mempunyai sifat magnet seterusnya, dan jika besi magnet ini digantung bebas, maka besi magneti akan menempatkan diri dalam arah utara-selatan. Kutub magnet yang mengarah utara disebut kutub selatan dan kutub magnet yang mengarah ke selatan disebut kutub utara. Hal ini disebabkan kutub magnet bumi berlawanan dengan arah dengan kutub bumi. Besaran yang menyatakan tentang medan magnet disebut **Induksi Magnet** (diberi lambang B). Induksi magnet sering disebut rapat fluks magnet, kuat medan magnet atau intensitas medan magnet. Induksi magnet merupakan besaran Vektor yang memiliki nilai dan arah.

Dua kutub magnet sejenis yang saling didekatkan akan tolak menolak, dan dua kutub magnet tak sejenis akan saling tarik menarik.

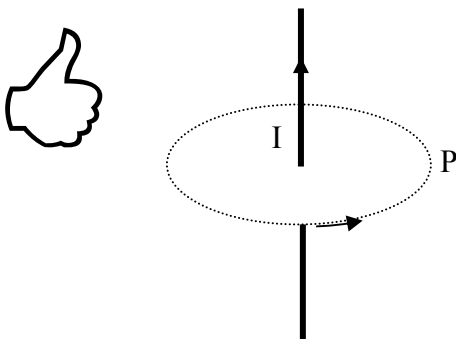
Faraday menggambarkan arah gaya magnetik dengan garis gaya magnet. Garis gaya magnetik keluar dari kutub utara dan masuk ke kutub selatan. Arah medan magnet di suatu titik pada garis gaya magnet merupakan garis singgung pada titik tersebut.

B. MEDAN MAGNET DI SEKITAR KAWAT LURUS BERARUS LISTRIK

Besarnya medan magnet di suatu titik disebut induksi magnet atau kuat medan magnet. Pada tahun 1820 **Oersted** menemukan bahwa arus listrik yang mengalir dalam kawat konduktor dapat menghasilkan efek magnetik.

Dari percobaan Oersted, jika jarum kompas diletakkan di atas kawat berarus listrik, maka jarum kompas akan menyimpang. Ini membuktikan bahwa di sekitar kawat berarus listrik terdapat medan magnet.

Kuat medan magnet di sekitar kawat berarus sebanding dengan besarnya kuat arus listrik dan berbanding terbalik pada jarak suatu titik dengan kawat.



Arah medan magnet di sekitar kawat lurus berarus listrik dapat dinyatakan dengan kaidah tangan kanan. Jika kita menggenggam kawat, maka ibu jari menggambarkan arah arus listrik, dan lipatan keempat jari lain merupakan arah induksi magnet.

Dari percobaan Oersted, Biot dan Savart menemukan hukum Biot-Savart. Menurut Biot-Savart, Besarnya induksi magnet di titik P yang berjarak a dari kawat lurus panjang berarus listrik I adalah :

$$B = \frac{\mu_o \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a}$$

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

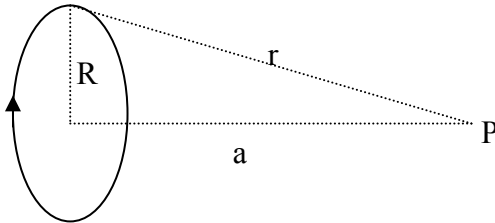
μ_o = permeabilitas ruang hampa ($4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Wb/A.m}$)

I = kuat arus listrik (A)

a = jarak titik terhadap kawat (m)

C. MEDAN MAGNET PADA PUSAT ARUS MELINGKAR

Perhatikan gambar kawat melingkar berarus listrik berikut :



Sebuah titik P berjarak a dari pusat kawat melingkar berarus listrik (I) berjari-jari (R). Jarak titik P dengan keliling kawat = r . Besarnya induksi magnet di titik P adalah :

$$B = \frac{\mu_o \cdot I \cdot R \cdot \sin \alpha}{2 \cdot r^2}$$

R = jari-jari kawat melingkar (m)

α = sudut apit di titik P

r = jarak titik P ke keliling kawat

$$r = \sqrt{a^2 + R^2}$$

a = jarak titik P dengan pusat lingkaran

Besarnya induksi magnet di pusat lingkaran kawat ($a = 0$, $R = r$, $\alpha = 90^\circ$) adalah :

$$B = \frac{\mu_o \cdot I}{2 \cdot R}$$

D. HUKUM AMPERE

Hukum Biot-Savart sangat baik digunakan untuk menggambarkan hubungan antara medan magnet dengan arus pada kawat lurus panjang, namun sulit untuk diterapkan pada lilitan kawat seperti pada solenoide dan toroide. Untuk itu Andre Marie Ampere menyusun hukum Ampere tentang induksi magnet sebagai berikut :

“Jumlah perkalian antara komponen tangensial induksi magnet (B) dan panjang elemen (ΔL) pada suatu sirkuit tertutup sama dengan perkalian antara permeabilitas vakum dengan kuat arus.”

$$\Sigma(B \cdot \Delta L) = \mu_o \cdot I$$

E. MEDAN MAGNET PADA KUMPARAN BERARUS LISTRIK (SOLENOIDE)

Jika sebuah solenoide panjangnya L terdiri dari lilitan sebanyak N berarus listrik I , maka :

- Besarnya induksi magnet di pusat solenoide adalah :

$$B = \frac{\mu_o \cdot I \cdot N}{L} = \mu_o \cdot I \cdot n$$

$$n = \frac{N}{L}$$

- Besarnya induksi magnet di ujung solenoide sebesar :

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

Jadi besarnya induksi magnet di ujung solenoide sebesar setengah dari besarnya induksi magnet di pusat solenoide.

F. MEDAN MAGNET PADA TOROIDE

Toroide adalah solenoide yang dilengkungkan sehingga sumbunya membentuk lingkaran. Besarnya induksi magnet pada sumbu toroide di rumuskan :

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

B = induksi magnet (T)

N = banyak lilitan

I = kuat arus (A)

R = jari-jari lingkaran toroide (m)

G. MEDAN MAGNET OLEH MAGNET BATANG

Sebuah magnet batang yang memiliki kuat kutub magnet m , akan menimbulkan medan magnet di sekitar magnet tersebut. Besarnya induksi magnet yang di timbulkan oleh magnet batang adalah :

$$B = \frac{k \cdot m}{r^2}$$

B = induksi magnet (T)

k = tetapan = 10^{-7} Wb/A.m

m = kuat kutub magnet (A.m)

r = jarak titik dengan kutub magnet (m)

Dua magnet batang dengan kuat kutub magnet m_1 dan m_2 yang saling didekatkan pada jarak r akan terjadi gaya magnet sebesar :

$$F = \frac{k \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

F = gaya kedua kutub magnet (N)

Secara mikroskopis, sifat-sifat kemagnetan suatu bahan dapat dibagi dalam 3 kelompok, yaitu :

1. Ferromagnetik, yaitu bahan magnetic yang sangat kuat menarik garis-garis gaya magnet luar, contoh : besi, nikel, kobalt dan baja.
2. Paramagnetik, yaitu bahan magnetic yang sangat lemah menarik garis-garis gaya magnet luar, contoh : aluminium, platina, kayu.
3. Diamagnetik, yaitu bahan yang tidak menarik garis-garis gaya magnetic luar, bahkan sedikit menolak, contoh : tembaga, emas, seng, bismuth, garam dapur.

Contoh Soal

Hitunglah besarnya induksi magnet pada suatu titik yang berjarak 10 cm dari sebuah kawat sangat panjang yang dialiri arus listrik 5 A !

Jawab :

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2 \cdot \pi \cdot a} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 5}{2\pi \cdot 0,1} = 10^{-5} \text{ Tesla}$$

Uji Kompetensi

1. Hitunglah besarnya induksi magnet pada suatu titik yang berjarak 8 cm dari sebuah kawat sangat panjang yang dialiri arus listrik 4 A !

- Dua kawat konduktor A dan B diletakkan pada jarak 12 cm satu sama lainnya, berarus listrik masing-masing 2 A dan 4 A. Arah kedua arus listrik sama. Tentukan besarnya induksi magnet di titik P yang terletak di tengah-tengah kedua kawat !
- Dua kawat konduktor P dan Q diletakkan pada jarak 20 cm satu sama lainnya, berarus listrik masing-masing 1 A dan 2 A. Arah kedua arus listrik berlawanan arah. Tentukan besarnya induksi magnet di titik X yang terletak di tengah-tengah kedua kawat !
- Dua kawat A dan B berjarak 15 cm berarus listrik 8 A dan 4 A dengan arah sama. Tentukan letak titik P yang mempunyai induksi magnet sama dengan nol !
- Sebuah kawat berbentuk lingkaran berjari-jari 3 cm mengalir arus 5 A. Hitunglah induksi magnet :
 - di pusat lingkaran kawat
 - di titik P yang berjarak 4 cm dari pusat lingkaran kawat.
- Induksi magnet di pusat lingkaran kawat $8\pi \cdot 10^{-5}$ T. Jika jari-jari lingkaran kawat 20 cm dan banyak lilitan kawat 40 buah, berapa kuat arus yang mengalir ?
- Kawat di bentuk $\frac{1}{4}$ lingkaran kawat dengan jari-jari 3 m dialiri arus 6 A. Hitung besarnya induksi magnet di pusat lingkaran kawat !
- Sebuah solenoide memiliki 5 lilitan per cm panjang. Pada saat dialiri arus listrik 0,8 A, tentukan induksi magnet pada sebuah titik yang berada di :
 - tengah-tengah
 - ujung solenoide
- Sebuah toroide berjari-jari efektif 40 cm di aliri arus listrik 20 A dan memiliki 60 lilitan. Hitung besarnya induksi magnet di sumbu toroide !
- Sebuah solenoide panjangnya 25π cm dengan 10 lilitan di aliri arus sebesar 15 A. Besarnya induksi magnet di pusat solenoide ternyata sama dengan induksi magnet pada sumbu sebuah toroide yang berjari-jari 60 cm dengan 20 lilitan. Tentukan :
 - kuat arus yang melalui toroide
 - induksi magnet di pusat dan di ujung solenoide

H. GAYA LORENTZ

Gaya Lorentz adalah gaya yang ditimbulkan oleh medan magnet pada arus listrik. Arah gaya lorent tegak lurus terhadap arah arus listrik dan arah medan magnet. Arah gaya Lorent dapat ditentukan dengan aturan tangan kanan. Ibu jari menggambarkan arah arus listrik, jari telunjuk menunjukkan arah medan magnet dan jari lain arah gaya Lorent.

