

Bab 1 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

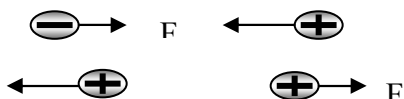
- Memformulasikan hukum Coulomb
- Memformulasikan medan listrik oleh distribusi muatan titik
- Memformulasikan hukum Gauss
- Mengaplikasikan hukum Coulomb dan Gauss untuk mencari medan listrik bagi distribusi muatan kontinu
- Memformulasikan potensial listrik dan kaitannya dengan medan listrik
- Menentukan 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 electron, dan benda bermuatan negatif jika benda kelebihan electron. 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 electron 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:

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

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

F = gaya elektrostatis dua muatan (N)

k = konstanta Coulomb ($9 \cdot 10^9$ Nm²/C²)

q = muatan listrik (C).

r = jarak kedua muatan (m)

ϵ_0 = permitivitas ruang hampa ($8,85 \cdot 10^{-12}$ C²/Nm²)

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 :

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

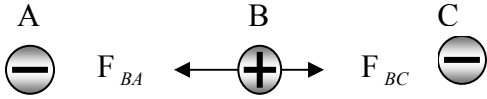
F_{udara} = gaya elektrostatis di udara (N)

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

B. GAYA ELEKTROSTATIS AKIBAT BEBERAPA MUATAN LISTRIK

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

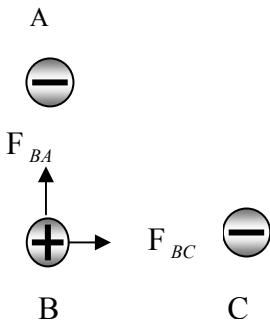
Perhatikan tiga buah muatan sejajar berikut :



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 ... ?

Jawab :

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

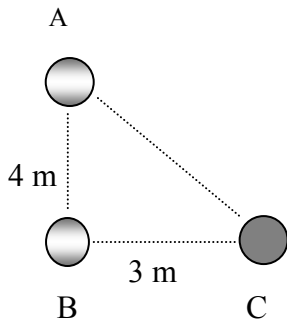
$$F = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{(0,3)^2}$$

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

Uji Kompetensi

1. Dua buah muatan sejenis sebesar $3 \mu\text{C}$ terletak di udara pada jarak 10 cm. Tentukan gaya elektrostatis !
2. 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 :
 - a. terletak di udara
 - b. terletak dalam bahan dengan permitivitas relatif = 2
3. Dua bola kecil bermuatan sama terpisah di udara pada jarak 3 m timbul gaya 40 N. Hitung besarnya masing-masing muatan !
4. 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

5. 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 ?
6. 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 elektrostatik yang dialami oleh :
 - a. muatan A
 - b. muatan B
 - c. muatan C
7. 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 elektrostatik = nol !
8. 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 ?
9. Perhatikan tiga muatan berikut :

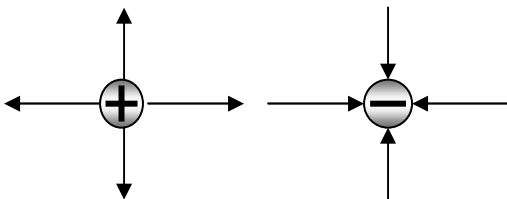


Jika muatan A, B dan C masing-masing $50 \mu\text{C}$, $40 \mu\text{C}$ dan $50 \mu\text{C}$, tentukan gaya elektrostatik di B !

10. 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 arah 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 gaya elektrostatik dialami oleh muatan 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 elektrostatik (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 elektrostatik 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 elektrostatik 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 :

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

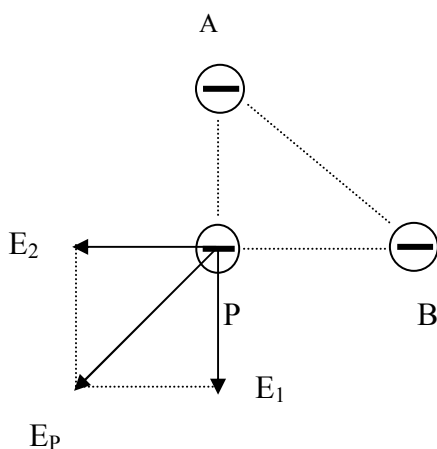
- Kuat medan listrik di titik P akibat muatan B adalah :

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

- 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 (Pengayaan)

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”.

