

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 1

### GAYA COULOMB DAN MEDAN LISTRIK

#### A. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari kegiatan belajar 1 ini, Anda diharapkan mampu menganalisis konsep muatan listrik, Hukum Coulomb dan kuat medan listrik. Anda juga diharapkan mampu melakukan uji coba muatan pada benda dengan membuat alat peraga elektroskop sederhana.

#### B. Uraian Materi

Agar Anda mampu menguasai materi ini dengan baik maka bacalah dengan seksama uraian materi tentang muatan listrik, Hukum Coulomb dan kuat medan listrik. Yakinlah bahwa Anda mampu untuk mempelajarinya dengan baik.

##### 1. Muatan Listrik



Gambar 2. Sisir menarik kertas

Apa itu muatan listrik? Apa yang dimaksud dengan  $Q$

Anda tentunya sudah sangat paham bahwa muatan listrik adalah muatan dasar suatu benda yang membuatnya mengalami gaya pada benda lain yang berdekatan dan memiliki muatan listrik. Muatan listrik diberi simbol  $Q$ , dan satuannya adalah Coulomb (C). Jika jumlah proton lebih banyak dibanding jumlah elektronnya ( $\Sigma p > \Sigma e$ ), maka atom bermuatan positif.

Sebaliknya, jika jumlah elektron lebih banyak dibanding jumlah protonnya ( $\Sigma e > \Sigma p$ ), maka atom bermuatan negatif. Jika muatan listrik didekatkan dengan muatan listrik sejenis (positif-positif, dan negatif-negatif), interaksi yang terjadi yakni saling tolak-menolak. Sedangkan ketika suatu muatan listrik didekatkan dengan muatan listrik tak sejenis (positif-negatif), maka akan terjadi tarik-menarik.

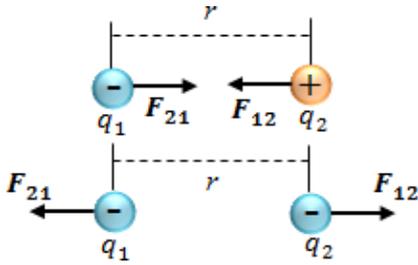


Gambar 3. Sifat muatan listrik ketika saling didekatkan

Lalu bagaimana sisir plastik yang digosokkan dapat menarik sobekan-sobekan kertas kecil? Setelah mengetahui sifat-sifat muatan listrik. Kita dapat lebih mudah memahami bagaimana sisir tersebut menarik sobekan-sobekan kertas. Perlu diketahui bahwa sebelum sisir digosokkan dengan rambut secara satu arah, sisir tidak bermuatan listrik, Sisir yang tidak bermuatan listrik tersebut belum bisa menarik sobekan-sobekan kertas. Namun setelah sisir digosokkan dengan rambut, muatan negatif pada sisir berpindah ke rambut sehingga muatan positif pada sisir lebih banyak daripada muatan negatifnya. Pada saat tersebut, sisir dapat dikatakan sebagai benda bermuatan listrik positif sehingga sisir dapat menarik sobekan-sobekan kertas.

## 2. Hukum Coulomb

Anda sudah mengetahui bahwa sebuah muatan ( $q_1$ ) akan menimbulkan interaksi tarik-menarik atau tolak menolak pada muatan lainnya ( $q_2$ ) yang berada cukup dekat dengan muatan  $q_1$ . Interaksi tarik-menarik dan tolak-menolak tersebut disebut gaya listrik ( $F$ ). Lalu bagaimana hubungan antara gaya listrik dengan kedua muatan dan jarak antar kedua muatan tersebut? Melalui eksperimen gaya Coulomb, maka akan didapat hubungan antara besar gaya Coulomb dengan jarak antar muatan dan besar muatan.



Gambar 4. Gaya Coulomb antar muatan

Anda sudah mengetahui bahwa sebuah muatan ( $q_1$ ) akan menimbulkan interaksi tarik-menarik atau tolak menolak pada muatan lainnya ( $q_2$ ) yang berada cukup dekat dengan muatan  $q_1$ . Interaksi tarik-menarik dan tolak-menolak tersebut disebut gaya listrik ( $F$ ). Lalu bagaimana hubungan antara gaya listrik dengan kedua muatan dan jarak antar kedua muatan tersebut? Melalui eksperimen gaya Coulomb, maka akan didapat hubungan antara besar gaya Coulomb dengan jarak antar muatan dan besar muatan.

Hasil analisis data dari eksperimen tersebut menunjukkan bahwa **besar gaya Coulomb sebanding dengan perkalian kedua muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan tersebut.**

Secara sistematis, hukum Coulomb dinyatakan sebagai berikut :

$$F = k \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2}$$

Keterangan :

- F = Gaya Coulomb (N)
- k = Koefisien ( $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ )
- $Q_1$  = Muatan pertama (C)
- $Q_2$  = Muatan kedua (C)
- r = Jarak antar muatan (m)

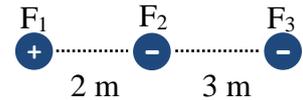
### Resultan Gaya Coulomb

Perlu diingat bahwa **Gaya coulomb merupakan besaran vektor** sehingga harus memperhatikan nilai dan juga arah vektor semua partikel bermuatan.

#### a. Muatan Segaris

Jika semua partikel bermuatan berada pada satu garis lurus, maka resultan gaya Coulomb-nya dapat dirumuskan sebagai berikut :

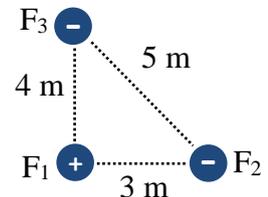
$$F_{\text{total}} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$$



#### b. Muatan Membentuk Sudut Siku-Siku

Jika semua partikel bermuatan membentuk sudut siku-siku terhadap salah satu partikel bermuatan, maka resultan gaya Coulomb-nya dapat dirumuskan sebagai berikut :

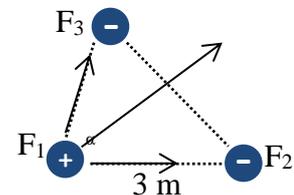
$$F_{\text{total}} = \sqrt{F_{12}^2 + F_{13}^2}$$



#### c. Muatan Membentuk Sudut bukan Siku-Siku

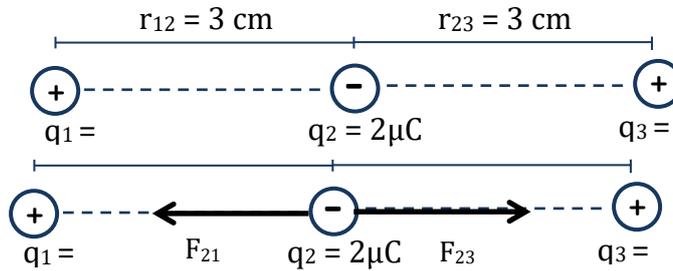
Jika semua partikel bermuatan membentuk sudut bukan siku-siku, maka resultan gaya Coulomb-nya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{\text{total}} = \sqrt{F_{12}^2 + F_{13}^2 + 2F_{12}F_{13}\cos\theta}$$



**contoh soal**

Tentukan besar dan arah gaya Coulomb yang dialami  $q_2$  jika terletak diantara  $q_1$  dan  $q_3$ !



