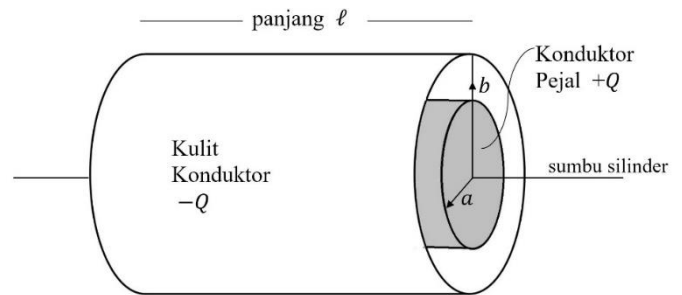


1. Sebuah konduktor silinder pejal mempunyai muatan total  $+Q$ , jari-jari  $a$ , dan panjang  $\ell$  yang jauh lebih besar daripada jari-jarinya ( $\ell \gg a$ ). Konduktor tersebut diselubungi secara sesumbu (koaksial) oleh kulit tipis konduktor silinder bermuatan  $-Q$  dan berjari-jari  $b$  ( $\ell \gg b$ ) seperti tampak pada gambar.



- Tentukan besar dan tanda rapat muatan berturut-turut pada konduktor pejal dan kulit konduktor.
- Dengan menggunakan hukum Gauss, turunkan medan listrik di titik-titik (berjarak radial  $r$  dari sumbu silinder) dalam konduktor pejal, antara konduktor pejal dan kulit tipis konduktor, di luar kulit tipis konduktor.
- Gambarkan kurva besar medan listrik terhadap jarak radialnya dari sumbu silinder.

**Jawaban:**

**Nilai Maks**  
**4**

- a. Besar dan tanda rapat muatan pada konduktor pejal dan kulit konduktor berturut-turut adalah

$$\lambda_{\text{kond.pejal}} = \frac{+Q}{\ell}$$

**2**

$$\lambda_{\text{kulit konduktor}} = \frac{-Q}{\ell}$$

**2**

**Atau alternatif lain**

$$\sigma_{\text{kond.pejal}} = \frac{+Q}{2\pi a\ell}$$

$$\sigma_{\text{kulit konduktor}} = \frac{-Q}{2\pi b\ell}$$

**Nilai Maks**  
**9**

- b. Buatlah permukaan Gauss berupa silinder berjarak radial  $r$  dari sumbu silinder. Dari hukum Gauss  $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{\text{in}}}{\epsilon_0}$  dengan  $q_{\text{in}}$  adalah muatan total yang dilingkupi permukaan Gauss, dapat

diturunkan medan listrik di titik-titik

$$0 \leq r < a \text{ (dalam konduktor pejal): } E = 0,$$

**3**

$$a \leq r < b \text{ (antara konduktor pejal dan kulit konduktor):}$$

$$E(2\pi r\ell) = \frac{+Q}{\epsilon_0} \rightarrow E = \frac{+Q}{2\pi\epsilon_0 r\ell} = \frac{+2k\lambda}{r},$$

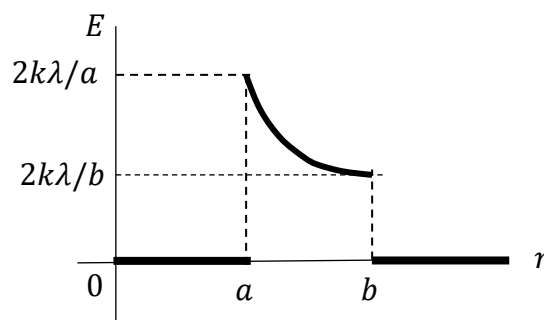
**3**

$$b \leq r \text{ (luar kulit konduktor): } E(2\pi r\ell) = \frac{+Q - Q}{\epsilon_0} \rightarrow E = 0.$$

**3**

**Nilai Maks**  
**7**

- c. Dari jawaban b), kurva medan listrik terhadap jarak radialnya dari sumbu silinder digambarkan sebagai berikut:



**7**

2. Suatu sistem muatan titik terdiri atas tiga buah muatan titik yang terletak pada bidang X-Y, yaitu  $q_1 = -1 \times 10^{-6}$  C berada di posisi (4,3) m,  $q_2 = 9 \times 10^{-6}$  C berada di (4,0) m dan  $q_3 = 2 \times 10^{-6}$  C berada di (0,3) m. Gunakan  $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$ .
- Tentukanlah gaya Coulomb yang dialami muatan  $q_1$ .
  - Hitunglah energi potensial listrik yang tersimpan pada sistem muatan tersebut.
  - Berapakah energi yang dibutuhkan untuk membawa muatan  $q_4 = 6 \times 10^{-6}$  C dari tempat jauh ke posisi (0,0) m.