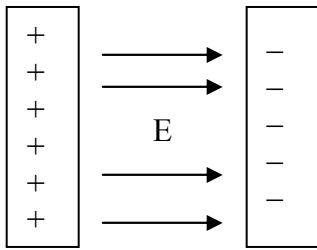
Secara matematis ditulis :

$$\phi = \frac{q}{\epsilon}$$

$$\epsilon = K \cdot \epsilon_0$$

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 :

$$\sigma = \frac{q}{A} \quad \text{Karena } \phi = E \cdot A = \frac{q}{\epsilon}, \text{ maka } \quad E = \frac{q}{A \cdot \epsilon} = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

E = kuat medan listrik (N/C)

q = muatan keping (C.)

A = luas tiap keping (m^2)

ϵ_r = permitivitas relatif bahan

σ = rapat muatan tiap keping (C/m^2)

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 dari pusat sebuah bola bermuatan $2 \mu C$ dengan jari-jari 5 cm !

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 $4 \cdot 10^{-4} \text{ N/C}$. Tentukan besarnya gaya Coulomb yang di alami muatan tersebut !
2. Dua muatan A dan B besarnya sama tetapi berbeda jenis sebesar $18 \mu C$ terpisah sejauh 60 cm. Kuat medan di tengah-tengah kedua muatan !
3. Dua muatan A dan B besarnya $-5 \mu C$ dan $+2 \mu C$ 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 $10 \mu C$ diletakkan di tengah-tengah keduanya. Tentukan besarnya medan listrik di titik P !
5. Dua muatan A dan B masing-masing $20 \mu C$ dan $5 \mu C$ berada sejauh 6 m. Tentukan letak titik C yang kuat medan listriknya sama dengan nol !
6. Muatan A dan B masing-masing $+30 \mu C$ dan $-270 \mu C$ 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. Dtitik 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 listrik 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 bebas 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 :*

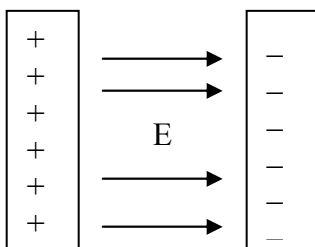
$$V = \frac{k \cdot q}{R}$$

- *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**



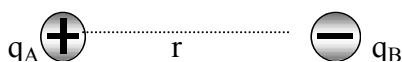
Jika dua keping sejajar yang luasnya sama (A) diberikan muatan sama besar (q) berlawanan jenis, maka antara dua keeping timbul potensial listrik (V), yang besarnya :

$$V = E \cdot r$$

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

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

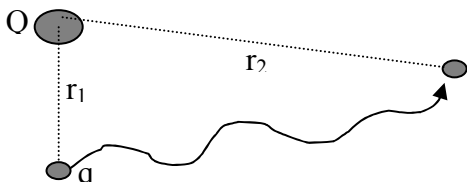
Besarnya energi potensial listrik yang dimiliki muatan A sama dengan energi potensial listrik yang dimiliki muatan B, yaitu sebesar :

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

- 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 A (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 r₁ dari muatan Q. Muatan q di pindahkan sejauh r₂ dari muatan Q. Usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan q dari kedudukan r₁ ke r₂ 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)
- EP₂ = energi potensial saat di r₂ (J)
- EP₁ = energi potensial saat di r₁ (J)
- q = muatan yang dipindahkan (C.)
- r₁ = jarak awal sebelum pindah (m)
- r₂ = 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.V dan EK = 1/2.m.v², 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

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

atau

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

- q = muatan partikel yang bergerak (C.)
- m = massa partikel (kg)
- ΔV = V₁-V₂ = beda potensial (volt)
- V₁ = potensial listrik pada kedudukan awal (V)
- V₂ = potensial listrik pada kedudukan akhir (V)
- v₁ = kecepatan partikel awal (m/s)
- v₂ = kecepatan partikel akhir (m/s)

Contoh Soal

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.ΔV
2 = 20.ΔV
ΔV = 0,1 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 $+2 \mu\text{C}$ berjari-jari 10 cm. Tentukan 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 MANDIRI