**Jawab :**

Besar gaya yang dialami  $q_2$  karena pengaruh  $q_1$

$$F_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \longrightarrow F_{21} = (9 \times 10^9) \frac{(2 \times 10^{-6})(1 \times 10^{-6})}{(3 \times 10^{-2})^2}$$

$$F_{21} = 20N$$

Besar gaya yang dialami  $q_2$  karena pengaruh  $q_3$

$$F_{23} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \longrightarrow F_{23} = (9 \times 10^9) \frac{(2 \times 10^{-6})(4 \times 10^{-6})}{(3 \times 10^{-2})^2}$$

$$F_{23} = 80N$$

Karena  $q_2$  dan  $q_1$  saling tarik menarik maka  $F_{21}$  arahnya menuju  $q_1$ , sedangkan  $q_2$  dan  $q_3$  juga saling tarik menarik maka arahnya menuju  $q_3$ , sehingga resultan gaya yang bekerja pada  $q_2$  adalah :

$$F_2 = F_{23} - F_{21} \longrightarrow F_2 = 80 - 20 \longrightarrow F_2 = 60 N$$

**3. Medan Listrik**

Ketika Anda mendekatkan sisir atau penggaris plastik pada potongan kertas kecil, maka beberapa potongan kertas akan menempel pada sisir atau penggaris. Nah, bagaimana ketika sisir atau penggaris dijauhkan? Ternyata terdapat suatu wilayah di sekitar sisir atau penggaris plastik tersebut tersebut yang masih dapat terpengaruh oleh gaya listrik. Tempat di sekitar muatan listrik yang masih dipengaruhi gaya listrik itu merupakan medan listrik.

Medan listrik adalah daerah di sekitar partikel bermuatan listrik yang masih dipengaruhi gaya Coulumb. Benda bermuatan yang menghasilkan medan listrik dinamakan *muatan sumber*. Muatan lain yang diletakkan dalam pengaruh medan listrik muatan sumber dinamakan *muatan uji*. Perhatikan ilustrasi berikut :



**Gambar 5. (a)** Gaya listrik yang bekerja pada muatan-muatan yang diletakkan dalam ruang di sekitar *muatan sumber* A. **(b)** Garis khayal arah medan listrik, arah gaya listrik muatan positif ke luar, dan muatan negatif ke dalam.

**a. Persamaan Medan Listrik**

Kuat medan listrik dapat didefinisikan dalam persamaan berikut :

$$E = \frac{F}{q_0}$$

✓ Pada muatan uji

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

✓ Pada suatu titik

- Keterangan:
- E = kuat medan listrik (N/C)
  - F = gaya Coulomb (N)
  - k = konstanta Coulomb (Nm<sup>2</sup>/C<sup>2</sup>)
  - Q = besar muatan listrik (C)
  - q<sub>0</sub> = besar muatan uji (C)
  - r = jarak muatan terhadap titik tertentu (m)

**b. Resultan Medan Listrik**

Apabila terdapat lebih dari satu muatan sumber, maka besarnya medan listrik yang bekerja pada partikel itu sama dengan jumlah vektornya. Maka, dalam menghitung resultan medan listrik yang dihasilkan partikel bermuatan listrik harus memperhatikan arah vektor medan listriknya.

▪ **Partikel dalam Satu Garis Lurus**

Jika semua partikel bermuatan berada pada satu garis lurus, maka resultan medan listriknya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$E_{total} = \pm E_1 \pm E_2 \pm E_3 \pm \dots \pm E_n$$

▪ **Partikel Membentuk Sudut Tertentu**

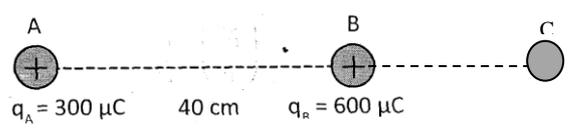
Jika semua partikel bermuatan membentuk sudut tertentu, maka resultan medan listriknya dapat dirumuskan sebagai berikut :

*Metode Analisis vektor*

$$E_{total} = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\theta}$$

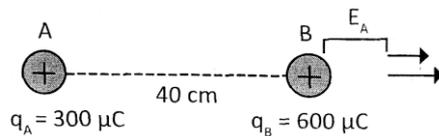
**contoh soal**

Dua buah muatan listrik diletakkan terpisah seperti gambar. Titik C berada 20 cm disebelah kanan B. Jika k=9.10<sup>9</sup>Nm<sup>2</sup>.C<sup>-2</sup> dan 1μC=10<sup>-6</sup> maka tentukan kuat medan kuat medan di titik C!



Jawab :

Perhatikan gambar berikut!



$$r_A = 60 \text{ cm} = 0,6 \text{ m}$$

$$r_B = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

karena arahnya searah maka medan di titik C adalah

$$E_C = + E_B$$

$$E_C = k \frac{q_A}{r_A^2} + k \frac{q_B}{r_B^2}$$

$$E_C = 9 \cdot 10^9 \frac{3 \cdot 10^{-4}}{0,6^2} + 9 \cdot 10^9 \frac{6 \cdot 10^{-4}}{0,2^2}$$

$$E_C = 75 \cdot 10^5 + 1350 \cdot 10^5$$

$$E_C = 1,425 \cdot 10^8 \text{ N/C}$$

### C. Rangkuman

1. Jika muatan listrik didekatkan dengan muatan listrik sejenis interaksi yang terjadi yakni saling tolak-menolak. Sedangkan ketika suatu muatan listrik didekatkan dengan muatan listrik tak sejenis, maka akan terjadi tarik-menarik.
2. Besar gaya Coulomb sebanding dengan perkalian kedua muatan dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan tersebut.