Gaya Lorentz Yang Dialami Sebuah Kawat Lurus

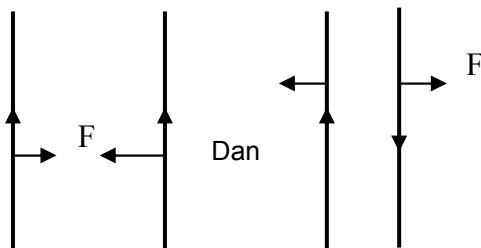
Bila sebuah kawat panjangnya L berarus listrik I diletakkan di dalam medan magnet homogen B maka kawat akan mengalami gaya Lorentz. Jika kawat penghantar membentuk sudut α terhadap arah medan magnet, maka induksi magnet yang dialami kawat sebesar :

$$F = B.I.L.\sin \alpha$$

F = gaya Lorentz (N)
 B = induksi magnet (T)
 I = kuat arus listrik (A)
 L = panjang kawat (m)
 α = sudut ($^{\circ}$)

Gaya Lorent pada Kawat Sejajar Berarus Listrik

Dua kawat panjang sejajar berjarak r yang dialiri arus listrik I_1 dan I_2 akan saling berinteraksi. Jika arah kedua arus listrik sama, maka akan terjadi gaya lorent yang berupa gaya tarik menarik. Sebaliknya jika kedua arah arus berlawanan, gaya lorent kedua kawat akan saling tolak menolak.



Besarnya gaya Lorentz yang ditimbulkan oleh kedua kawat sejajar adalah :

$$F = \frac{\mu_o I_1 I_2}{2.\pi.r}$$

I_1 dan I_2 = kuat arus kawat 1 dan 2 (A)
 r = jarak kedua kawat (m)

Gaya Lorentz Yang dialami Muatan

Sebuah partikel bermuatan listrik q yang bergerak dengan kecepatan v di dalam medan magnet B , akan mengalami gaya Lorentz. Jika arah gerak partikel terhadap arah medan magnet membentuk sudut α , maka gaya Lorentz yang dialami partikel sebesar sebesar :

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

F = gaya Lorentz (N)
 B = induksi magnet (T)
 q = muatan listrik (C.)
 v = kecepatan partikel (m/s)
 α = sudut

Jika arah gerak partikel dan arah induksi magnet tegak lurus ($\alpha = 90^\circ$), maka partikel akan bergerak melingkar dengan jari-jari R . Partikel tersebut akan mengalami dua gaya sekaligus, yaitu gaya Lorentz dan gaya sentripetal yang besarnya sama.

Gaya Lorentz dapat diaplikasikan dalam pembuatan peralatan seperti motor listrik, galvanometer dan siklotron (alat untuk menghasilkan partikel berenergi tinggi)

$$F_{\text{lorent}} = F_{\text{sentripetal}}$$

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

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

R = jari-jari lintasan partikel (m)
 m = massa partikel (Kg)

*) massa elektron = $9,1 \times 10^{-31}$ Kg

I. MOMEN KOPEL PADA KUMPARAN

Jika sebuah kumparan berarus listrik diletakkan di dalam medan magnet, maka kumparan akan mengalami momen kopel (momen puntir = Torsi) sehingga kumparan dapat berputar. Peristiwa ini dapat diterapkan pada peralatan listrik seperti galvanometer dan motor listrik

Perhatikan kumparan persegi panjang yang terletak di dalam medan magnet berikut :



Sebuah kumparan yang luasnya A (PQRS) terdiri dari N buah lilitan dan berarus listrik I yang terletak di dalam medan magnet B dengan posisi arah normal bidang kumparan terhadap arah medan magnet membentuk sudut α (pada gambar tersebut $\alpha = 90^\circ$), maka kumparan akan mengalami momen puntir (torsi) sebesar:

$$\tau = N \cdot I \cdot B \cdot A \cdot \sin \alpha$$

τ = momen puntir (Nm)
 N = banyak lilitan kumparan
 I = kuat arus kumparan (A)
 B = kuat medan magnet (T)
 A = luas kumparan (m^2)
 α = sudut antara normal bidang kumparan dengan arah medan magnet.

Contoh Soal

Sebuah partikel bermuatan $2 \cdot 10^{-6}$ C bergerak secara tegak lurus dalam medan magnet 0,06 T, sehingga lintasannya melingkar dengan jari-jari 60 cm. Tentukan momentum yang dimiliki partikel tersebut !

Jawab :

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

$$m \cdot v = p = \text{momentum}$$

$$p = m \cdot v = B \cdot q \cdot R = 0,06 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,6$$

$$p = 7,2 \cdot 10^{-8} \text{ kgm/s}$$



- Sebuah kawat penghantar panjangnya 10 cm dialiri arus 10 A ditempatkan secara pada medan magnet 10 T. Tentukan besarnya gaya lorent yang dialami kawat, jika posisi kawat terhadap medan magnet :
 - tegak lurus
 - miring 30°
 - sejajar
- Dua kawat sejajar berjarak 20 cm mengalir arus listrik sama besar tetapi berlawanan arah. Kedua kawat terjadi gaya lorent sebesar $6 \cdot 10^{-4}$ N/m. Tentukan besarnya kuat arus listrik yang mengalir pada masing-masing kawat !
- Partikel bermuatan positif $1,6 \cdot 10^{-19}$ C bergerak vertical ke atas dengan kecepatan $6 \cdot 10^6$ m/s dalam medan magnet dan menerima gaya ke barat sebesar $9 \cdot 10^{-14}$ N. Tentukan besar dan arah medan magnet yang mempengaruhi partikel tersebut !
- Sebuah proton bermuatan $1,6 \cdot 10^{-19}$ C bermassa $1,7 \cdot 10^{-27}$ Kg bergerak ke bawah dalam medan magnet homogen yang besarnya 1,5 T ke utara. Jika proton dipercepat dengan beda potensial $5 \cdot 10^6$ Volt, tentukan besar dan arah gaya lorent yang dialami proton tersebut !
- Sebuah proton bermuatan $1,6 \cdot 10^{-19}$ C bermassa $1,67 \cdot 10^{-27}$ Kg bergerak dengan kecepatan $1,6 \cdot 10^7$ m/s tegak lurus medan magnet homogen 0,05 T. Tentukan jari-jari lintasan proton !
- Elektron bermuatan $1,6 \cdot 10^{-19}$ C dan bermassa $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg bergerak dalam lintasan lingkaran dengan jari-jari 1,2 cm tegak lurus terhadap medan magnet homogen. Jika kecepatan electron 10^7 m/s, hitung jumlah fluks magnet yang dilingkari lintasan tersebut !
- Sebuah kumparan berbentuk persegi dengan sisi 30 cm terdiri dari 80 lilitan dialiri arus 6 A dan ditempatkan tegak lurus pada medan magnet, sehingga kumparan mengalami torsi sebesar 0,2 N. Tentukan besarnya induksi magnet tersebut !
- Sebuah partikel bermassa 0,5 gram bermuatan $2,5 \cdot 10^{-8}$ C bergerak dengan kecepatan $8 \cdot 10^4$ m/s. Tentukan besar dan arah medan magnet minimum yang dapat membuat partikel tersebut tetap bergerak dengan arah horizontal !



- Sebuah kawat dialiri arus listrik dari barat ke timur. Arah medan magnet di titik yang terletak di atas kawat adalah ...
 - utara
 - selatan
 - atas
 - bawah
 - barat daya
- Berdasarkan hukum Biot-Savart, pernyataan yang benar adalah ...
 - besar induksi magnet berbanding lurus dengan kuat arus listrik dan berbanding terbalik dengan panjang penghantar
 - besar induksi magnet berbanding terbalik dengan kuat arus listrik dan berbanding lurus dengan panjang penghantar
 - besar induksi magnet berbanding lurus dengan kuat arus listrik dan panjang penghantar
 - besar induksi magnet berbanding terbalik dengan kuat arus listrik dan panjang penghantar
 - besar induksi magnet berbanding lurus dengan kuat arus listrik dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak titik dengan penghantar
- Jarak titik P dari penghantar yang berarus 15 A agar induksi magnetiknya $4 \cdot 10^{-5}$ T adalah ... cm
 - 10
 - 15
 - 25
 - 50
 - 75