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 $-9 \mu\text{C}$ dan $+6 \mu\text{C}$ berada pada jarak 3 cm di udara. Besar gaya yang dialami kedua muatan N
 - a. 0,054
 - b. 0,54
 - c. 5,4
 - d. 54
 - e. 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 $10 \mu\text{C}$ 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 parallel 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 $5 \mu\text{C}$ dan $-3 \mu\text{C}$ 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 $400 \mu\text{C}$ ke titik tersebut adalah ... J
- 1,2
 - 2,4
 - 4,8
 - 8,4
 - 840
17. Dua muatan $10 \mu\text{C}$ dan $40 \mu\text{C}$ terpisah 6 cm . Sebuah muatan $-0,02 \mu\text{C}$ 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 $5 \mu\text{C}$ diletakkan di pusat koordinat. Muatan B $-2 \mu\text{C}$ diletakkan pada koordinat $(3,0)$ dan muatan C $4 \mu\text{C}$ 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
 - 200000
 - 240000
 - 270000
 - 360000

Bab 2 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

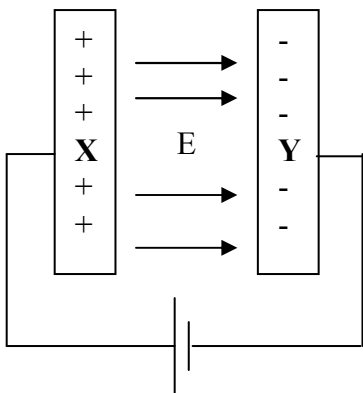
A. PRINSIP KERJA KAPASITOR

Kapasitor 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 yang menggunakan Sistem Penala LC.
3. menghindari loncatan listrik pada rangkaian yang mengandung kumparan jika tiba-tiba arus listrik putus. (sistem pemutus arus pada kendaraan bermotor yang menggunakan sistem platina)
4. meratakan arus listrik pada rangkaian catu daya (menyempurnakan arus yang tidak rata menjadi arus yang lebih rata)
5. mengontrol frekuensi pada rangkaian osilator (bekerja dengan dasar pengisian dan pengosongan kapasitor)
6. penghubung (coupling) pada sistem penguat signal dan penyimpang arus (bypass) pada sistem filter frekuensi tertentu yang diharapkan.

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 :

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

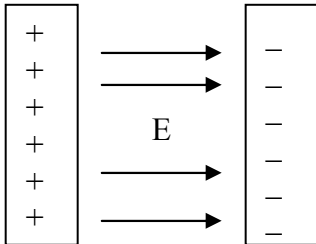
q = muatan yang tersimpan (C.)

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 elektrolit dapat jauh lebih besar dibanding jenis kapasitor yang lain.

Kapasitas Kapasitor 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 :

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

Besarnya potensial antara kedua keping 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 keping (m^2)

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

σ = rapat muatan tiap keping (C/m^2)

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

A = luas tiap keping (m^2)

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

ϵ_0 = permitivitas hampa udara

K = konstanta dielektrikum bahan

r = jarak antara keping (m)

C = kapasitas kapasitor saat kedua keping terdapat bahan dengan konstanta dielektri K

C_0 = kapasitas kapasitor saat kedua keping terisi udara

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

Kapasitas Kapasitor Bola Konduktor

Besarnya kapasitas kapasitor bentuk bola adalah :

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

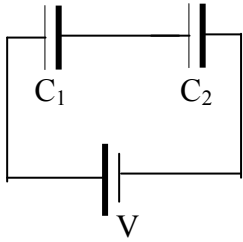
C. RANGKAIAN KAPASITOR

Kapasitor dalam suatu diagram rangkaian elektronika memiliki symbol :



Dua kapasitor atau lebih dapat dirangkai secara seri dan atau paralel untuk menyesuaikan kebutuhan kapasitas pada rangkaian dikarenakan keterbatasan varian kapasitas kapasitor yang diproduksi oleh produsen.

1. Rangkaian Kapasitor SERI (bertujuan memperkecil kapasitas kapasitor)



Perlu diingat : C_s lebih kecil dari C yang terkecil

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 besar dengan muatan total

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

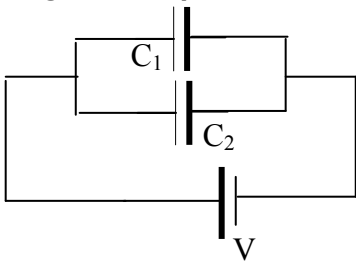
c. Besarnya potensial masing-masing kapasitor adalah :

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

d. Potensial total rangkaian seri adalah :
(dapat dimanfaatkan untuk pembagi tegangan)

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

2. Rangkaian Kapasitor PARALEL (bertujuan memperbesar kapasitas kapasitor)



Sifat-sifat rangkaian paralel kapasitor :

a. Kapasitas kapasitor total paralel 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.