$$F = k \frac{Q_1 \times Q_2}{r^2}$$

3. Jika semua partikel bermuatan berada pada satu garis lurus, maka resultan gaya Coulomb-nya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{\text{total}} = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n$$

4. Jika semua partikel bermuatan membentuk sudut bukan siku-siku, maka resultan gaya Coulomb-nya dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{\text{total}} = \sqrt{F_{12}^2 + F_{13}^2 + 2F_{12}F_{13}\cos\theta}$$

5. Medan listrik adalah daerah di sekitar partikel bermuatan listrik yang masih dipengaruhi gaya Coulomb.

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

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 2

### HUKUM GAUSS, ENERGI POTENSIAL DAN POTENSIAL LISTRIK

#### A. Tujuan Pembelajaran

Setelah mempelajari kegiatan belajar 1 dan memahaminya dengan baik, maka lanjutkan untuk mempelajari kegiatan pembelajaran 2. Dengan mempelajari kegiatan belajar 2, Anda diharapkan mampu menganalisis hukum Gauss dalam penentuan medan listrik distribusi muatan kontinu serta menentukan usaha dan energi potensial listrik.

#### B. Uraian Materi



Gambar 6. Mesin fotocopy

Anda tentu sering sekali merasakan manfaat mesin fotocopy dalam menyelesaikan tugas atau lainnya. Pernahkah Anda berusaha ingin tahu bagaimana prinsip kerja mesin fotocopy sehingga mampu mencetak tulisan atau gambar dengan jelas dan cepat. Ternyata, prinsip kerja mesin fotocopy juga menerapkan konsep listrik statis.

Pada kegiatan belajar 2 ini, Anda akan belajar tentang penerapan Hukum Gauss, potensial dan energi potensial. Baca dengan seksama dan pahami dengan baik.

#### 1. Hukum Gauss

Medan listrik divisualisasikan dengan menggunakan garis khayal medan listrik. Garis-garis medan listrik adalah garis bersambungan yang selalu mengarah menuju *massa sumber* medan listrik. Semakin banyak garis-garis medan listrik, maka semakin kuat medan listriknya.

Hukum Gauss yang menjelaskan tentang jumlah garis-garis gaya listrik (fluks listrik) yang menembus suatu permukaan tertutup, sama dengan jumlah muatan listrik yang dilingkupi oleh permukaan tertutup dibagi dengan permitivitas udara  $\epsilon_0$ .

Secara sistematis, hukum Gauss dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\Phi = EA \cos \theta = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$$

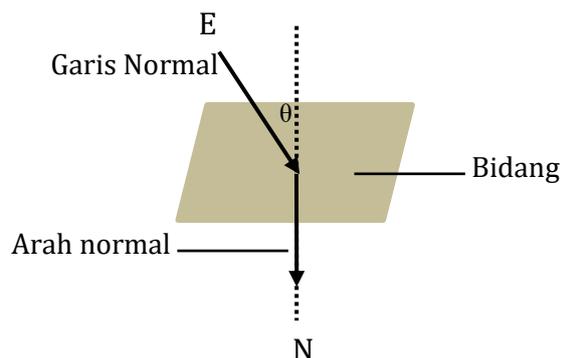
Keterangan: A = Luas permukaan tertutup ( $m^2$ )

$\Phi$  = Fluks Listrik (Wb/Weber)

$\theta$  = Sudut antara E dan arah normal

E = Medan listrik ( $Nm^2/C^2$ )

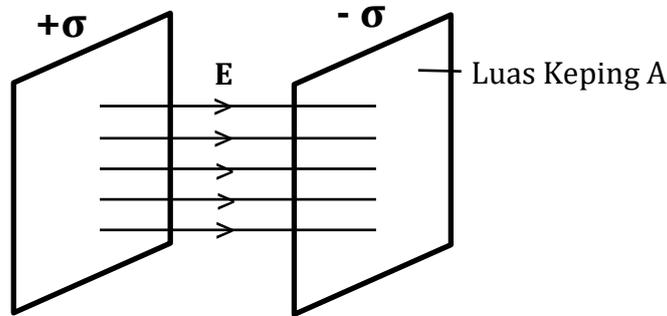
$\epsilon_0$  = Permittivitas udara



**2. Medan Listrik bagi Distributor Muatan Kontinu**

Hukum Gauss dapat digunakan untuk menghitung kuat medan listrik dari suatu sistem muatan konduktor bersimetri tinggi, seperti konduktor dua keping sejajar dan konduktor bola berongga.

**a. Konduktor Dua Keping Sejajar**



**Gambar 7.** Konduktor dua keping sejajar dengan rapatian tiap muatan adalah  $+\sigma$  dan  $-\sigma$ . Arah medan dari muatan positif menuju muatan negatif.

Berdasarkan gambar di atas, dapat didefinisikan bahwa rapat muatan listrik ( $\sigma$ ) yakni muatan per satuan luas, atau sebagai berikut :

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

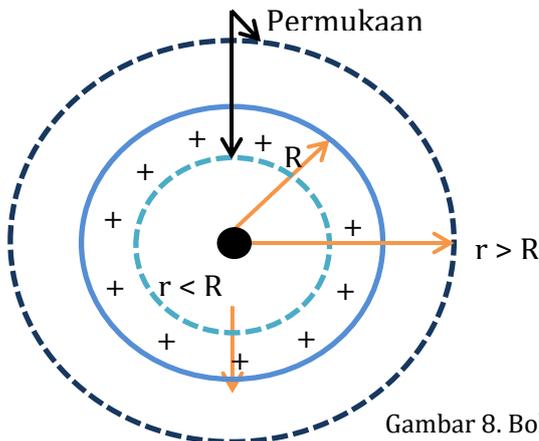
Jumlah garis medan yang menembus keping (fluks) adalah :

$$\phi = EA \cos \theta = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$$

Oleh karena medan listrik E menembus keping secara tegak lurus (pada gamb1.9), maka  $\theta = 0$ , dimana  $\cos 0^\circ = 1$ , sehingga :

$$EA = \frac{\sum q}{\epsilon_0} ; E = \left(\frac{q}{A}\right) \frac{1}{\epsilon_0} \longrightarrow E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

**b. Konduktor Bola Berongga**



Bila bola berongga diberi muatan, maka muatannya akan tersebar merata di permukaan bola ( di dalam bola tidak ada muatan atau  $q=0$ , sehingga kuat medan listrik (E) adalah 0).

$$EA = \frac{\sum q}{\epsilon_0} ; E = \frac{q}{A\epsilon_0}$$

**Gambar 8.** Bola konduktor

Kuat medan listrik :  
Dipermukaan bola  
konduktor ( $r=R$ )