4. Dua kawat A dan B sejajar berjarak 40 cm dialiri arus sama 5 A dengan arah sama. Besarnya induksi magnet di titik P yang terletak antara kedua kawat berjarak 30 cm dari kawat A adalah ... T
 - a. $6,7 \cdot 10^{-8}$
 - b. $6,7 \cdot 10^{-7}$
 - c. $6,7 \cdot 10^{-6}$
 - d. $6,7 \cdot 10^{-5}$
 - e. $6,7 \cdot 10^{-4}$
5. Dua kawat A dan B sejajar terpisah sejauh 10 cm. Pada kawat B mengalir arus 6 A ke atas. Sebuah titik X terletak 5 cm di sebelah kiri kawat A. Agar induksi magnet di titik X sama dengan nol, maka besarnya kuat arus listrik di kawat A dan arahnya adalah ...
 - a. 1 A ke atas
 - b. 1 A ke bawah
 - c. 2 A ke atas
 - d. 2 A ke bawah
 - e. 4 A ke atas
6. Induksi magnet di pusat lingkaran kawat $8\pi \cdot 10^{-5}$ T. Jari-jari lingkaran kawat 20 cm dan terdiri dari 40 lilitan. Besarnya arus yang mengalir pada kawat adalah A
 - a. 0,02
 - b. 0,2
 - c. 2
 - d. 20
 - e. 200
7. Sebuah solenoide berarus 5 A terdiri dari 1200 lilitan memiliki induksi magnet di ujung solenoide $2 \cdot 10^{-2}$ T, maka panjang solenoide adalah ... cm
 - a. 12
 - b. 9
 - c. 6
 - d. 3
 - e. 2
8. Untuk memperbesar induksi magnet dalam toroide dapat ditambahkan bahan ...
 - a. aluminium
 - b. emas
 - c. baja
 - d. fiber
 - e. oksigen padat
9. Sebuah toroide berjari-jari 20 cm berarus listrik 10 A, memiliki induksi magnet di sumbunya $1,8 \cdot 10^{-4}$ T. Banyak lilitan toroide adalah ... lilitan
 - a. 62
 - b. 36
 - c. 24
 - d. 18
 - e. 9
10. Kawat mendatar panjangnya 25 cm bermassa 200 gr melayang di udara dalam keadaan setimbang. Besar medan magnet di tempat itu 0,08 T tegak lurus kawat. Besarnya arus listrik dalam kawat adalah ... A.
 - a. 5
 - b. 8
 - c. 10
 - d. 12
 - e. 15
11. Sebuah kawat dialiri arus listrik ke timur dan diletakkan tegak lurus dalam medan magnet yang arahnya ke utara. Arah gaya Lorent yang dialami kawat adalah ke ...
 - a. barat
 - b. selatan
 - c. atas
 - d. bawah
 - e. tenggara
12. Kawat berarus membentang dialiri arus listrik ke barat. Sebuah electron bergerak di bawah kawat tersebut ke timur. Arah gaya lorent yang dialami electron adalah ...
 - a. bawah
 - b. atas
 - c. timur
 - d. barat
 - e. selatan
13. Perhatikan alat-alat berikut :
 - 1) generator
 - 2) galvanometer
 - 3) Voltmeter
 - 4) Motor listrik
 Alat yang bekerja berdasarkan timbulnya gaya magnet adalah ...
 - a. 1,3
 - b. 2,4
 - c. 1,2,3

- d. 2,3,4
e. semua benar
14. Jika proton bergerak ke utara dalam medan magnet ke timur, maka proton akan
a. di belokkan ke timur
b. dibelokkan ke barat
c. dibelokkan ke atas
d. dibelokkan ke bawah
e. bergerak lurus
15. Lintasan sebuah electron yang bergerak dalam medan magnet dengan kecepatan sejajar arah medan adalah ...
a. lingkaran
b. ellips
c. garis lurus
d. parabola
e. heliks
16. Kawat vertical berarus 10 A ke atas. Sebuah electron berkecepatan 50000 m/s bergerak di sebelah timur kawat berjarak 1 cm akan mengalami gaya Lorent sebesar ... N
a. $3,2 \cdot 10^{-18}$
b. $1,6 \cdot 10^{-18}$
c. $1,6 \cdot 10^{-20}$
d. $8 \cdot 10^{-21}$
e. $8 \cdot 10^{-20}$
17. Sebuah proton meluncur dengan laju $15 \cdot 10^4$ m/s memasuki medan magnet 18 mT membentuk sudut 45° terhadap garis gaya magnet. Proton akan mengalami gaya sebesar ...N
a. $2 \cdot 10^{-17}$
b. $2 \cdot 10^{-16}$
c. $1,92 \cdot 10^{-17}$
d. $1,92 \cdot 10^{-16}$
e. $1,56 \cdot 10^{-15}$
18. Proton bergerak dalam medan magnet 0,1 T membentuk lintasan melingkar dengan radius 5 cm. Energi kinetik electron adalah ... J
a. $1,9 \cdot 10^{-16}$
b. $2,2 \cdot 10^{-16}$
c. $2,9 \cdot 10^{-16}$
d. $3,5 \cdot 10^{-16}$
e. $4,0 \cdot 10^{-16}$
19. Sebuah partikel bermassa $3 \cdot 10^{-27}$ Kg dan bermuatan $1,6 \cdot 10^{-19}$ C masuk medan magnetic 0,05 T dengan laju $2 \cdot 10^5$ m/s membentuk sudut 30° terhadap arah medan magnet. Radius lintasannya adalah ... cm
a. 1
b. $2\sqrt{2}$
c. 4
d. $6\sqrt{3}$
e. 6,5
20. Sebuah partikel bermuatan q bermassa m bergerak melingkar dalam medan magnetic B dengan jari-jari R. Besarnya kuat kecepatan sudut partikel adalah ...
a. $w = \frac{m}{B \cdot q}$
b. $w = \frac{B \cdot q}{m \cdot R}$
c. $w = \frac{B \cdot q}{m}$
d. $w = \frac{m \cdot R}{B \cdot q}$
e. $w = \frac{B \cdot q}{2 \cdot m \cdot \pi}$

4. INDUKSI ELEKTROMAGNET

Standar Kompetensi :

Menerapkan konsep kelistrikan dan kemagnetan dalam berbagai penyelesaian masalah dan produk teknologi.

Kompetensi Dasar

- Memformulasikan konsep induksi Faraday dan arus bolak-balik, serta penerapannya

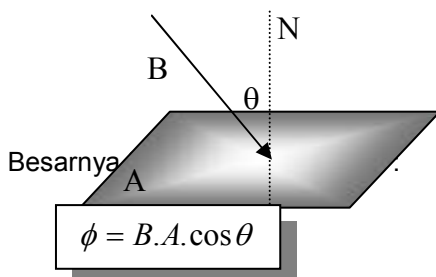
Indikator

- Memformulasikan konsep induksi elektromagnetik
- Mengaplikasikan konsep induksi elektromagnetik Faraday pada persoalan fisika sehari-hari seperti generator listrik, kepala kaset, inductor dan transformator
- Memformulasikan arus dan tegangan bolak-balik serta parameter-parameternya
- Memecahkan persoalan rangkaian yang berkaitan dengan Induksi elektromagnetik pada transformator
- Memformulasikan permasalahan efisiensi dan kehilangan daya pada transformator

PENDALAMAN MATERI

A. FLUKS MAGNETIK

Fluks magnetic (ϕ) didefinisikan sebagai jumlah garis gaya magnetic yang menembus tegak lurus suatu bidang kumparan. Berdasarkan operasi vector, fluks magnetic didefinisikan sebagai perkalian scalar antara vector induksi magnetic B dengan vector luas bidang A.

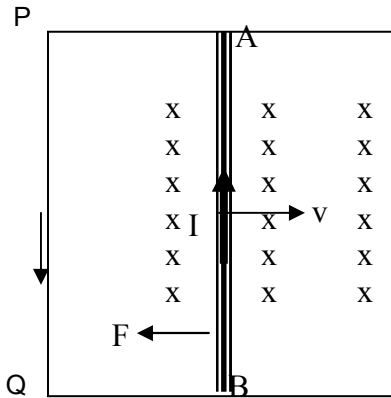


- ϕ = fluks magnetic (Wb)
- B = medan magnet (T)
- N = garis normal
- θ = sudut
- A = luas bidang (m^2)

B. GGL INDUKSI

Jika sebuah kawat lurus di gerakkan dengan kelajuan tertentu memotong dalam medan magnet homogen, maka antar ujung-ujung

penghantar timbul beda potensial yang disebut *gaya gerak listrik (GGL) induksi*. Jika ujung-ujung kawat dihubungkan dengan sehingga terbentuk rangkaian tertutup, maka dalam kawat akan mengalir arus listrik yang disebut *arus induksi*. (Secara mikroskopik, elektron yang berada dalam penghantar mendapat gaya magnetik, sehingga mengalirlah arus induksi pada penghantar)



Jika kawat AB yang panjangnya (L) digerakkan dengan kecepatan v dalam medan magnet (B) yang arahnya masuk bidang, maka muatan positif dalam kawat akan mendapatkan gaya ke atas dan electron mendapatkan gaya ke bawah, sehingga timbul gaya Lorentz ke kiri (*Arah Gaya Lorentz yang timbul ini bersesuaian dengan Hukum Lens*). Arah arus induksi searah dengan arah gerak muatan positif, yaitu ke atas.

Besarnya GGL induksi pada ujung-ujung kawat AB adalah :

$$\varepsilon = B.L.v.\sin\theta$$

Pada kawat AB akan mengalir arus induksi yang besarnya :

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

- ε = GGL induksi (Volt)
- B = induksi magnet (T)
- L = panjang kawat (m)
- v = kecepatan gerak kawat (m/s)
- I = arus induksi (A)
- R = hambatan kawat PQ (Ω = ohm)
- θ = sudut antara v dan B

C. HUKUM FARADAY

Perhatikan gambar skema percobaan Faraday berikut :



Batang magnet di masukkan ke dalam kumparan, dan selama gerakan magnet batang jarum galvanometer menyimpang dari kedudukan semula. Pada saat magnet berhenti bergerak, jarum galvanometer kembali ke kedudukan semula. Pada saat magnet ditarik, jarum galvanometer menyimpang lagi dari kedudukan semula, tetapi arahnya berlawanan dengan pada saat magnet mendekati kumparan. Ini menunjukkan bahwa dalam rangkaian terjadi arus listrik (arus induksi) akibat beda tegangan yang disebut GGL induksi.

Hukum Faraday menyatakan bahwa :

“GGL induksi yang terjadi pada ujung-ujung kumparan besarnya berbanding lurus dengan cepat perubahan fluks magnetik yang melingkupinya”.

Jadi besarnya GGL induksi pada sebuah kumparan dengan N buah lilitan adalah :

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

- N = banyak lilitan kumparan
- $\frac{d\phi}{dt}$ = laju perubahan fluks magnetik

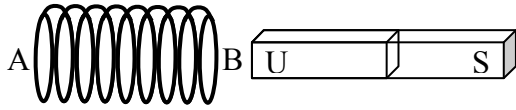
D. HUKUM LENS

Hukum Faraday hanya menunjukkan besarnya GGL induksi pada kumparan, dan belum dapat menunjukkan arah arus induksi dalam kumparan.