### Jawaban:

Nilai  
Maks  
7

- a. Gunakan hukum Coulomb:

$$\vec{r}_1 = (\hat{i} 4 + \hat{j} 3) \text{ m}, \quad \vec{r}_2 = \hat{i} 4 \text{ m}, \quad \vec{r}_3 = \hat{j} 3 \text{ m}$$

$$\vec{r}_{12} = (\hat{i} 4 + \hat{j} 3) - (\hat{i} 4) = \hat{j} 3 \text{ m}, \quad r_{12} = 3 \text{ m}, \quad \hat{r}_{12} = \hat{j}$$

$$\vec{r}_{13} = (\hat{i} 4 + \hat{j} 3) - (\hat{j} 3) = \hat{i} 4 \text{ m}, \quad r_{13} = 4 \text{ m}, \quad \hat{r}_{13} = \hat{i}$$

$$\vec{F}_1 = k \left( \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12} + \frac{q_1 q_3}{r_{13}^2} \hat{r}_{13} \right)$$

Benar menulis rumus dengan vektor nilai 4

$$\vec{F}_1 = (9 \times 10^9) \left( \frac{(-1 \times 10^{-6} \text{ C})(9 \times 10^{-6} \text{ C})}{9} \hat{j} + \frac{(-1 \times 10^{-6} \text{ C})(2 \times 10^{-6} \text{ C})}{16} \hat{i} \right)$$

$$\vec{F}_1 = (9 \times 10^{-3}) \left( \frac{9}{9} (-\hat{j}) + \frac{2}{16} (-\hat{i}) \right)$$

$$\vec{F}_1 = (9 \times 10^{-3}) \left( -\hat{i} \frac{1}{8} - \hat{j} \right) \text{ N}$$

Jawaban benar dengan vektor satuan nilai 3

Nilai  
Maks  
6

- b. Energi potensial total sistem adalah

$$\vec{r}_{23} = \hat{i} 4 - \hat{j} 3, \quad r_{23} = 5$$

$$U = U_{12} + U_{13} + U_{23}$$

$$U = k \frac{q_1 q_2}{r_{12}} + k \frac{q_1 q_3}{r_{13}} + k \frac{q_2 q_3}{r_{23}}$$

Benar menulis rumus nilai 3

$$U = (9 \times 10^9) \frac{(-1 \times 10^{-6} \text{ C})(9 \times 10^{-6} \text{ C})}{3} + (9 \times 10^9) \frac{(-1 \times 10^{-6} \text{ C})(2 \times 10^{-6} \text{ C})}{4} + (9 \times 10^9) \frac{(9 \times 10^{-6} \text{ C})(2 \times 10^{-6} \text{ C})}{5}$$

$$U = (9 \times 10^{-3}) \left( -\frac{9}{3} - \frac{2}{4} + \frac{18}{5} \right) = (9 \times 10^{-3}) \left( \frac{1}{10} \right) = 9 \times 10^{-4} \text{ J}$$

Jawaban benar dengan satuan nilai 3

Nilai  
Maks  
7

- c. Berapakah energi yang dibutuhkan untuk membawa muatan  $q_4 = 6 \times 10^{-6}$  C dari tempat jauh ke posisi (0,0)

$$U_4 = k q_4 \left( \frac{q_1}{r_{41}} + \frac{q_2}{r_{42}} + \frac{q_3}{r_{43}} \right)$$

Benar menulis rumus nilai 3

$$= (9 \times 10^9) (6 \times 10^{-6} \text{ C}) \left( \frac{(-1 \times 10^{-6} \text{ C})}{5} + \frac{(9 \times 10^{-6} \text{ C})}{4} + \frac{(2 \times 10^{-6} \text{ C})}{3} \right)$$