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

Di luar bola  
konduktor ( $r>R$ )

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

- Keterangan:
- $q$  = Muatan listrik pada permukaan bola konduktor (C)
  - $E$  = Medan Listrik (N/C)
  - $R$  = Jari-jari bola konduktor (m)
  - $r$  = Jarak muatan titik dari pusat bola (m)

### 3. Energi Potensial Listrik

Gaya Coulomb yang bekerja pada muatan uji  $q_0$  dirumuskan sebagai berikut:

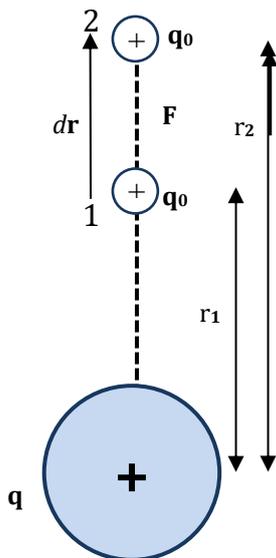
$$F = \frac{kq_0q}{r^2}$$

Arah gaya  $F$  vertikal ke atas searah dengan arah perpindahan  $dr$ , karena muatan  $q$  dan  $q_0$  sejenis. Maka, usaha yang dilakukan oleh gaya Coulomb  $F$  untuk perpindahan  $dr$  searah dengan titik 1 ke titik 2 dapat dihitung dengan menggunakan integral.

$$w_{12} = \int_{r_1}^{r_2} F dr \cos \theta$$

Karena  $\theta = 0$ , maka  $\cos 0^\circ = 1$ , maka :

$$w_{12} = \int_{r_1}^{r_2} F dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{kq_0q}{r^2} dr$$



**Gambar 9.** muatan uji  $q_0$  berpindah dari posisi 1 ke posisi 2

Karena  $k$ ,  $q_0$ , dan  $q$  tak bergantung pada variabel integral  $r$ , maka :

$$\begin{aligned} w_{12} &= kq_0q \left( \int_{r_1}^{r_2} r^{-2} dr \right) \\ &= kq_0q \left( \frac{r^{-2+1}}{-2+1} \right)_{r_1}^{r_2} \quad \text{Ingat} \quad \int x^n dx = \frac{x^{n+1}}{n+1} \\ &= kq_0q \left( \frac{r^{-1}}{-1} \right)_{r_1}^{r_2} = -kq_0q \left( \frac{1}{r} \right)_{r_1}^{r_2} \end{aligned}$$

$$w_{12} = -kq_0q \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

Gaya Coulomb termasuk gaya konservatif, sehingga memenuhi

$$\Delta EP_{12} = EP_2 - EP_1 = -w_{12}$$

$$\Delta EP_{12} = EP_2 - EP_1 = kq_0q \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

Keterangan :  $q_0$  = Muatan uji (C)  
 $q$  = Muatan sumber (C)  
 $r_2$  = Jarak muatan uji pada titik 2 ke muatan sumber (m)  
 $r_1$  = Jarak muatan uji pada titik 1 ke muatan sumber (m)

#### 4. Potensial Listrik

Potensial listrik merupakan perubahan energi potensial per satuan muatan ketika sebuah muatan uji dipindahkan di antara dua titik. Berdasarkan gambar 1.11 di atas, beda potensial listrik dapat dituliskan dengan persamaan berikut:

$$\Delta V_{12} = \frac{\Delta EP_{12}}{q'_0} \rightarrow \Delta V_{12} = \frac{kq'_0q \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)}{q'_0}$$

$$\Delta V_{12} = kq \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

$$\Delta V_{12} = V_2 - V_1$$

$$V_2 - V_1 = \frac{kq}{r_2} - \frac{kq}{r_1} \rightarrow V = \frac{kq}{r}$$

Potensial listrik adalah besaran skalar. Jika terdapat potensial listrik yang ditimbulkan oleh beberapa muatan sumber, maka resultan potensial listriknya dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

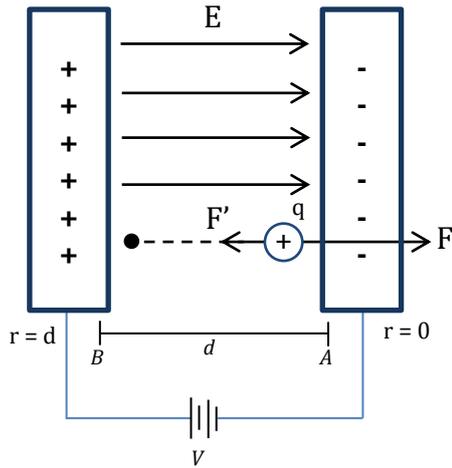
$$V_{\text{total}} = \pm V_1 \pm V_2 \pm V_3 \pm \dots \pm V_n$$

$$V = k \frac{q_1}{r_1} \pm k \frac{q_2}{r_2} \pm k \frac{q_3}{r_3} \pm \dots \pm k \frac{q_n}{r_n}$$

#### Hubungan Potensial Listrik dan Medan Listrik

##### a. Pada Konduktor Dua Keping Sejajar

Konduktor dua keping sejajar adalah dua keping logam sejajar yang dihubungkan dengan sebuah baterai sehingga kedua keping mendapat muatan sama tetapi berlawanan tanda. Medan listrik pada konduktor jenis ini disebut dengan **medan listrik homogen**.



Pada muatan positif  $q$  bekerja gaya listrik  $F = qE$  yang arahnya ke kanan. Untuk memindahkan muatan positif  $q$  dari A ke B, diperlukan gaya  $F'$  yang sama besar melawan gaya  $F$ . Usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan  $q$  dari A ke B, yakni :

$$W_{AB} = F' d \text{ dengan } F' = F = qE$$

$$W_{AB} = qED$$

**Gambar 10.** Dua keping sejajar yang terpisah pada jarak  $d$  diberi muatan sama yang berlawanan tanda oleh baterai dengan beda potensial  $V$

Maka, hubungan antara potensial listrik dan medan listrik, yakni sebagai berikut :