Hukum Lens berbunyi :

“Arus induksi mengalir pada penghantar atau kumparan dengan arah berlawanan dengan gerakan yang menghasilkannya” atau “medan magnet yang ditimbulkannya melawan perubahan fluks magnet yang menimbulkannya”.

Perhatikan gambar kumparan dan magnet batang berikut :



- Jika kutub U magnet batang di dekatkan kumparan AB, maka akan terjadi penambahan garis gaya magnet arah BA yang dilingkupi kumparan.
- Sesuai dengan hukum Lens, maka akan timbul garis gaya magnet baru arah AB untuk menentang penambahan garis gaya magnet tersebut.
- Garis gaya magnet baru arah AB ditimbulkan oleh arus induksi pada kumparan.
- Jika kutub U magnet batang dijauhkan, maka akan terjadi kebalikannya.

Contoh Soal

Penghantar berhambatan 10 ohm berbentuk U diletakkan dalam medan magnet 0,4 T. Di atas penghantar diletakkan kawat lurus panjangnya 10 cm dan digerakkan ke kanan, sehingga timbul arus induksi 0,05 A. Hitunglah kecepatan gerak kawat !

Jawab :

$$I = \frac{\varepsilon}{R} = \frac{B.L.v}{R}$$

$$\text{jadi } v = \frac{I.R}{B.L} = \frac{0,05.10}{0,4.0,1} = 12,5 \text{ m/s}$$

Uji Kompetensi

- Sebuah penghantar bergerak memotong medan magnet 15 T dengan sudut 45° selama 0,2 detik. Jika luas fluks yang terpotong $0,08 \text{ m}^2$, hitunglah GGL induksi yang timbul !
- Sebuah kawat hambatannya 20 ohm digerakkan dalam medan magnet 2,2 T dengan kecepatan 0,2 m/s tegak lurus medan magnet. Hitung :
 - GGL induksi yang timbul
 - Kuat arus induksi
- Sebuah magnet digerakkan menjauhi kumparan yang jumlah lilitannya 1000 buah selama 0,001 detik sehingga timbul GGL induksi 1,5 V mengasilkan fluks magnetic 0,00004 Wb. Tentukan fluks magnetic sebelumnya !
- Sebuah kawat lurus PQ panjangnya 1 cm digerakkan tegak lurus dalam medan magnet 0,6 T dengan kecepatan 2,5 m/s. Jika hambatan kawat 0,03 ohm, tentukan gaya lorent yang dialami kawat PQ !
- Sebuah kawat melingkar berhambatan 8 ohm diletakkan di dalam fluks magnetic yang berubah terhadap waktu $\phi = (2t-6)^3$ dengan ϕ dalam satuan Wb dan t dalam satuan detik. Tentukan arus yang mengalir dalam kawat pada $t = 5 \text{ s}$!
- Sebuah toroide ideal dan hampa mempunyai 1000 lilitan dan jari-jarinya 0,5 m. Sebuah kumparan yang terdiri dari 5 lilitan di lilitkan pada toroide tersebut. Penampang lintang toroide $0,002 \text{ m}^2$ dan arus listrik pada kawat toroide berubah dari 7 A menjadi 9 A dalam waktu 1 detik. Hitunglah GGL induksi yang timbul pada kumparan !
- Darah mengangkut ion melalui sebuah pipa berdiameter 2 mm pada medan magnet 0,08 T dan pengukuran pada voltmeter sebesar 0,1 mV. Tentukan kecepatan aliran darah tersebut.
- Sebuah kumparan dengan 600 lilitan dan induktansi diri 40 mH mengalami perubahan arus listrik 10 A menjadi 4 A dalam waktu 0,1 detik. Hitung beda potensial antar ujung-ujung kumparan !
- Sebuah kumparan terdiri atas 1000 lilitan dengan teras kayu berdiameter 4 cm. Kumparan tersebut berhambatan 400 ohm dihubungkan seri dengan galvanometer yang hambatannya 200 ohm. Jika medan magnet 0,015 T yang dililiti kumparan dengan garis medan sejajar batang kayu tiba-tiba dihilangkan, maka jumlah muatan listrik yang melalui galvanometer !
- Sebuah solenoide hambatannya 80 ohm berjari-jari 4 cm terdiri 80 lilitan dan ditempatkan tegak lurus medan magnet 0,5 T. Kumparan diputar dengan cepat sehingga dalam waktu 0,1 s permukaannya menjadi sejajar dengan garis gaya magnet. Tentukan energi yang dilepaskan dalam kumparan !

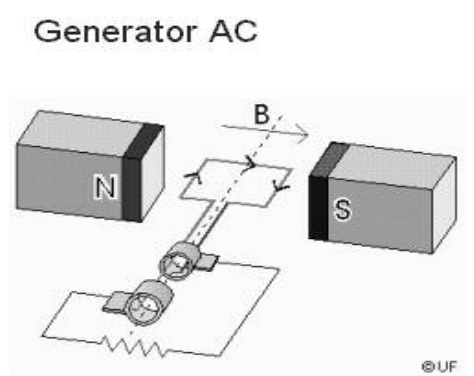
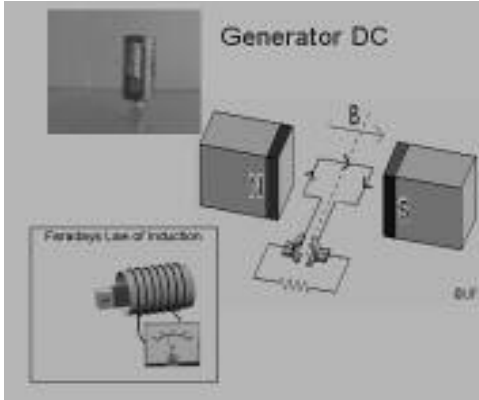
E. PENERAPAN INDUKSI ELEKTRO-MAGNETIK

Penerapan gejala induksi elektromagnetik dapat dijumpai pada peralatan generator listrik, dynamo, kepala kaset, induktor dan transformator.

1. *Generator listrik*

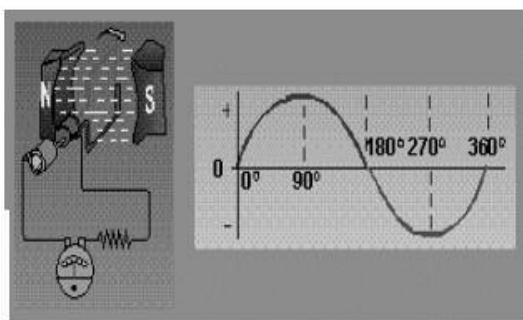
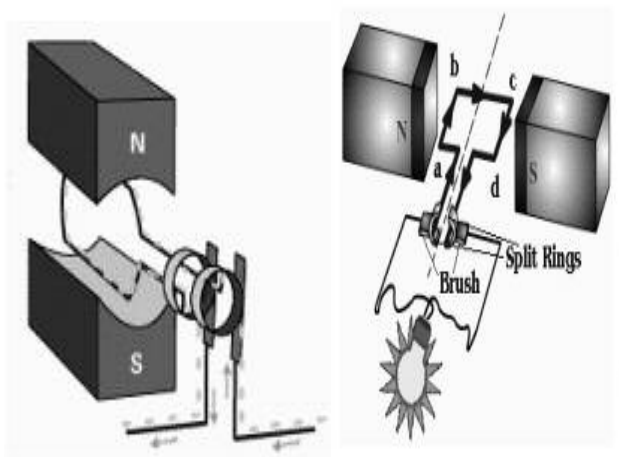
Generator adalah suatu alat yang digunakan untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

Generator ada dua jenis yaitu generator arus searah (DC) atau dynamo 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.

Perhatikan, perbedaan antara generator AC dan DC terletak pada bagian komponen yang berhubungan dengan ujung kumparan yang berputar. Dinamo menggunakan sebuah cincin belah (komutator), sedangkan alternator menggunakan dua buah cincin slip.



GGL induksi yang dihasilkan generator akibat gerakan atau putaran kawat kumparan dalam medan magnet dengan sumbu kumparan tegak lurus medan magnet. Jika kumparan dengan N buah lilitan diputar dengan kecepatan sudut ω , maka GGL induksi yang dihasilkan oleh generator adalah :

$$\varepsilon = -N \frac{d\phi}{dt} = -N \frac{d}{dt}(B.A.\cos\theta)$$

$$\varepsilon = N.B.A.\omega.\sin\omega t$$

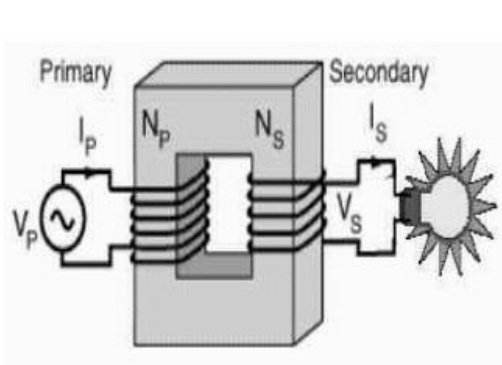
GGL induksi akan maksimum jika $\omega t = 90^\circ$ atau $\sin\omega t = 1$, sehingga :

$$\varepsilon_{maks} = N.B.A.\omega$$

- ε = GGL induksi (Volt)
- ε_{maks} = GGL induksi maksimum (volt)
- N = jumlah lilitan kumparan
- B = induksi magnet (T)
- A = luas bidang kumparan (m²)
- ω = kecepatan sudut kumparan (rad/s)
- t = waktu (s)
- $\theta = \omega.t$ = sudut (°)

2. Transformator

Transformator atau trafo merupakan alat untuk mengubah (memperbesar atau memperkecil) tegangan AC berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik. Perhatikan gambar tranformator berikut:



Prinsip kerja trafo memindahkan energi listrik secara induksi melalui kumparan primer ke kumparan skunder. Trafo ada dua jenis, yaitu trafo step-up dan step-down. Trafo step-up berfungsi untuk menaikkan tegangan AC sumber, jumlah lilitan kumparan skunder lebih banyak dibandingkan jumlah lilitan primer. Trafo step-down berfungsi untuk menurunkan tegangan AC sumber, jumlah lilitan skundernya lebih sedikit.