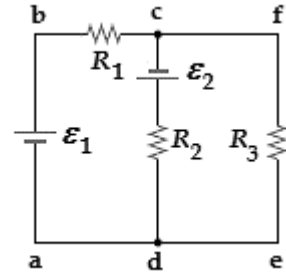
$$= (9 \times 6 \times 10^{-3}) \left( -\frac{1}{5} + \frac{9}{4} + \frac{2}{3} \right)$$

$$= (9 \times 6 \times 10^{-3}) \left( \frac{163}{60} \right)$$

$$= 1467 \times 10^{-4} \text{ J} = 1,467 \times 10^{-1} \text{ J}$$

Jawaban benar dengan satuan nilai 4

3. Gambar berikut menunjukkan rangkaian arus searah dengan diketahui sumber tegangannya  $\varepsilon_1 = 14 \text{ V}$ ,  $\varepsilon_2 = 10 \text{ V}$  dan hambatannya  $R_1 = 4 \Omega$ ,  $R_2 = 6 \Omega$ ,  $R_3 = 2 \Omega$ .



- Tentukan besar dan arah arus listrik yang melewati masing-masing hambatan.
- Hitung beda tegangan listrik  $V_c - V_d$ .
- Apabila  $\varepsilon_1$  diganti dengan sebuah kapasitor, tentukan besar dan arah arus listrik yang mengalir di  $R_2$  dan  $R_3$  ketika kapasitor sudah terisi penuh muatan.
- Terkait soal c, hitung besar muatan yang tersimpan di kapasitor jika nilai kapasitansinya  $C = 2 \times 10^{-6} \text{ F}$ .

### Jawaban:

Nilai  
Maks  
6

- a. Asumsikan arah arus pada *loop*  $abcda$  (*loop* 1) dan *loop*  $dcfed$  (*loop* 2) searah jarum jam. Dengan menggunakan hukum I Kirchhoff pada kedua *loop* diperoleh sistem persamaan

$$I_1(R_1 + R_2) - I_2 R_2 = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \rightarrow 10I_1 - 6I_2 = 24$$

$$I_1 R_2 - I_2(R_2 + R_3) = \varepsilon_2 \rightarrow 6I_1 - 8I_2 = 10$$

dengan solusinya  $I_1 = 3 \text{ A}$  dan  $I_2 = 1 \text{ A}$ .

Jadi, arus yang melewati hambatan  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_3$  berturut-turut adalah  $I_1 = 3 \text{ A}$  (dari b ke c),  $I_1 - I_2 = 2 \text{ A}$  (dari c ke d),  $I_2 = 1 \text{ A}$  (dari f ke e).

**Alternatif lain:** banyak cara untuk mendapatkan jawaban di atas, asalkan **besar dan arah arus yang diperoleh sama** dengan hasil perhitungan di atas, maka jawaban di anggap benar.

Nilai  
Maks  
4

- b. Beda tegangan listrik  $V_c - V_d = (I_1 - I_2)R_2 - \varepsilon_2 = (3 - 1)6 - 10 = 2 \text{ V}$ .

**Alternatif lain:** banyak cara untuk mendapatkan jawaban di atas, asalkan **beda tegangan yang diperoleh sama** dengan hasil perhitungan di atas, maka jawaban di anggap benar.

Nilai  
Maks  
5

- c. Setelah kapasitor jenuh muatan, arus hanya mengalir pada *loop*  $dcfed$ . Jika arus yang mengalir pada *loop* tersebut adalah  $I$  searah jarum jam, dari hukum I Kirchhoff diperoleh persamaan

$$I(R_2 + R_3) = \varepsilon_2 \rightarrow 8I = 10 \rightarrow I = 1.25 \text{ A}.$$

Jadi, arus yang melewati hambatan  $R_2$  dan  $R_3$  berturut-turut adalah  $I = 1.25 \text{ A}$  (dari d ke c) dan  $I = 1.25 \text{ A}$  (dari f ke e).

**Alternatif lain:** banyak cara untuk mendapatkan jawaban di atas, asalkan **besar dan arah arus yang diperoleh sama** dengan hasil perhitungan di atas, maka jawaban di anggap benar.

Nilai  
Maks  
5

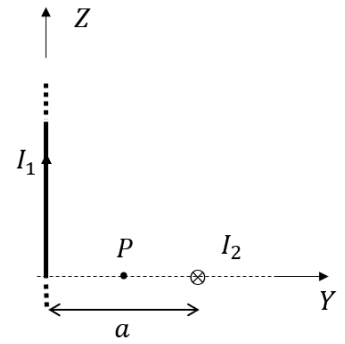
- d. Dari kaitan  $V_f - V_e = V_C$  diperoleh

$$IR_3 = q_C / C \rightarrow q_C = C(IR_3) = (2 \times 10^{-6})(1.25)(2) = 5 \times 10^{-6} \text{ C}.$$

Jadi, besar muatan yang tersimpan dalam kapasitor adalah  $5 \times 10^{-6} \text{ C}$ .