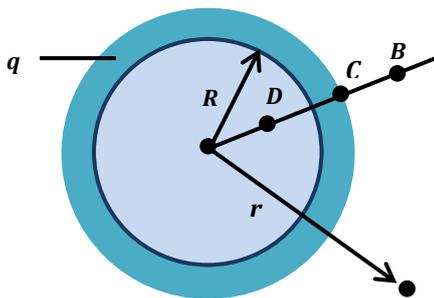
$$W_{AB} = \Delta EP_{AB} = q\Delta V_{AB} = q(V_B - V_A)$$

$$\Delta AB = qED$$

$$E = \frac{\Delta V_{AB}}{d}$$

Keterangan:  $\Delta V_{AB}$  = Beda potensial antara kedua keping (Volt)  
 $E$  = Kuat medan listrik homogen (Volt/m)  
 $d$  = Jarak antara kedua keping (m)

**b. Pada Konduktor Bola Berongga**



Muatan pada bola logam berongga tersebar pada permukaannya, sebab di dalam bola tidak ada muatan. Potensial listrik pada bola logam berongga bermuatan, yakni sebagai berikut :

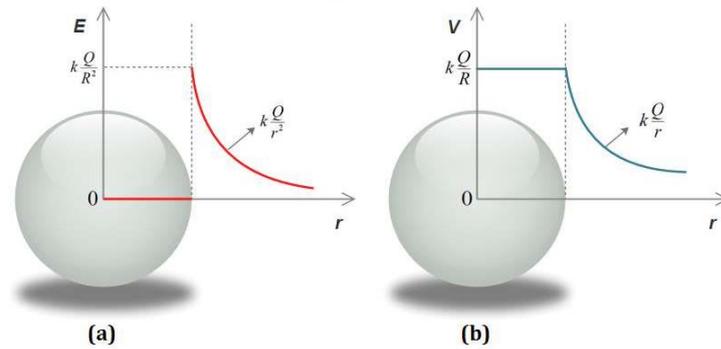
**Gambar 11.** Sebuah bola logam berongga dengan muatan  $q$  di permukaan dan jari-jari  $R$ .

Di dalam dan di kulit bola

$$V_D = V_C = k \frac{q}{R} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{R}$$

Di luar bola ( $r > R$ )

$$V_B = k \frac{q}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$



**Gambar 12.** (a) Grafik kuat medan listrik  $E$  terhadap jarak  $r$  (b) Grafik beda potensial  $V$  terhadap jarak  $r$ . Sumber : bagikancontoh.blogspot.com

### Contoh Soal

Sebuah bola dimuati +  $4,00 \times 10^{-6}$   $\mu\text{C}$ . Hitung :

- potensial pada titik yang berjarak 0,200 m dari muatan (beri label titik a) dan titik yang berjarak 0,400 m dari muatan (beri label titik B)
- Beda potensial antara a dan b
- Usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan + $1,6 \times 10^{-19}$  C (Proton) dari A ke B

Kunci Jawaban:

Diketahui:  $K = 9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$

Muatan sumber  $q = + 4,00 \times 10^{-6}$  C

Dijawab:

- Potensial (mutlak) di hitung dengan menggunakan persamaan

$$r_A = 0,200\text{m} \rightarrow V_A = k \frac{q}{r_A} = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}) \frac{(4 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0,200\text{m})^2}$$

$$r_A = \mathbf{1,80 \times 10^5 \text{ V}}$$

$$r_B = 0,400\text{m} \rightarrow V_B = k \frac{q}{r_B} = (9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}) \frac{(4 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0,400\text{m})^2}$$

$$r_B = \mathbf{0,900 \times 10^5 \text{ V}}$$

- Beda potensial antara A dan B,  $V_{AB}$  adalah

$$V_{AB} = V_B - V_A = 0,90 \times 10^5 - 1,8 \times 10^5 = \mathbf{-900 \times 10^4 \text{ V}}$$

- Usaha oleh gaya konservatif medan listrik berkaitan dengan beda energi potensial listrik usaha untuk memindahkan muatan  $q_0 = 1,6 \times 10^{-19}$  C,

$$W_{AB} = -\Delta E_{P_{AB}} = -(E_{PB} - E_{PA}) = -(q_0 V_B - q_0 V_A)$$

$$W_{AB} = -(1,6 \times 10^{-19})(-9,00 \times 10^4) = \mathbf{+1,44 \times 10^{-14} \text{ J}}$$

$$\mathbf{W_{luar} = -W_{konservatif} = -W_{AB} = -1,44 \times 10^{-14} \text{ J}}$$

### C. Rangkuman

1. Hukum Gauss menjelaskan tentang jumlah garis-garis gaya listrik (fluks listrik) yang menembus suatu permukaan tertutup, sama dengan jumlah muatan listrik yang dilingkupi oleh permukaan tertutup dibagi dengan permitivitas udara  $\epsilon_0$ .

$$\Phi = EA \cos \theta = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$$

2. Jumlah garis medan yang menembus keping dinyatakan dengan :

$$\phi = EA \cos \theta = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$$

3. Energi potensial listrik dinyatakan dengan persamaan

$$\Delta EP_{12} = EP_2 - EP_1 = kq_0q \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

4. Potensial listrik merupakan perubahan energi potensial per satuan muatan ketika sebuah muatan uji dipindahkan di antara dua titik.

$$\Delta V_{12} = kq \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right)$$

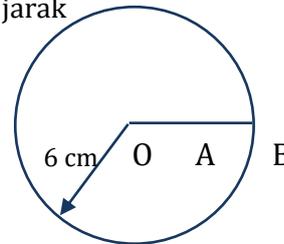
5. Potensial listrik adalah besaran skalar. Jika terdapat potensial listrik yang ditimbulkan oleh beberapa muatan sumber, maka resultan potensial listriknya dapat dirumuskan dengan persamaan berikut :

$$V_{\text{total}} = \pm V_1 \pm V_2 \pm V_3 \pm \dots \pm V_n$$

$$V = k \frac{q_1}{r_1} \pm k \frac{q_2}{r_2} \pm k \frac{q_3}{r_3} \pm \dots \pm k \frac{q_n}{r_n}$$

### D. Latihan Soal

1. Sebuah konduktor bola berongga diberi muatan  $-50 \mu\text{C}$ . Bola itu memiliki diameter 12 cm. Hitung kuat medan listrik pada jarak
  - (a) 3 cm dari pusat bola
  - (b) 6 cm dari pusat bola
  - (c) 3 cm dari pusat bola



2. Sebuah bola dimuati  $+ 4,00 \times 10^{-6} \mu\text{C}$ . Hitung:
  - (a) potensial pada titik yang berjarak 0,200 m dari muatan (beri label titik a) dan titik yang berjarak 0,400 m dari muatan (beri label titik B)
  - (b) Beda potensial antara a dan b
  - (c) Usaha yang diperlukan untuk memindahkan muatan  $+1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  (Proton) dari A ke B
3. Empat buah muatan masing-masing  $10 \mu\text{C}$ ,  $20 \mu\text{C}$ ,  $-30 \mu\text{C}$  dan  $40 \mu\text{C}$  ditempatkan pada titik sudut sebuah persegi panjang dengan Sisi 60 cm x 80 cm. Potensial listrik pada titik tengah persegi panjang tersebut adalah..