Trafo menimbulkan GGL pada kumparan skunder karena medan magnet yang berubah-ubah akibat aliran arus listrik bolak-balik pada kumparan primer yang berakibat berubah-ubah pula medan magnet yang timbul pada kumparan primer. Dikarenakan kumparan primer dan sekunder dililitkan pada bahan ferromagnetik maka pada kumparan sekunder juga dilingkupi medan magnetik yang berubah-ubah. Akibatnya (berdasarkan hukum Faraday) pada ujung-ujung kumparan sekunder timbul ggl induksi. Dalam hal ini besi lunak di dalam transformator berfungsi sebagai medium yang dapat mengupulkan garis-garis gaya magnetik agar tidak menyebar keluar dari kumparan primer maupun sekunder. Tetapi dikarenakan bahan tersebut juga sebagai penghantar maka padanya juga timbul ggl secara mikroskopik yang disebut dengan Arus EDDY. Arus inilah yang menyebabkan Besi tersebut menjadi panas dan merupakan faktor yang merugikan dikarenakan membuang energi listrik dalam bentuk panas. Untuk meminimalkan kerugian ini dipilihlah bahan ferromagnetik yang tidak terlalu baik menghantarkan listrik (FERRIT)

Hubungan antara tegangan dan jumlah lilitan trafo adalah :

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

Efisiensi trafo besarnya dapat dihitung dengan persamaan :

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

$$\eta = \frac{V_s \cdot I_s}{V_p \cdot I_p} \times 100\%$$

Pada trafo ideal dengan efisiensi 100%, akan memiliki daya primer dan daya sekunder yang sama besar. Jadi pada trafo ideal berlaku :

$$\begin{aligned} P_p &= P_s \\ V_p \cdot I_p &= V_s \cdot I_s \\ \frac{V_p}{V_s} &= \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} \end{aligned}$$

V_p = tegangan primer/input (Volt)
 V_s = tegangan sekunder/output (Volt)
 N_p = tegangan primer
 N_s = tegangan sekunder
 P_p = daya primer (Watt)
 P_s = daya sekunder (Watt)
 I_p = kuat arus primer (A)
 I_s = kuat arus sekunder (A)
 η = efisiensi trafo (%)

3. Induktor

Induktor merupakan kumparan yang memiliki banyak lilitan kawat. Induktor memiliki induktansi diri, yaitu gejala kelistrikan yang menyebabkan perubahan arus listrik pada kumparan dapat membangkitkan GGL induksi pada kumparan tersebut. Besarnya induktansi diri induktor sebesar :

$$\begin{aligned} L &= \frac{N \cdot \Delta\phi}{\Delta I} = \frac{N \cdot \phi}{I} \\ L &= \frac{\mu_o \cdot N^2 \cdot A}{l} \end{aligned}$$

L = induktansi diri induktor (Henry = H)
 $\Delta\phi = \phi_2 - \phi_1$ = perubahan fluks magnetic
 ΔI = perubahan kuat arus listrik (A)
 N = jumlah lilitan induktor
 A = luas penampang induktor (m²)
 l = panjang induktor (m)

Besarnya GGL induksi yang dihasilkan oleh induktor adalah :

$$\varepsilon = -L \frac{\Delta I}{\Delta t}$$

ε = GGL induksi (Volt)
 ΔI = perubahan kuat arus listrik (A)
 Δt = selang waktu (s)
 $\frac{\Delta I}{\Delta t}$ = laju perubahan arus listrik (A/s)

Induktor dapat menyimpan energi (Pada saat induktor ada arus listrik maka dalam induktor ada medan magnet, ketika arus listrik dalam konduktor menjadi nol, maka medan magnetpun hilang. Medan magnet yang semula ada menjadi tidak ada atau berubah inilah yang dapat menimbulkan ggl induksi diri atau yang artinya induktor mampu menyimpan energi listrik) sebesar :

$$W = \frac{1}{2} \cdot L \cdot I^2 = \frac{B \cdot A \cdot l}{2 \cdot \mu_o} = \frac{B \cdot V}{2 \cdot \mu_o} = \frac{I \cdot A \cdot N}{2}$$

W = energi inductor (J)
L = induktansi diri (H)
I = kuat arus listrik (A)
N = jumlah lilitan
B = induksi magnet (T)
A = luas penampang inductor (m²)
l = panjang inductor (m)
V = volume inductor (m³)
μ_o = permeabilitas ruang hampa/udara

Induktansi Silang

Induktansi silang disebut juga induktansi timbal-balik, yaitu gejala kelistrikan akibat dua buah kumparan yang saling didekatkan. Jika salah satu kumparan mengalir arus listrik yang berubah baik besar maupun arahnya, maka akan timbul GGL induksi pada kumparan kedua. GGL induksi pada kumparan kedua. Bila secara tiba-tiba arus pada kumparan primer diputus, maka akibat induktansi silang dengan kumparan sekunder, pada ujung-ujung kumparan primer timbul ggl induksi balik yang nilainya bergantung pada jumlah lilitan pada masing-masing kumparan. Besarnya induktansi silang kedua kumparan adalah :

$$M = \frac{\mu_o \cdot N_1 \cdot N_2 \cdot A}{l}$$

Besarnya GGL induksi pada kumparan pertama dan kedua masing-masing adalah :

$$\varepsilon_1 = -N_1 \frac{\phi_2}{t} = -M \frac{I_2}{t}$$

$$\varepsilon_2 = -N_2 \frac{\phi_1}{t} = -M \frac{I_1}{t}$$

M = induktansi silang (H)
μ_o = permeabilitas ruang hampa
N₁ = jumlah lilitan kumparan pertama
N₂ = jumlah lilitan kumparan kedua
A = luas penampang kumparan
l = panjang kumparan (m)
I₁ = kuat arus kumparan pertama (A)
I₂ = kuat arus kumparan kedua (A)

Contoh Soal

Sebuah generator menghasilkan tegangan sebesar 170 V. Jika armatur generator berputar dengan frekuensi 60 Hz pada medan magnetic 0,3 T dan luas bidang kumparan 0,03 m², hitunglah banyak lilitan kumparan !

Jawab :

$$\varepsilon = N \cdot B \cdot A \cdot \omega = N \cdot B \cdot A \cdot (2\pi f)$$

$$170 = N \cdot 0,3 \cdot 0,03 \cdot 2 \cdot \frac{22}{7} \cdot 60$$

N = 50 buah lilitan.

Uji Kompetensi

1. Sebuah kumparan 200 lilitan berbentuk persegi panjang dengan panjang 10 cm dan lebar 5 cm. Kumparan bersumbu putar tegak lurus medan magnetic sebesar 0,5 T dan diputar dengan kecepatan sudut 60 rad/s. Hitung GGL induksi maksimum !
2. Sebuah trafo efisiensinya 90%. Jika daya kumparan primer 20 W, berapa daya kumparan skunder ?

3. Sebuah trafo ideal memiliki jumlah lilitan primer dan skunder masing-masing 200 dan 600 lilitan. Hitung kuat arus kumparan primer sebuah trafo jika kuat arus kumparan skunder 8 A ! Apa jenis trafo tersebut ?
4. Sebuah trafo ideal dengan kumparan primer 90 lilitan, tegangannya 240 V. Jika jumlah lilitan skunder 15 buah, tentukan tegangan skunder dan jenis trafonya !
5. Trafo step-down digunakan pada tegangan 220 V memberikan arus 5 A. Berapa tegangan yang dihasilkan bila arus yang keluar sebesar 25 A ?
6. Sebuah pesawat radio membutuhkan tegangan 12 V, dihubungkan dengan trafo step-down dengan tegangan dan kuat arus input masing-masing 240 V dan 0,5 A. Jika efisiensi trafo 70%, tentukan kuat arus outputnya !
7. Efisiensi trafo 97,5% tegangan primernya 400 V dengan kuat arus 2 A. Tentukan daya keluaran trafo tersebut !
8. Sebuah trafo step-up mengubah tegangan 100 V menjadi 220 V. Efisiensi trafo 80% dihubungkan dengan lampu 60 W/220 V. Jika lampu menyala normal, tentukan kuat arus pada kumparan primer !
9. Kumparan 2000 lilitan mengalir arus 40 A dan menimbulkan fluks $2,4 \cdot 10^{-5}$ Wb. Hitung induktansi diri kumparan tersebut!
10. Kumparan 1000 lilitan dan panjangnya 1 m dengan luas penampang $0,002 \text{ m}^2$, tentukan induktansi diri kumparan tersebut !
11. Sebuah kumparan panjangnya 80 cm jari-jarinya 2 cm terdiri 150 lilitan. Jika kumparan dialiri arus 40 A, tentukan energi yang tersimpan dalam kumparan tersebut !
12. Solenoide panjangnya 20 cm terdiri 200 lilitan luas penampangnya $0,0002 \text{ m}^2$ mengalir arus 3 A. Tentukan energi di tengah-tengah solenoide tersebut !
13. Sebuah kumparan induktansinya 1,2 H. Setelah dimasukkan bahan feromagnetik, induktansinya menjadi 600 H. Berapa permeabilitas relatif bahan feromagnetik tersebut ?
14. Solenoide panjangnya 70 cm 1000 lilitan dialiri arus 20 A. Energi yang tersimpan $2,1 \cdot 10^{-3}$ J. Berapa luas solenoide tersebut ?
15. Sebuah solenoide 300 lilitan panjangnya 1 m luasnya $2,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$. Hitung induktansi silangnya jika pada pusat solenoide tersebut di lilitkan kumparan 120 lilitan !
16. Dua kumparan saling berdekatan. GGL pada kumparan pertama 70 V menyebabkan arus bertambah 10 A setiap sekonnya. Pertambahan arus ini menimbulkan GGL induksi pada kumparan kedua sebesar 140 V. Hitung induktansi silangkedua kumparan tersebut !
17. Pada pusat sebuah solenoide diberi kumparan. Ternyata dalam waktu 0,5 sekon arus pada solenoide yang semula 4 A berbalik arah. Jika induktansi silang $0,007 \text{ H}$, berapa GGL dalam kumparan?