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

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

E. ENERGI KAPASITOR

Energi yang tersimpan dalam kapasitor berasal dari proses pemindahan muatan dari sumber tegangan menuju ke dalam kedua keping 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 :

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

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

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

W = energi kapasitor (J)

V = potensial kapasitor (V)

V_{volume} = volume antara dua keeping (m³)

ρ = rapat energi dalam medan listrik (J/m³)

Contoh Soal

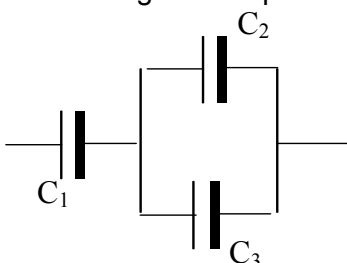
Dua kapasitor 4 μF dan 2 μF disusun seri dihubungkan dengan potensial 6 V. Hitung energi yang tersimpan dalam dalam rangkaian !

Jawab :

$$C_{\text{seri}} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = 1,33 \mu F = 1,33 \cdot 10^{-6} F \quad \text{Jadi energi dalam rangkaian : } W = \frac{C_{\text{seri}} \cdot V^2}{2} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ Joule}$$

Uji Kompetensi

- Sebuah kapasitor kapasitasnya 60 μF dihubungkan dengan baterai 6 V. Hitung :
 - muatan yang tersimpan dalam kapasitor
 - energi yang tersimpan dalam kapasitor
- Kapasitor keeping sejajar dengan luas tiap keeping 1000 cm², jarak antar keeping 1 cm. Kapasitor dihubungkan dengan sumber tegangan 12 V. Tentukan :
 - kapasitas kapasitor
 - rapat muatan tiap keeping
 - kuat medan listrik dalam kapasitor
 - muatan kapasitor, jika diantara keeping berisi udara
 - muatan kapasitor setelah antar keeping berisi kertas dengan nilai K = 2.
- Kapasitor bola berdiameter 18 cm diberi tegangan 200 kV. Hitung muatan dan energi yang tersimpan dalam kapasitor !
- Dua kapasitor 30 μF dan 90 μF disusun seri dan dihubungkan dengan sumber tegangan 6 V. Tentukan :
 - kapasitas kapasitor total
 - muatan masing-masing kapasitor
 - tegangan masing-masing kapasitor
 - energi masing-masing kapasitor
- 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 :
 - kapasitas total
 - tegangan sumber listrik
 - muatan B dan C
- Perhatikan rangkaian kapasitor berikut :



Jika C_1 , C_2 dan C_3 masing-masing $3 \mu\text{F}$, $2 \mu\text{F}$ dan $4 \mu\text{F}$ 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 $1 \mu\text{C}$ 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
9. 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 !
10. 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 MANDIRI

1. 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
2. Dua kapasitor 6 F dan 3 F di rangkai seri. Kapasitas totalnya adalah ... F
 - a. 2
 - b. 3
 - c. 6
 - d. 9
 - e. 15
3. 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
4. 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
5. 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

6. 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 adalahV
- 0
 - 12,5
 - 15
 - 25
 - 45
7. Kapasitas kapasitor keeping sejajar adalah $12,5 \mu\text{F}$. Setelah disipkan bahan dielektrik kapasitasnya menjadi $37,5 \mu\text{F}$. Permitifitas relatif bahan dielektrik sebesar ...
- 0
 - 1
 - 2
 - 3
 - 4
8. 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
- 1,5
 - 3
 - 4,5
 - 6
 - 9
9. Dua kapasitor jika disusun seri kapasitasnya totalnya 2 F dan jika disusun parallel kapasitas totalnya 9 F . Besarnya kapasitas masing-masing kapasitor adalah ... F
- 1 dan 8
 - 2 dan 7
 - 3 dan 6
 - 4 dan 5
 - 0 dan 9
10. Sejumlah n buah kapasitor disusun seri kemudian dirangkai dengan n buah kapasitor yang disusun parallel. Jika tiap kapasitor kapsitasnya = C , kapasitas total rangkaian tersebut adalah ...
- $\frac{n.C}{(n^2 + 1)}$
 - $\frac{n.C}{n^2}$
 - $\frac{C}{(n^2 + 1)}$
 - $\frac{(n^2 - 1)}{n.C}$
 - $\frac{n.C}{2}$

Bab 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, 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 **Kuat Medan 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.