## KEGIATAN PEMBELAJARAN 3

### KAPASITOR DAN PENERAPAN LISTRIK STATIS DALAM KEHIDUPAN SEHARI-HARI

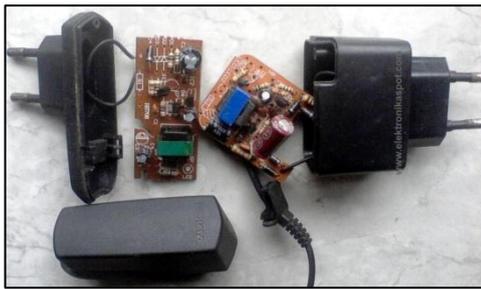
#### A. Tujuan Pembelajaran



Anda telah mempelajari kegiatan belajar 1 dan 2, berikutnya pelajarilah kegiatan belajar 3. Diharapkan setelah mempelajari kegiatan belajar 3, Anda dapat menganalisis karakteristik pada kapasitor, kapasitansinya, rangkaian kapasitor, menentukan energi yang tersimpan dalam kapasitor. serta memahami penerapan listrik statis dalam kehidupan sehari-hari

#### B. Uraian Materi

##### 1. Kapasitor



Anda setiap hari tidak pernah lepas dengan segala macam alat-alat elektronika. Mulai dari berbagai macam gadget, TV, AC, dan lainnya. Pernahkah Anda bertanya bagaimana alat-alat tersebut dapat menyimpan energi sehingga bisa digunakan? Tahukah Anda bahwa di dalam alat-alat tersebut terdapat kapasitor?

Gambar 13. Kapasitor pada charger HP

##### *Apa Itu Kapasitor ?*

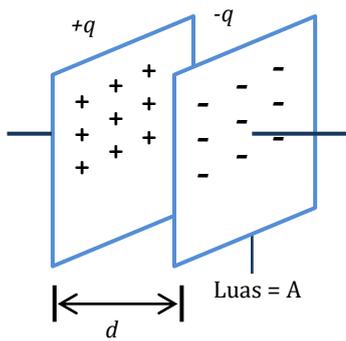


Gambar 14. Kapasitor kertas, eektrolit dan variabel

Sebuah kapasitor terdiri atas dua keping konduktor bermuatan sama besar dan tak sejenis, yang ruang di antaranya diisi oleh dielektrik (penyekat), seperti kertas atau udara. Satuan Internasional dari kapasitansi (sebutan kemampuan kapasitor untuk menyimpan muatan listrik) adalah Farad (F). Kapasitor adalah tempat penyimpanan energi yang dapat menyimpan energi kurang dari 10 J. Kapasitor digunakan karena dapat dimuati dan melepas muatannya dengan sangat cepat. Beberapa aplikasi kapasitor, diantaranya adalah Blitz pada kamera

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

## 2. Kapasitas Kapasitor Keping Sejajar



Kapasitor keping sejajar dihubungkan dengan baterai, dimana baterai memberikan muatan +q pada keping pertama, dan muatan -q pada keping kedua. Untuk menghitung kapasitas kapasitor, maka tentukan kuat medan listrik dalam ruang antara dua keping.

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \text{ dengan } \sigma = \frac{q}{A}$$

**Gambar 15.** Kapasitor dua keping sejajar bermuatan sama dan tak sejenis, serta berjarak pisah d

Dalam kapasitor dua keping sejajar,  $V = Ed$

$$V = Ed = \left(\frac{q}{\epsilon_0 A}\right) d \qquad V = \frac{qd}{\epsilon_0 A}$$

Setelah mendapatkan nilai V, maka secara sistematis, kapasitas kapasitor keping sejajar dapat dirumuskan dengan persamaan

$$C = \frac{q}{V} \qquad C = \frac{q}{\left(\frac{qd}{\epsilon_0 A}\right)} \qquad C = \frac{\epsilon_0 A}{d}$$

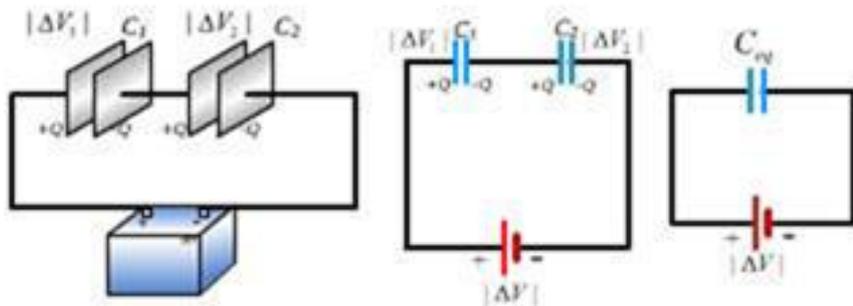
Jika terletak pada dielektik bukan udara, maka persamaannya yakni :

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

- Keterangan =  $\epsilon_0$  = Permitivitas udara =  $8,85 \times 10^{-12}$  (C<sup>2</sup>/Nm<sup>2</sup>)
- A = Luas tiap Keping (m<sup>2</sup>)
- C = Kapasitansi (C/V atau farad)
- D = Jarak pisah antar keping (m)

## 3. Analisis Rangkaian Kapasitor

### a. Susunan Seri Kapasitor



**Gambar 16.** Rangkaian seri kapasitor

Sumber : <https://www.tneutron.net/elektro/rangkaian-seri-dan-paralel-kapasitor/>