EVALUASI

1. GGL induksi timbul karena
 - perubahan fluks magnetic
 - perbedaan tegangan
 - gaya lorent
 - gaya gerak penghantar
 - beda potensial
2. Sepotong kawat penghantar panjangnya l digerakkan di dalam medan magnet secara tegak lurus sehingga timbul GGL induksi ϵ . Jika kecepatan gerak kawat dinaikkan 2 kali semula dengan arah tetap dan panjang kawat diubah $\frac{1}{4}$ nya, maka GGL induksinya menjadi
 - a. $0,25 \epsilon$
 - b. $0,50 \epsilon$
 - c. 2ϵ
 - d. 3ϵ
 - e. 4ϵ
3. Sebuah penghantar panjangnya 20 cm digerakkan tegak lurus medan magnet 0,4 T timbul GGL induksi 0,5 V. Kecepatan gerak penghantar M/s.
 - a. 50,5
 - b. 25,5
 - c. 18,5
 - d. 12,5
 - e. 6,25
4. Kawat PQ panjangnya 20 cm hambatannya 0,1 ohm digerakkan tegak lurus medan magnet 0,05 T dengan kecepatan 20 m/s. Gaya Lorent yang dialami kawat adalah ... N
 - a. 0,02
 - b. 0,2
 - c. 2
 - d. 20
 - e. 200

5. GGL induksi timbul karena adanya perubahan fluks magnet, bukan semata-mata akibat gerakan penghantar dalam medan magnet adalah pernyataan ...
 - a. Faraday
 - b. Oersted
 - c. Ohm
 - d. Lens
 - e. Ampere

6. Timbulnya GGL induksi karena perubahan sudut antara garis gaya dan arah bidang gerakan adalah prinsip kerja dari
 - a. adaptor
 - b. trafo
 - c. generator
 - d. inductor
 - e. motor

7. Perubahan fluks setiap detik sebesar 0,003 T terjadi karena sebuah magnet batang digerakkan menjauhi kumparan 50 lilitan. Besar GGL induksi adalah ...
 - a. 0,075
 - b. 0,06
 - c. 0,045
 - d. 0,03
 - e. 0,015

8. Kawat penghantar AB diletakkan membujur pada sumbu Y pada sebuah koordinat XYZ digerakkan ke arah sumbu X+, sehingga arus listrik mengalir pada kawat ke arah sumbu Y-. Hal ini disebabkan karena medan magnet yang searah dengan sumbu....
 - a. Z+
 - b. Z-
 - c. Y+
 - d. X+
 - e. X-

9. Sebuah trafo step down bekerja pada jaringan 2,5 kV dan dapat memberi arus 80 A. Perbandingan jumlah lilitan kumparan primer dan skunder adalah 20:1. Jika efisiensi trafo 100%, besarnya tegangan skunder, arus primer dan daya yang dihasilkan trafo masing-masing adalah ...
 - a. 125 V, 4 A, 10 kW
 - b. 120 V, 4 A, 15 kW
 - c. 10 V, 4 A, 125 kW
 - d. 20 V, 2 A, 100 kW
 - e. 15 V, 4 A, 10 kW

10. Perbandingan lilitan primer dan skunder trafo 6:1. Bila arus pada kumparan primer 3 A, arus pada kumparan skunder adalah ...A
 - a. 18
 - b. 9
 - c. 6
 - d. 2
 - e. 1

11. Kumparan primer trafo 70 buah dapat menaikan tegangan 220 V menjadi 1100 V. Berarti jumlah lilitan skunder adalah ... buah.
 - a. 14
 - b. 140
 - c. 175
 - d. 350
 - e. 700

12. Trafo jumlah lilitan primer dan skundernya 400 dan 80 buah lilitan dihubungkan dengan tegangan sumber 110 V. Trafo akan menghasilkan tegangan sebesar ... V
 - a. 11
 - b. 22
 - c. 44
 - d. 66
 - e. 88

13. Perhatikan pernyataan berikut :
 - 1) jumlah lilitan solenoide
 - 2) luas penampang
 - 3) panjang
 - 4) kuat arus
 Faktor yang berpengaruh terhadap besarnya induktansi diri solenoide adalah ...
 - a. 1, 4
 - b. 1,2,3

- c. 1,2,4
- d. 2,3,4
- e. 1,2,3,4

14. Perhatikan pernyataan berikut :
- 1) jumlah lilitan solenoide
 - 2) laju perubahan fluks magnetik
 - 3) hambatan luar
- Faktor yang berpengaruh terhadap besarnya GGL induksi kumparan adalah ...
- a. 1
 - b. 1,2
 - c. 2
 - d. 2,3
 - e. 3
15. Sebuah Solenoide yang luas penampangnya $0,25 \text{ m}^2$, terdiri 900 buah lilitan sedangkan panjang solenoide $9\pi \text{ cm}$. Toroide diletakkan di dalam medan magnet yang berubah-ubah. Induktansi diri toroide adalah ... mH.
- a. 0,1
 - b. 0,01
 - c. 0,001
 - d. 0,0001
 - e. 0,00001
16. Dua kumparan induktansi silangnya 1,25 H. Besar GGL induksi pada kumparan skunder 500 V, berarti pada kumparan primer arusnya berubah dari 0 A hingga 10 A dalam waktu....s
- a. 0,015
 - b. 0,025
 - c. 0,035
 - d. 0,045
 - e. 0,055
17. Sebuah solenoide panjangnya 6,28 cm dan luasnya 5 cm^2 terdiri 300 lilitan dialiri arus 2 A. Energi yang tersimpan dalam solenoide J
- a. 0,0009
 - b. 0,0018
 - c. 0,00009
 - d. 0,00045
 - e. 0,0003
18. Fluks magnetic yang diabngkitkan kumparan tipis berarus 3 A adalah 0,6 Wb. Dalam waktu 0,4 s arus dalam kumparan berbalik arah. GGL induksi kumparan V
- a. 0
 - b. 1,5
 - c. 2
 - d. 3
 - e. 4
19. Dua buah solenoide A dan B panjang dan luas penampangnya sama. Jika solenoide A 800 lilitan memiliki induktansi 0,64 mH, maka solenoide B 500 lilitan memiliki induktansi sebesar MH
- a. 0,25
 - b. 0,32
 - c. 0,5
 - d. 0,64
 - e. 1
20. Arus yang melalui kumparan berubah dengan laju 2 A/s selama 5 s. Jika total perubahan fluks magnetic yang melalui kumparan 10 mWb, maka induktansi diri kumparan adalah ... mH
- a. 0,5
 - b. 1
 - c. 2
 - d. 5
 - e. 0,4

2

Arus dan Tegangan Bolak-balik

Kompetensi Dasar

- Mengidentifikasi penerapan Listrik AC dan DC dalam kehidupan sehari-hari

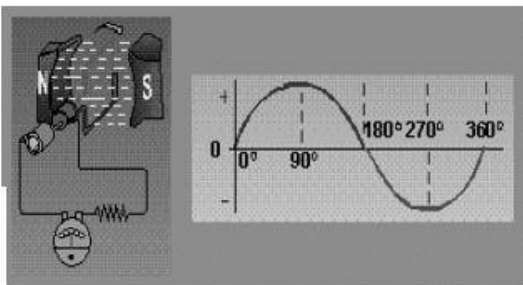
Indikator

- Memformulasikan arus dan tegangan bolak-balik serta parameter-parameternya
- Memecahkan persoalan rangkaian AC sederhana yang terdiri atas R, L dan C menggunakan diagram fasor
- Menjelaskan peristiwa resonansi pada rangkaian RLC dan pemanfaatannya dalam kehidupan sehari-hari.

PENDALAMAN MATERI

A. PERSAMAAN ARUS DAN TEGANGAN

Generator arus bolak-balik akan menghasilkan tegangan yang besarnya berubah secara periodik dalam bentuk fungsi sinus atau cosinus terhadap waktu.



Besarnya tegangan sesaat yang dihasilkan oleh generator arus bolak-balik adalah :

$$V_t = V_m \cdot \sin \omega t$$

V_t = tegangan sesaat (Volt)
 V_m = tegangan maksimum
(GGL maksimum)
 ω = kecepatan sudut (rad/s)
 t = waktu (s)

Besarnya GGL maksimum atau tegangan maksimum yang dihasilkan oleh generator adalah :

$$V_m = N.B.A.\omega$$

N = jumlah lilitan kumparan
 B = induksi magnet (T)
 A = luas bidang kumparan (m^2)

Jika generator dihubungkan dengan beban berupa hambatan maka pada rangkain tersebut mengalir arus bolak-balik sebesar :

$$I_t = I_m \cdot \sin \omega t$$

I_t = kuat arus listrik sesaat (A)
 I_m = kuat arus maksimum (A)

B. NILAI MAKSIMUM DAN EFEKTIF TEGANGAN DAN ARUS BOLAK-BALIK

Tegangan listrik bolak-balik selalu berubah tergantung dari waktu dan tegangan maksimumnya. Salah satu alat untuk mengukur tegangan listrik bolak-balik adalah osiloskop. Osiloskop juga dapat dipakai untuk mengukur frekuensi dan tegangan maksimum.

Tegangan dan arus efektif adalah nilai tegangan dan arus bolak-balik yang memberi efek panas (kalor) yang sama dengan suatu nilai tegangan / arus searah. Nilai efektif disebut juga dengan *nilai akar rata-rata kuadrat (root mean square)*. Nilai efektif dari tegangan atau arus bolak-balik akan ditunjukkan oleh alat ukur listrik, seperti Voltmeter dan Amperemeter.

Selain nilai efektif dan nilai maksimum, pada arus bolak-balik juga dikenal nilai rata-rata (*average value*) dan tegangan puncak-puncak (*peak to peak*).