**Alternatif lain:** banyak cara untuk mendapatkan jawaban di atas, asalkan **besar muatan yang diperoleh sama** dengan hasil perhitungan di atas, maka jawaban di anggap benar.

4. Dua buah kawat lurus sangat panjang masing-masing membawa arus  $I_1$  dan  $I_2$  dengan arah seperti ditunjukkan pada gambar. Sumbu  $x$  positif berarah keluar bidang gambar. Jarak terdekat antara kedua kawat tersebut adalah  $a$ . Titik P berada pada koordinat  $(0, \frac{a}{2}, 0)$ .



- Dengan menggunakan hukum Ampere, turunkan besar medan magnet  $B_1$  yang ditimbulkan oleh arus  $I_1$  di titik P. Nyatakan  $B_1$  dalam  $\mu_0, I_1, \pi, a$ .
- Gambarkan secara skematis, masing-masing arah medan magnet yang ditimbulkan oleh arus  $I_1$  dan  $I_2$  di titik P.
- Tentukan besar medan magnet total di titik P, nyatakan dalam  $\mu_0, I_1, I_2, \pi, a$ .
- Susunan kawat diatur sedemikian sehingga arah-arah arus  $I_1$  dan  $I_2$  saling berlawanan serta jarak antara keduanya adalah 10 cm. Hitung gaya per satuan panjang yang dialami masing-masing kawat jika  $I_1 = I_2 = 0,5$  A. Gunakan  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \frac{\text{Tm}}{\text{A}}$ . Jelaskan apakah kedua kawat tersebut tarik-menarik atau tolak-menolak.

### Jawaban:

Nilai  
Maks  
5

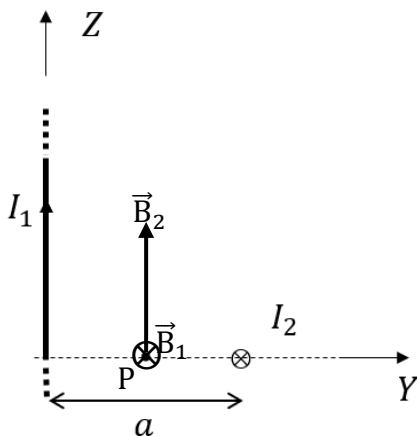
- a. Hukum Ampere:  $\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{encl}$   
Lintasan tertutup berupa lingkaran berjari  $a/2$ :

$$B \left( 2\pi \left( \frac{1}{2} a \right) \right) = \mu_0 I_1$$

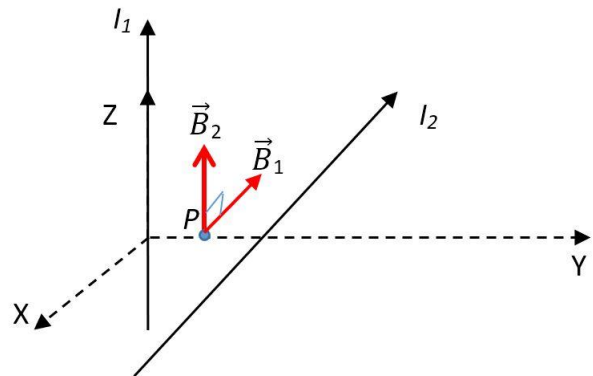
$$B = \frac{\mu_0 I_1}{\pi a}$$

Nilai  
Maks  
5

- b. Skema arah medan magnet di titik P dimana arah  $\hat{B}_1 = -\hat{i}$  (masuk bidang gambar) dan  $\hat{B}_2 = \hat{k}$



atau



Nilai  
Maks  
5

- c. Dengan menggunakan hukum Ampere, dapat dihitung besarnya  $B_2$  sebagai berikut:

$$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0 I_{encl}$$

Lintasan tertutup berupa lingkaran berjari  $a/2$ :

$$B \left[ 2\pi \left( \frac{1}{2} a \right) \right] = \mu_0 I_2$$

$$B = \frac{\mu_0 I_2}{\pi a}$$

Karena sudut antara  $B_1$  dan  $B_2$  adalah  $90^\circ$ , maka  $B_P$ :