Muatan pada tiap kapasitor adalah sama dan **kapasitas ekivalen** dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$C_1 = \frac{q}{V_1} \Leftrightarrow V_1 = \frac{q}{C_1} \qquad C_2 = \frac{q}{V_2} \Leftrightarrow V_2 = \frac{q}{C_2}$$

$$V = V_1 + V_2$$

$$V = q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

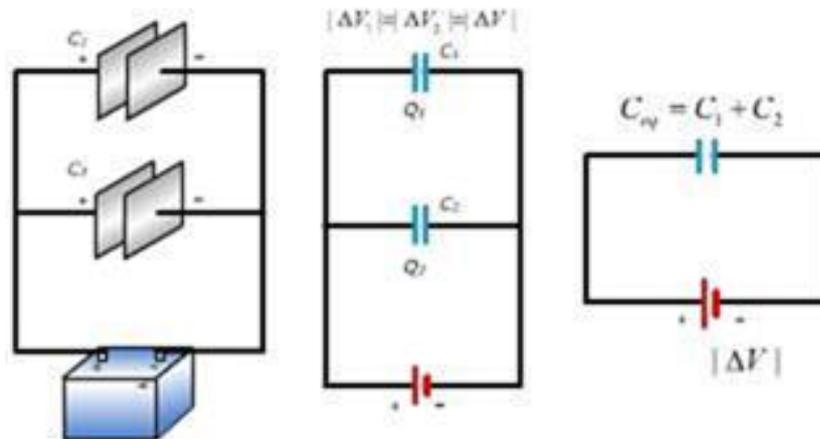
Pada susunan seri, muatan listrik yang mengalir melalui tiap kapasitor adalah sama ( $q = q_1 = q_2 = q_3 = \dots$ ). Secara sistematis, **Kapasitas Ekivalen**, merupakan muatan kapasitor  $q$  dibagi dengan beda potensial  $V$  nya.

$$C_{ek} = \frac{q}{V} \text{ atau } V = q \left( \frac{1}{C_{ek}} \right)$$

$$q \left( \frac{1}{C_{ek}} \right) = q \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \right)$$

$$\frac{1}{C_{ek}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

**b. Susunan Paralel Kapasitor**



**Gambar 17.** Kapasitor yang disusun paralel, <https://www.tneutron.net/elektro/rangkaian-seri-dan-paralel-kapasitor/>

Muatan total pada susunan paralel  $q$  kapasitor ekivalen adalah

$$q = C \times V \Leftrightarrow q = q_1 + q_2 = C_1V + C_2V$$

$$q = (C_1 + C_2) V$$

$$C_{ek}V = (C_1 + C_2)V ; C_{ek} = C_1 + C_2$$

Sejumlah partikel yang disusun paralel, maka

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

Beda potensial tiap kapasitor dalam susunan paralel adalah sama, yaitu sama dengan beda potensial kapasitor ekivalennya. Tetapi, muatan tiap kapasitor umumnya tidak sama.

#### 4. Energi Potensial Kapasitor

Sebuah kapasitor yang bermuatan memiliki potensial yang tersimpan di dalamnya. Pada sebuah kapasitor dua keping sejajar yang tak bermuatan, beda potensialnya adalah nol, sehingga beda potensial rata-rata ( $\bar{V}$ ) selama proses pemindahan muatan (dari satu keping ke keping lainnya) ini adalah

$$\bar{V} = \frac{0+V}{2} = \frac{0+\frac{q}{C}}{2} \Leftrightarrow \bar{V} = \frac{q}{2C}$$

$$q = CV$$

$$W = q\bar{V}$$

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

Maka, persamaan energi yang tersimpan dalam kapasitor (energi potensial) adalah

$$W = \frac{1}{2} \times \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} qV = \frac{1}{2} CV^2$$

Keterangan =

$W/E_p$  = Energi yang tersimpan dalam kapasitor (J)

$C$  = Kapasitas Kapasitor (Farad)

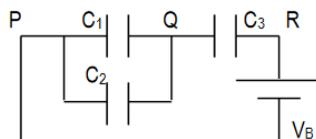
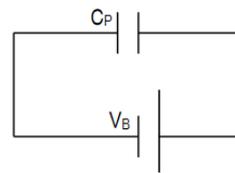
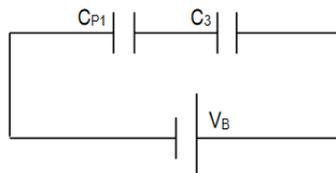
$Q$  = Muatan yang tersimpan dalam kapasitor (C)

$V$  = Beda potensial antara kaping kapasitor (V)

#### Contoh Soal

Dua kapasitor masing-masing  $200\mu\text{F}$  digabung secara paralel. Gabungan tersebut kemudian digabung secara seridengan kapasitor  $100\mu\text{F}$ ; kemudian diisi dengan sumber  $V_B$ . Setelah pengisian berhenti, ternyata  $V_{C_2} = 10$  volt. Berapa (a)  $E_{C_3}$  dan (b)  $V_B$ ?

Jawab :



$C_1 = C_2 = 200\mu\text{F}$ ;  $C_3 = 100\mu\text{F}$ ,  
dan  $V_{C_2} = 10$  volt

- Menghitung  $E_{C3}$ :

Karena  $C_1$  dan  $C_2$  terangkai secara parallel, maka  $V_{C1} = V_{C2} = V_{PQ}$ ;  $C_1$  dan  $C_2$  dapat diganti dengan satu kapasitor  $C_{P1}$ .

$C_{P1} = C_1 + C_2 = 200\mu F + 200\mu F = 400\mu F$ . Rangkaian dapat diganti:

$q_{CP1} = C_{P1}V_{PQ} = 4 \times 10^{-4} F \times 10 \text{ volt} = 4 \times 10^{-3} \text{ coulomb}$ .

$C_{P1}$  dan  $C_3$  terangkai seri, maka  $q_{CP1} = q_{C3} = 4 \times 10^{-3} \text{ coulomb}$ .

$$VC_3 = \frac{q_{C3}}{C} = \frac{4 \times 10^{-3} C}{10^{-4} F} = 40 \text{ Volt}$$

$$E_{C3} = \frac{1}{2} C_3 V_3^2 = \frac{1}{2} \times 10^{-4} F \times (40)^2$$

- Menghitung  $V_B$ :

$V_B = V_{PR} = V_{PQ} + V_{QR} = (10 + 40) \text{ volt} = 50 \text{ volt}$

$V_B$  dapat dihitung dengan cara sebagai berikut:

$C_{P1}$  yang terangkai seri dengan  $C_3$  dapat diganti dengan sebuah kapasitor  $C_P$ .

$$\frac{1}{C_P} = \frac{1}{C_{P1}} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{400\mu F} + \frac{1}{100\mu F} = \frac{5}{400\mu F} \Leftrightarrow C_P = 80N$$

$q_{CP} = q_{C3} = C_{P1} = 4 \times 10^{-3} C$

$$V_B = V_{CP} = \frac{Q_{CP}}{C_P} = \frac{4 \times 10^{-3}}{8 \times 10^{-5}} = \frac{400}{8} = 50N$$

## 5. Penerapan Listrik Statis

Berikut ini adalah contoh penerapan listrik statis dalam kehidupan sehari-hari.