Hubungan antara nilai efektif, nilai maksimum dan nilai rata-rata dari tegangan dan arus bolak-balik adalah :

$$\begin{aligned}
 V_{ef} &= \frac{V_m}{\sqrt{2}} \\
 I_{ef} &= \frac{I_m}{\sqrt{2}} \\
 V_r &= \frac{2 \cdot V_m}{\pi} \\
 I_r &= \frac{2 \cdot I_m}{\pi} \\
 V_{PP} &= 2 \cdot V_m
 \end{aligned}$$

V_{ef} = tegangan efektif (Volt)
 V_m = tegangan maksimum (V)
 I_{ef} = kuat arus efektif (A)
 I_m = kuat arus maksimum (A)
 V_r = tegangan rata-rata (V)
 I_r = kuat arus rata-rata (A)
 V_{PP} = tegangan puncak ke puncak (V)

Contoh Soal

Suatu tegangan bolak-balik mempunyai persamaan $V = 311 \sin 200t$
 Tentukan tegangan efektifnya !

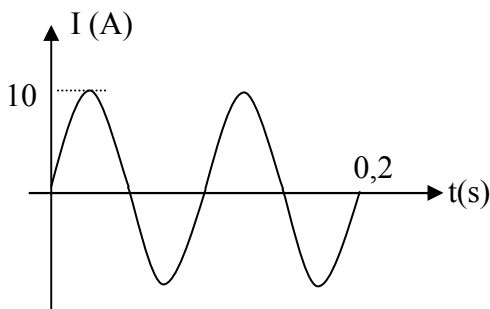
Jawaban :

Diketahui : Dari persamaan, $V_m = 311$ V

$$V_{\text{ef}} = \frac{V_m}{\sqrt{2}} = 0,707 V_m = 0,707 \cdot 311 = 220 \text{ V}$$

Uji Kompetensi

- Persamaan tegangan bolak-balik dituliskan : $V = 110\sqrt{2} \cdot \sin 200t$
Tentukan :
 - tegangan masimum
 - tegangan puncak-puncak
 - tegangan efektif
 - tegangan rata-rata
 - frekuensi
 - frekuensi sudut
 - periode
- Sebuah alat listrik dengan hambatan 80 ohm dihubungkan dengan tegangan jala-jala 220 V.
Tentukan :
 - tegangan efektif
 - tegangan maksimum
 - tegangan puncak-puncak
 - tegangan rata-rata
 - kuat arus efektif
 - kuat arus maksimum
 - kuat arus rata-rata
- Sebuah sumber tegangan menghasilkan tegangan bolak-balik sebesar 40 V pada sudut fase 30° .
Tentukan :
 - tegangan masimum
 - tegangan efektif
 - tegangan yang dihasilkan pada saat sudut fasenya 60°
- Sebuah kumparan 200 lilitan berbentuk persegi panjang dengan sisi 10 cm posisinya menghadap garis gaya magnet 0,032 T. Hitunglah tegangan maksimum bila kumparan diputar dengan frekuensi $\frac{30}{\pi}$ Hz !
- Sebuah alat listrik berhambatan 5 ohm mengalir arus efektif 40 A. Hitung :
 - kuat arus maksimum
 - tegangan efektif
 - tegangan maksimum
- Diketahui grafik kuat arus (I) terhadap waktu (t) berikut :

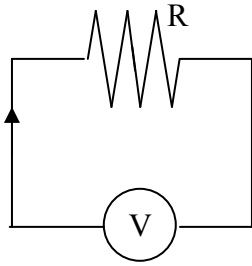


- Dari grafik, tentukan :
- a. Kuat arus maksimum
 - b. kuat arus efektif
 - c. periode
 - d. frekuensi
 - e. persamaan kuat arus
- Sebuah ampermeter AC dihubungkan dengan sumber tegangan menunjukkan angka 50 A. Jika hambatan dalam ampermeter 0,05 ohm dan frekuensi sumber tegangan 50 Hz, tentukan tegangan pada waktu 0,5 sekon setelah sumber tegangan dihidupkan !
 - Pada saat sudut fase 60° , sebuah generator menghasilkan tegangan $60\sqrt{3}$ V, hitunglah tegangan maksimumnya !

C. RANGKAIAN ARUS BOLAK-BALIK

Rangkaian arus bolak-balik adalah sebuah rangkaian listrik yang terdiri dari satu atau beberapa komponen elektronika yang dihubungkan dengan sumber arus bolak-balik. Komponen elektronika tersebut dapat berupa resistor (hambatan murni), inductor atau kapasitor.

1. Rangkaian Resistor (R).



Persamaan tegangan dan arus bolak-balik pada rangkaian resistor adalah :

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

$$I = I_m \cdot \sin \omega t$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa sudut fase ($\theta = \omega t$) arus dan tegangan adalah sama. Berarti antara arus dan tegangan pada rangkain yang terdiri hanya Resistor saja adalah sefase. Hubungan antara tegangan dan kuat arus adalah sesuai dengan hukum ohm, yaitu :

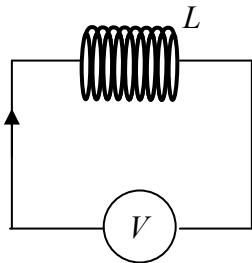
$$V = I \cdot R$$

$$V_m = I_m \cdot R$$

$$V_{ef} = I_{ef} \cdot R$$

R = hambatan resistor (ohm)

2. Rangkaian Induktor (L)



Persamaan tegangan dan arus bolak-balik pada rangkaian induktor adalah :

$$V = V_m \cdot \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$I = I_m \cdot \sin \omega t$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa sudut fase ($\theta = \omega t$) arus ketinggalan terhadap tegangan sebesar 90° atau sebesar $\frac{1}{2}\pi$ radian. Hubungan antara tegangan dan kuat arus adalah sesuai dengan hukum ohm, yaitu :

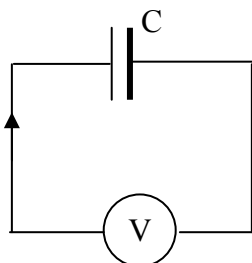
$$V = I \cdot X_L \text{ dengan } X_L = \omega \cdot L$$

$$V_m = I_m \cdot X_L$$

$$V_{ef} = I_{ef} \cdot X_L$$

L = Induktansi diri inductor (H)
 X_L = reaktansi induktif (ohm)
 ω = frekuensi sudut (rad/s)

3. Rangkaian Kapasitor (C).



Persamaan tegangan dan arus bolak-balik pada rangkaian kapasitor adalah:

$$V = V_m \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$

$$I = I_m \cdot \sin \omega t$$

Dari persamaan di atas terlihat bahwa sudut fase ($\theta = \omega t$) tegangan ketinggalan terhadap arus sebesar 90° atau sebesar $\frac{1}{2}\pi$ radian. Hubungan antara tegangan dan kuat arus adalah sesuai dengan hukum ohm, yaitu :

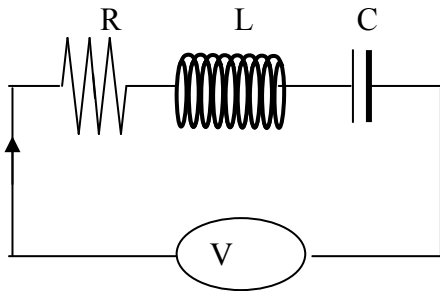
$$V = I \cdot X_C \text{ dengan } X_C = \frac{1}{\omega \cdot C}$$

$$V_m = I_m \cdot X_C$$

$$V_{ef} = I_{ef} \cdot X_C$$

C = kapasitas kapasitor (F)
 X_C = reaktansi kapasitif (ohm)

4. Rangkaian Seri Resistor-Induktor-kapasitor (R-L-C)



Rangkaian semacam itu pada kenyataannya berupa kumparan dan kapasitor saja. Tetapi karena kumparan juga terbuat dari penghantar, maka karena panjang dan penampang kawatnya tetap memiliki nilai hambatan (R).

Persamaan tegangan dan arus bolak-balik pada rangkaian RLC adalah :

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

$$V = V_m \cdot \sin(\omega t + \varphi) = I_m \cdot Z \cdot \sin(\omega t + \varphi)$$

$$I = I_m \cdot \sin \omega t$$

$$V_R = I \cdot R = V_{Rm} \cdot \sin \omega t$$

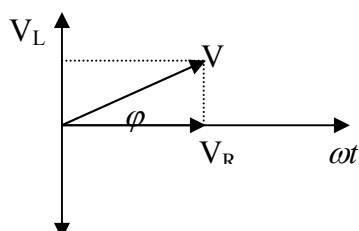
$$V_L = I \cdot X_L = V_{Lm} \cdot \sin(\omega t + 90^\circ)$$

$$V_C = I \cdot X_C = V_{Cm} \cdot \sin(\omega t - 90^\circ)$$

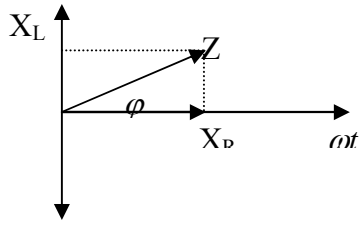
$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

- V = tegangan total (V)
- I = kuat arus yang melalui rangkaian
- Z = impedansi rangkaian (ohm)
- V_R = tegangan resistor (V)
- V_L = tegangan inductor (V)
- V_C = tegangan kapasitor (V)
- V_m = tegangan maksimum rangkaian
- φ = beda susut fase tegangan & arus
- V_{Rm} = tegangan resistor maksimum
- V_{Lm} = tegangan inductor maksimum
- V_{Cm} = tegangan kapasitor maksimum

Untuk menggambarkan beda sudut fase antara tegangan dan kuat arus listrik pada rangkaian RLC digunakan diagram fasor (diagram fase vector), sebagai berikut :



atau :



Dari diagram fasor tersebut, besarnya sudut fase tegangan dan arus adalah :

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{V_L - V_C}{V_R} = \frac{X_L - X_C}{R}$$

Jika :

$X_L > X_C$ rangkaian bersifat induktif

$X_L < X_C$ rangkaian bersifat kapasitif

$X_L = X_C$ rangkaian bersifat resistif, dan terjadi resonansi karena fasenya sama sehingga $Z = R$, dan beda fase sama dengan nol.