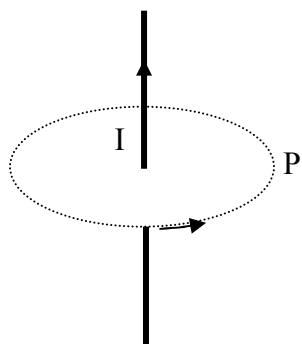
Faraday menggambarkan arah gaya magnetik dengan garis gaya magnet. Garis gaya magnetik keluar dari kutub utara dan masuk ke kutub selatan. Arah medan magnet di suatu titik pada garis gaya magnet merupakan garis singgung pada titik tersebut.

B. MEDAN MAGNET DI SEKITAR KAWAT LURUS BERARUS LISTRIK

Besarnya medan magnet di suatu titik akibat induksi 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.

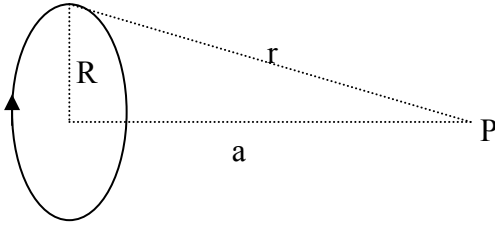
Dari percobaan Oersted, Biot dan Savart menemukan hukum Biot-Savart. Menurut Biot-Savart, Besarnya induksi magnet di titik P yang berjarak a dari kawat lurus panjang berarus listrik I adalah

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

B = Induksi magnet (Wb/m² = Tesla = T)
 μ_0 = permeabelitas ruang hampa ($4\pi \cdot 10^{-7}$ 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 :

$$B = \frac{\mu_0 I R \sin \alpha}{2r^2}$$

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 (yang berarti a = 0, R = r, $\alpha = 90^\circ$) adalah :

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

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 permeabelitas vakum dengan kuat arus.”

$$\Sigma(B \cdot \Delta L) = \mu_0 I$$

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 :

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

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

B = Induksi magnet (Wb/m² atau Tesla)
 I = kuat arus listrik (A)
 N = Jumlah lilitan pada solenoida
 L = panjang Solenoida (m)

- Besarnya induksi magnet di ujung solenoide sebesar :

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

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 :

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

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 = gaya kedua kutub magnet (N)

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

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

1. Ferromagnetik, yaitu bahan magnetik yang sangat kuat menarik garis-garis gaya magnet luar, contoh : besi, nikel, kobalt dan baja.
2. Paramagnetik, yaitu bahan magnetik 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 :

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

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 !
2. 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 !
3. 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 !
4. 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 !
5. Sebuah kawat berbentuk lingkaran berjari-jari 3 cm mengalir arus 5 A. Hitunglah induksi magnet :
 - a. di pusat lingkaran kawat
 - b. di titik P yang berjarak 4 cm dari pusat lingkaran kawat.
6. 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 ?
7. 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 !
8. 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 :
 - a. tengah-tengah
 - b. ujung solenoide
9. Sebuah toroide berjari-jari efektif 40 cm di aliri arus listrik 20 A dan memiliki 60 lilitan. Hitung besarnya induksi magnet di sumbu toroide !

10. 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

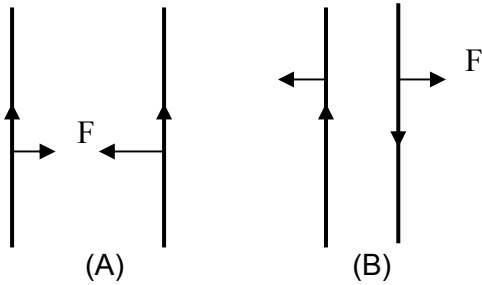
Bila sebuah kawat panjangnya L berarus listrik I diletakkan di dalam medan magnet homogen B maka kawat akan mengalami gaya Lorentz. Jika kawat penghantar membentuk sudut α terhadap arah medan magnet, maka Gaya yang dialami kawat sebesar :

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

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 (A), maka akan terjadi gaya lorent yang berupa gaya tarik menarik. Sebaliknya jika kedua arah arus berlawanan (B), 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 = 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 Lorent. Jika arah gerak partikel terhadap arah medan magnet membentuk sudut α , maka gaya Lorentz yang dialami partikel sebesar sebesar :