### ▪ Debu yang Menempel Pada Layar Televisi

Dalam kasus ini, menempelnya debu pada layar TV anda terjadi karena debu tersebut ditarik *secara listrik*. Sebuah layar TV secara konstan ditembaki oleh elektron-elektron yang dihasilkan oleh bedil elektron, sehingga layar TV akan bermuatan negatif. Muatan negatif inilah yang akan menginduksi partikel debu dalam udara yang ada di depan kaca TV, sehingga akhirnya debu mendapat gaya tarikan, dan dapat menempel pada layar TV anda.



Gambar 17. TV yang berdebu.

### ▪ Terjadinya Petir

Petir merupakan salah satu contoh dari fenomena listrik statis, karena terjadi sebab adanya perpindahan elektron. Petir hanya muncul dengan waktu yang singkat, ketika elektron bebas berhasil pindah tempat, maka petir akan hilang. Ketika langit kelebihan elektron, petir pun muncul mengarah ke daerah yang memiliki elektron yang lebih sedikit. Karena elektron di langit yang sudah terlalu menumpuk, petir pun akan secara cepat menyambar benda-benda tinggi yang ada di bumi.



Gambar 18. Petir

### ▪ Printer Laser

Printer laser biasanya digunakan di sekolah atau di kantor – kantor. Printer laser bekerja menggunakan muatan listrik statis. Pada saat drum yang bermuatan positif berputar, laser bersinar melintasi permukaan yang tidak bermuatan. Laser selanjutnya menggambar pada kertas yang bermuatan negatif.



Gambar 19. Printer laser

Setelah melewati drum yang berputar kertas akan melewati fuser. Pada bagian fuser ini kertas akan mengalami pemanasan, yang menyebabkan kertas terasa panas pada saat keluar dari printer. Printer laser banyak dipilih untuk mencetak karena lebih cepat, lebih akurat, dan lebih ekonomis.

### C. Rangkuman

1. Kapasitor terdiri atas dua keping konduktor bermuatan sama besar dan tak sejenis, yang ruang di antaranya diisi oleh dielektrik (penyekat), seperti kertas atau udara.
2. Kapasitansi atau kapasitas adalah ukuran kemampuan atau daya tampung kapasitor dalam menyimpan muatan listrik untuk beda potensial yang diberikan. Dengan persamaan  $C = q/V$
3. Kapasitas kapasitor keping sejajar dapat dirumuskan dengan persamaan

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

4. Kapasitor dapat dirangkai secara seri dan paralel. Pada susunan seri, muatan listrik yang mengalir melalui tiap kapasitor adalah sama ( $q = q_1 = q_2 = q_3 = \dots$ ). Kapasitas total dirangkai seri adalah

$$\frac{1}{C_{ek}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} + \dots$$

5. Kapasitas ekivalen dari susunan paralel sama dengan penjumlahan dari kapasitas seluruh kapasitor. Beda potensial tiap kapasitor dalam susunan paralel adalah sama, yaitu sama dengan beda potensial kapasitor ekivalennya.

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + \dots$$

6. Energi yang tersimpan dalam kapasitor dapat dicari dengan persamaan

$$W = \frac{1}{2} \times \frac{q^2}{C} = \frac{1}{2} qV = \frac{1}{2} CV^2$$

7. Penerapan listrik statis dalam kehidupan sehari-hari diantaranya debu yang menempel pada TV, mesin fotokopi, printer laser, penangkal petir, dan lainnya

### D. Penugasan Mandiri

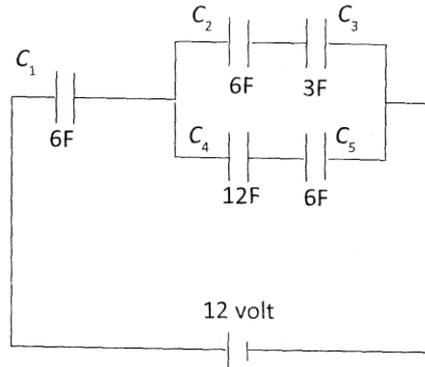
Untuk penugasan mandiri pada kegiatan belajar 3, cobalah untuk membuat presentasi bisa berupa PPT atau video belajar. Kembangkan kemampuan berpikir kalian untuk menganalisis penerapan kapasitor dalam kehidupan sehari-hari. Presentasi dibuat dengan bahasa yang jelas dan singkat maksimal 10 slide. Jika membuat video, durasi maksimal 5 menit. Cobalah untuk mengerjakan dengan sebaik-baiknya. Selalu SEMANGAT,

## E. Latihan Soal

Berikutnya uji pemahaman Anda dengan menyelesaikan permasalahan pada latihan soal tentang kapasitor. Kerjakan di buku Anda dan cek jawaban dengan kunci jawaban dan pembahasan setelah Anda mencoba untuk menjawab latihan soal.

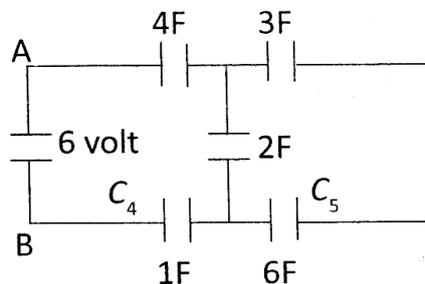
**Jawablah pertanyaan di bawah ini dengan lengkap dan tepat!**

- Perhatikan rangkaian di bawah ini!

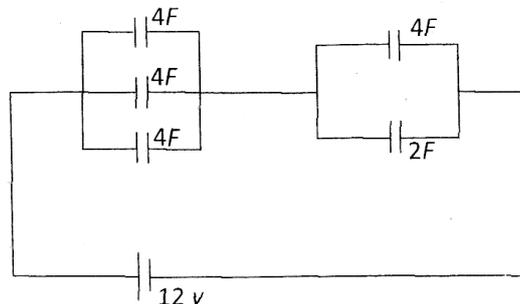


Tentukan besarnya muatan pada kapasitor  $C_5$ !

- Pada gambar di samping bila  $V_{AB} = 6$  volt maka berapakah nilai energi listrik pada gambar!



- Perhatikan rangkaian kapasitas berikut.



Tentukan Energi yang tersimpan dalam rangkaian listrik di atas!

- Sebuah kapasitor 200 mF yang mula-mula tidak bermuatan di aliri arus 10 mA lama 10 second. Maka berapakah beda potensial yang terjadi pada kapasitor!