5. Resonansi rangkaian RLC

Resonansi rangkaian RLC terjadi jika $X_L = X_C$ atau $Z = R$ atau $\varphi = 0$.

Dengan demikian besarnya frekuensi resonansi rangkaian RLC adalah :

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

f = frekuensi resonansi (Hz)

L = induktansi diri inductor (H)

C = kapasitas kapasitor (F)

D. DAYA RANGKAIAN ARUS BOLAK-BALIK

Daya rangkaian arus bolak-balik (P) dinyatakan dalam bentuk persamaan :

$$P = V_{ef} \cdot I_{ef} \cdot \cos \varphi$$

dengan :

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

$$V_{ef} = I_{ef} \cdot Z$$

P = daya (watt)

V_{ef} = tegangan efektif (V)

I_{ef} = kuat arus efektif (A)

$\cos \varphi$ = factor daya

R = hambatan murni (ohm)

Z = impedansi rangkaian (ohm)

Contoh Soal

Sebuah rangkaian RLC seri masing-masing 400 ohm, 0,5 H dan 60 μ F dihubungkan dengan sumber tegangan $200\sqrt{2} \sin 100t$ Volt. Tentukan kuat arus efektifnya !

Jawab :

Diketahui : $R = 400$ ohm

$L = 0,5$ H

$$C = 6 \cdot 10^{-6} \text{ F}$$

$$V_m = 200\sqrt{2} \text{ volt}$$

$$\omega = 100 \text{ rad/s}$$

maka :

$$X_L = \omega L = 50 \text{ ohm}$$

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = 166,7 \text{ ohm}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = 416,5 \text{ ohm}$$

Jadi :

$$I_{ef} = \frac{V_{ef}}{Z} = \frac{V_m}{Z \cdot \sqrt{2}} = 0,48 \text{ A}$$



1. Sebuah inductor 0,25 H dipasang pada sumber tegangan AC yang menghasilkan arus maksimum 10 A dan frekuensi $\frac{50}{\pi}$ Hz, tentukan tegangan maksimumnya !
2. Sebuah kapasitor dihubungkan dengan sumber tegangan AC 110 V frekuensi 100 Hz. Arus listrik yang melalui kapasitor terukur 4,16 A. Tentukan nilai kapasitas kapasitor tersebut !
3. Sebuah inductor 0,25 H dan sebuah kapasitor 200 μF dirangkai seri dan dihubungkan dengan sumber tegangan yang menghasilkan arus dengan persamaan $I = 5 \sin 400 t$ Ampere. Tentukan :
 - impedansi rangkaian
 - persamaan tegangan sesaat
4. Sebuah rangkaian arus bolak-balik 220 V dan frekuensi 55 Hz dihubungkan dengan rangkaian seri RL. Jika hambatan $R = 110 \text{ ohm}$, dan tegangan pada ujung-ujung resistor 40 V, tentukan :
 - a. Tegangan pada ujung-ujung inductor
 - b. besarnya induktansi diri inductor
5. Rangkaian seri RL dengan $L = 0,6 \text{ H}$ dan $R = 20 \text{ ohm}$ dihubungkan dengan tegangan bolak-balik 220 V frekuensinya $\frac{100}{\pi}$ Hz. Tentukan :
 - a. Impedansi rangkaian
 - b. Besarnya arus efektif rangkaian
 - c. Sudut fase antara I dan V
6. Sebuah rangkaian seri RC masing-masing $R = 60 \text{ ohm}$ dan $X_C = 80 \text{ ohm}$ dihubungkan dengan sumber tegangan 110 V frekuensi $\frac{50}{\pi}$ Hz. Tentukan :
 - a. kuat arus yang melalui rangkaian
 - b. tegangan ujung-ujung resistor
 - c. tegangan ujung-ujung kapasitor
 - d. sudut fase rangkaian
7. Sebuah rangkaian seri RLC dengan $R = 120 \text{ ohm}$, $L = 0,4 \text{ H}$ dan $C = 20 \mu\text{F}$ dihubungkan dengan tegangan 200 V frekuensi sudutnya 100 rad/s. Tentukan :
 - a. impedansi rangkaian
 - b. arus listrik pada rangkaian
 - c. Daya pada rangkaian
8. Hambatan 10 ohm dan inductor 20 ohm dirangkai seri dihubungkan dengan sumber tegangan sehingga mengalir arus 4 A. Tentukan :
 - a. tegangan resistor
 - b. tegangan inductor
 - c. impedansi rangkaian
 - d. tegangan sumber (tegangan rangkaian)
 - e. sudut fase antara I dan V
9. Sebuah rangkaian RC dengan $R = 100 \text{ ohm}$ dan $X_C = 240 \text{ ohm}$ dialiri arus 1 A. Tentukan :
 - a. tegangan SUMBER TEBU BANGSAL sudut fase antara I dan V
 - b. impedansi rangkaian
10. Sebuah rangkaian RLC dihubungkan dengan sumber AC $V = 311 \sin 200 t$ Volt. Jika $R = 5 \text{ ohm}$ dan $L = 8 \text{ H}$, tentukan kapasitas kapasitor yang harus digunakan agar terjadi resonansi pada rangkaian tersebut !

EVALUASI

1. Sebuah sumber tegangan memiliki persamaan $V = 50\sqrt{2} \sin 100t$. Tegangan efektif dan sudut fase sumber adalah ...
 - a. 50 dan 100
 - b. 50 dan $100t$
 - c. $50\sqrt{2}$ dan 100
 - d. $50\sqrt{2}$ dan $100t$
 - e. $\frac{50}{\sqrt{2}}$ dan 100
2. Sebuah sumber tegangan AC menghasilkan 60 V. Sebuah alat listrik yang hambatannya 20 ohm dihubungkan dengan sumber tegangan tersebut. Besarnya kuat arus adalah ... A
 - a. 1
 - b. 1,5
 - c. 3
 - d. 12
 - e. 30
3. Sebuah sumber AC $V = 40 \sin 50\pi t$. Tegangan pada saat $t = 0,005$ sekon adalah.... Volt
 - a. 20
 - b. $20\sqrt{2}$
 - c. 20π
 - d. $40\sqrt{2}$
 - e. 40π
4. Sebuah rangkaian RLC seri memiliki factor daya sebesar 0,2. Besarnya tegangan sumber jika tegangan antara ujung-ujung resistor 20 V adalah ...volt
 - a. 100
 - b. 75
 - c. 50
 - d. 25
 - e. 20
5. Sebuah rangkaian AC dihubungkan dengan resistor, tegangan maksimumnya 300 V dan mengalir arus $I = 2 \sin 100t$ Ampere. Nilai hambatan resistor adalah ... ohm
 - a. 75
 - b. 100
 - c. 125
 - d. 150
 - e. 300
6. Sebuah sumber tegangan AC menghasilkan tegangan maksimum 400 V frekuensi $\frac{50}{\pi}$ Hz dihubungkan kapasitor 200 μ F. Kuat arus maksimum pada kapasitor adalah ... A
 - a. 32
 - b. 24
 - c. 16
 - d. 12
 - e. 8
7. Tegangan listrik rumah tangga adalah 220 V. Nilai 220 V memiliki arti
 - a. tegangan listrik maksimumnya 220 V
 - b. tegangan listrik efektifnya 220 V
 - c. tegangan listrik rata-rata 220 V
 - d. tegangan listrik maksimumnya $220\sqrt{2}$ V
 - e. tegangan listrik efektifnya $220\sqrt{2}$ V
8. Sebuah inductor dihubungkan dengan tegangan AC 300 V, mengalir aur 5 A dengan frekuensi 75 Hz. Induktansi inductor adalah ...H
 - a. 13
 - b. 6,5
 - c. 1,3
 - d. 0,65
 - e. 0,13
9. Sebuah rangkaian seri RLC masing-masing tegangan ujung-ujung R, L dan C sebesar 20 V, 60 V dan 60 V. Tegangan sumber adalah V
 - a. 10
 - b. 20
 - c. 40
 - d. 50
 - e. 60
10. Sebuah rangkaian seri RLC $R = 80$ ohm, $C = 500 \mu$ F dan $L = 0,8$ H dihubungkan dengan sumber tegangan $V = 90 \sin 100t$ Volt. Impedansi rangkaian adalah n... ohm
 - a. 10
 - b. 20
 - c. 40
 - d. 50
 - e. 60

- a. 20
 - b. 40
 - c. 80
 - d. 100
 - e. 180
11. Sebuah rangkaian seri RLC R = 30 ohm, C = 50 μ F dan L = 40 mH. Rangkaian ini akan beresonansi pada frekuensi ... Hz.
- a. $\frac{10}{\pi} \sqrt{10}$
 - b. $\frac{250}{\pi} \sqrt{2}$
 - c. $\frac{40}{\pi} \sqrt{10}$
 - d. $\frac{2500}{\pi} \sqrt{10}$
 - e. $\frac{100}{\pi} \sqrt{10}$
12. Sebuah rangkaian seri RLC R = 40 ohm, impedansinya 80 ohm dihubungkan dengan tegangan AC 220 V. Daya yang terpakai adalah ...watt
- a. 302,5
 - b. 275,5
 - c. 155,5
 - d. 80,5
 - e. 27,5
13. Sebuah rangkaian seri RLC R = 50 ohm, $X_C = 100$ ohm dan $X_L = 150$ ohm memiliki beda sudut fase anatar kuat arus dan tegangan sebesar ... $^{\circ}$
- a. 0
 - b. 30
 - c. 45
 - d. 60
 - e. 90
14. Rangkaian seri RL dihubungkan dengan tegangan AC 100 V. Ternyata tegangan ujung-ujung R dan L sama besar. Tegangan tersebut adalah sebesar ... V
- a. $25\sqrt{2}$
 - b. 50
 - c. $50\sqrt{2}$
 - d. $60\sqrt{2}$
 - e. 75
15. Rangkaian seri RLC dengan R = 600 ohm, L = 2 H dan C = 10 μ F dihubungkan dengan tegangan AC $V = 100\sqrt{2} \sin 100t$ V. Daya rangkaian adalah Watt
- a. 6
 - b. 8
 - c. 10
 - d. 12
 - e. 14