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

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)

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

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

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

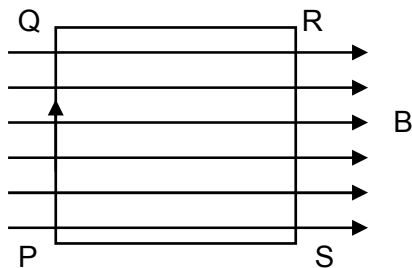
R = jari-jari lintasan partikel (m)
 m = massa partikel (Kg)

*) 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 peraralatan listrik seperti galvanometer (alat ukur listrik analog) 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 $\tau =$ momen puntir (Nm) kumparan akan mengalami momen puntir (torsi) sebesar:

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

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 :

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

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

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

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

Uji Kompetensi

- 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 !

6. 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 !
7. 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 !
8. 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 !

EVALUASI MANDIRI

1. Sebuah kawat dialiri arus listrik dari barat ke timur. Arah medan magnet di titik yang terletak di atas kawat adalah ...
 - a. utara
 - b. selatan
 - c. atas
 - d. bawah
 - e. barat daya
2. Berdasarkan hukum Biot-Savart, pernyataan yang benar adalah ...
 - a. besar induksi magnet berbanding lurus dengan kuat arus listrik dan berbanding terbalik dengan panjang penghantar
 - b. besar induksi magnet berbanding terbalik dengan kuat arus listrik dan berbanding lurus dengan panjang penghantar
 - c. besar induksi magnet berbanding lurus dengan kuat arus listrik dan panjang penghantar
 - d. besar induksi magnet berbanding terbalik dengan kuat arus listrik dan panjang penghantar
 - e. besar induksi magnet berbanding lurus dengan kuat arus listrik dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak titik dengan penghantar
3. Jarak titik P dari penghantar yang berarus 15 A agar induksi magnetiknya $4 \cdot 10^{-5}$ T adalah ... cm
 - a. 10
 - b. 15
 - c. 25
 - d. 50
 - e. 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 ...
- aluminium
 - emas
 - baja
 - fiber
 - 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
- 62
 - 36
 - 24
 - 18
 - 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.
- 5
 - 8
 - 10
 - 12
 - 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 ...
- barat
 - selatan
 - atas
 - bawah
 - 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 ...
- bawah
 - atas
 - timur
 - barat
 - selatan
13. Perhatikan alat-alat berikut :
- generator
 - galvanometer
 - Voltmeter
 - Motor listrik
- Alat yang bekerja berdasarkan timbulnya gaya magnet adalah ...
- 1,3
 - 2, 4
 - 1,2,3
 - 2,3,4
 - semua benar
14. Jika proton bergerak ke utara dalam medan magnet ke timur, maka proton akan
- di belokkan ke timur
 - dibelokkan ke barat
 - dibelokkan ke atas
 - dibelokkan ke bawah
 - bergerak lurus
15. Lintasan sebuah electron yang bergerak dalam medan magnet dengan kecepatan sejajar arah medan adalah ...
- lingkaran
 - ellips
 - garis lurus
 - parabola
 - 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
- $3,2 \cdot 10^{-18}$
 - $1,6 \cdot 10^{-18}$
 - $1,6 \cdot 10^{-20}$
 - $8 \cdot 10^{-21}$
 - $8 \cdot 10^{-20}$

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
- $2 \cdot 10^{-17}$
 - $2 \cdot 10^{-16}$
 - $1,92 \cdot 10^{-17}$
 - $1,92 \cdot 10^{-16}$
 - $1,56 \cdot 10^{-15}$
18. Proton bergerak dalam medan magnet 0,1 T membentuk lintasan melingkar dengan radius 5 cm. Energi kinetik electron adalah ... J
- $1,9 \cdot 10^{-16}$
 - $2,2 \cdot 10^{-16}$
 - $2,9 \cdot 10^{-16}$
 - $3,5 \cdot 10^{-16}$
 - $4,0 \cdot 10^{-16}$
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
- 1
 - $2\sqrt{2}$
 - 4
 - $6\sqrt{3}$
 - 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 ...
- $w = \frac{m}{B \cdot q}$
 - $w = \frac{B \cdot q}{m \cdot R}$
 - $w = \frac{B \cdot q}{m}$
 - $w = \frac{m \cdot R}{B \cdot q}$
 - $w = \frac{B \cdot q}{2 \cdot m \cdot \pi}$