$$B_P = \sqrt{B_1^2 + B_2^2} = \frac{\mu_0}{\pi a} \sqrt{I_1^2 + I_2^2}$$

- d. Karena kedua arus saling berlawanan arah, maka kedua kawat akan saling menolak. Jika  $B_{12}$  adalah besarnya medan magnet yang ditimbulkan oleh  $I_1$  pada kawat 2, maka besar gaya tolak per satuan panjang yang dialami kawat 2 adalah:

$$\frac{F}{L} = I_2 B_{12} = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi a} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = 0,5 \times 10^{-6} \frac{N}{m} = 5 \times 10^{-7} \frac{N}{m}$$

Dengan cara yang sama, maka besar gaya tolak per satuan panjang yang dialami kawat 1 adalah:

$$\frac{F}{L} = I_1 B_{21} = \frac{\mu_0 I_2 I_1}{2\pi d} = \frac{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2}}{2\pi \cdot 10 \cdot 10^{-2}} = 0,5 \times 10^{-6} \frac{N}{m} = 5 \times 10^{-7} \frac{N}{m}$$

5. Sebuah kapasitor pelat sejajar, yang luas masing-masing pelatnya  $A = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^2$  dan jarak antar pelat  $d = 8,85 \times 10^{-4} \text{ m}$ , dihubungkan ke baterai 12 volt hingga kapasitor terisi penuh muatan. Gunakan  $\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2}$ .
- Hitung kapasitansi, muatan dan energi yang tersimpan dalam kapasitor tersebut.
  - Jika baterai dilepas kemudian jarak antara pelat kapasitor dijadikan dua kali jaraknya semula, hitung beda potensial antar pelat dalam keadaan tersebut.
  - Jika baterai, pada soal a, dilepas kemudian kapasitor dihubungkan paralel dengan kapasitor kedua (yang awalnya tidak bermuatan), dan ternyata beda potensial sistem kapasitor tersebut adalah 8 volt, berapakah kapasitansi kapasitor kedua?

### Jawaban:

Nilai  
Maks  
6

a. Kapasitansi kapasitor:  $C = \frac{\epsilon_0 A}{d} = \frac{(8,85 \times 10^{-12})(2 \times 10^{-4})}{(8,85 \times 10^{-4})} = 2 \times 10^{-12} \text{ F} = 2 \text{ pF}$

Total muatan pada kapasitor:  $Q = CV = (2 \times 10^{-12})(12) = 24 \times 10^{-12} \text{ Coulomb}$

Energi yang tersimpan pada kapasitor:

$$U = \frac{1}{2} CV^2 = \frac{1}{2} (2 \times 10^{-12})(12)^2 = 144 \times 10^{-12} \text{ Joule}$$

Nilai  
Maks  
7

- b. Setelah baterai diputus muatan pada kapasitor tetap sama yaitu  $Q' = 24 \times 10^{-12} \text{ C}$ . Sehingga kapasitansi kapasitor akibat jarak diperbesar menjadi  $2d$  adalah:

$$C' = \frac{\epsilon_0 A}{2d} = \frac{1}{2} C = 1 \times 10^{-12} \text{ F}$$

Beda potensial ujung-ujung kapasitor setelah dipisah sejauh  $2d$  adalah:

$$V' = \frac{Q'}{C'} = 2V = 24 \text{ Volt}$$

Nilai  
Maks  
7

- c. Karena dua kapasitor disusun paralel dan dilepas dari baterai maka muatan total kedua kapasitor tersebut adalah  $Q_1 + Q_2 = 24 \times 10^{-12} \text{ C}$ .

Diketahui beda potensial antara ujung<sup>2</sup> kapasitor paralel adalah  $V_1 = V_2 = 8 \text{ Volt}$

Sehingga diperoleh: muatan pada kapasitor 1:

$$Q_1 = C_1 V = (2 \times 10^{-12})(8) = 16 \times 10^{-12} \text{ C}$$

muatan pada kapasitor 2:

$$Q_2 = 24 \times 10^{-12} - 16 \times 10^{-12} = 8 \times 10^{-12} \text{ C}$$

Maka kapasitansi kapasitor 2 adalah:  $C = \frac{Q_2}{V} = \frac{(8 \times 10^{-12})}{8} = 1 \times 10^{-12} \text{ F}$