

# Listrik Statis

## A. PENDAHULUAN

**Listrik statis** adalah listrik yang tidak mengalir dan berupa muatan listrik pada suatu benda.

**Struktur atom** terdiri atas:

- 1) **Neutron**, bermuatan netral dan terletak pada inti atom, tidak berpindah.
- 2) **Proton**, bermuatan positif dan terletak pada inti atom, tidak berpindah.
- 3) **Elektron**, bermuatan negatif dan terletak pada kulit atom, dapat berpindah dengan menerima atau melepas energi.

**Muatan listrik** muncul akibat adanya perbedaan jumlah elektron dan proton pada atom benda.

- 1) **Jika proton = elektron**, benda netral.
- 2) **Jika proton > elektron**, benda positif.
- 3) **Jika elektron > proton**, benda negatif.

Muatan listrik dapat ditentukan menggunakan **elektroskop**.

## B. HUKUM COULUMB

**Interaksi benda** bermuatan listrik:

- 1) **Konduksi**, proses perpindahan elektron benda ke benda lain dengan sentuhan. Elektron berpindah ke benda yang kekurangan elektron.
- 2) **Induksi**, proses pemisahan muatan listrik benda dengan benda lain tanpa sentuhan. Elektron mendekat ke benda yang kekurangan elektron.

**Interaksi benda** bermuatan listrik di atas terhadap benda netral akan mengubah muatan.

Contoh: kaca + sutra = positif, plastik/ebonit + wol = negatif.

**Hukum Coulumb** menyatakan bahwa terdapat gaya listrik/Coulumb pada dua atau lebih benda bermuatan listrik yang berinteraksi.

**Di udara**

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

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

$k$  = tetapan Coulumb ( $9 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ )  
 $\epsilon_0$  = permitivitas medium ( $\text{C}^2/\text{Nm}^2$ )  
 $= 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{Nm}^2$  (vakum/udara)

$F$  = gaya Coulumb (N)

$q$  = besar muatan listrik (C)

$r$  = jarak antar muatan (m)

**Sifat-sifat muatan listrik:**

- 1) Muatan listrik **sejenis** akan tolak-menolak.
- 2) Muatan listrik **berbeda** akan tarik-menarik.

**Resultan gaya Coulumb** jika terdapat lebih dari dua benda bermuatan:

- 1) Muatan segaris

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

- 2) Muatan membentuk sudut siku-siku pada benda 1

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

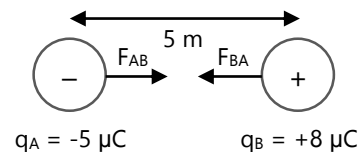
- 3) Muatan tidak membentuk sudut siku-siku pada benda 1

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

Contoh:

Tentukan gaya Coulumb yang dialami benda A yang bermuatan  $-5 \mu\text{C}$  jika terdapat benda B pada jarak 5 m dengan muatan  $+8 \mu\text{C}$ !

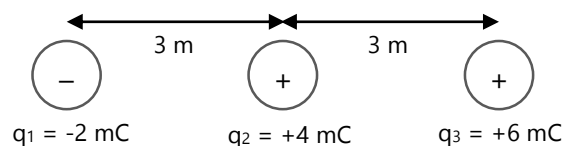
Jawab:



$$F_{AB} = 9 \times 10^9 \times \frac{5 \times 10^{-6} \cdot 8 \times 10^{-6}}{5^2}$$

$$F_{AB} = 1,44 \times 10^{-2} \text{ N (ke kanan)}$$

Contoh:



Hitunglah gaya yang dialami benda 1 dan 3!

Benda 1:



$$F_{12} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-3} \cdot 4 \times 10^{-3}}{3^2} = 8000 \text{ N}$$

$$F_{13} = 9 \times 10^9 \times \frac{2 \times 10^{-3} \cdot 6 \times 10^{-3}}{6^2} = 3000 \text{ N}$$

$$F_{\text{tot}} = F_{12} + F_{13} = 8000 + 3000 = 11000 \text{ N}$$

Benda 3:



$$F_{31} = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-3} \cdot 2 \times 10^{-3}}{6^2} = 3000 \text{ N}$$

$$F_{32} = 9 \times 10^9 \times \frac{6 \times 10^{-3} \cdot 4 \times 10^{-3}}{3^2} = 24000 \text{ N}$$

$$F_{\text{tot}} = F_{32} - F_{31} = 24000 - 3000 = 21000 \text{ N}$$

### C. MEDAN LISTRIK, ENERGI POTENSIAL LISTRIK, DAN POTENSIAL LISTRIK

**Medan listrik** adalah daerah di sekitar benda bermuatan yang masih dipengaruhi gaya Coulumb.

**Kuat medan listrik (E)** menunjukkan tingkat kekuatan gaya listrik di sekitar benda bermuatan, dapat dirumuskan:

**Pada suatu titik**

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

E = kuat medan listrik (N/C)  
Q = besar muatan listrik (C)  
q = besar muatan uji (C)  
r = jarak titik terhadap muatan sumber (m)

**Pada muatan uji**

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

**Resultan kuat medan listrik** jika terdapat lebih dari satu muatan sumber:

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

**Energi potensial listrik (Ep)** adalah energi yang dimiliki suatu benda bermuatan bila didekatkan suatu muatan uji.

$$E_p = k \frac{Q \cdot q}{r}$$

Q = besar muatan listrik (C)  
q = besar muatan uji (C)  
r = jarak antar muatan (m)

**Usaha listrik (W)** adalah usaha yang digunakan untuk memindahkan muatan uji yang berada dalam suatu medan listrik.

$$W = \Delta E_p = k \cdot Q \cdot q \cdot \left[ \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right] = q \cdot (V_2 - V_1)$$

r<sub>2</sub> = jarak tujuan ke sumber muatan (m)  
r<sub>1</sub> = jarak asal ke sumber muatan (m)  
V<sub>2</sub> = potensial tujuan (V)  
V<sub>1</sub> = potensial asal (V)

**Potensial/beda potensial listrik (V)** adalah usaha listrik tiap satuan muatan yang terjadi ketika muatan uji dipindahkan ke suatu titik.

**Pada suatu titik**

$$V = k \frac{Q}{r}$$

Q = besar muatan listrik (C)  
q = besar muatan uji (C)  
r = jarak antar muatan (m)

**Pada muatan uji**

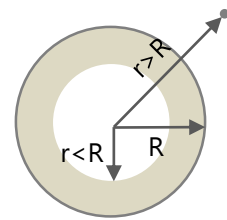
$$V = \frac{W}{q}$$

**Resultan potensial listrik** jika terdapat lebih dari satu muatan sumber:

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

**Kuat medan listrik dan potensial listrik** pada beberapa keadaan:

1) **Pada bola konduktor berongga**



Pada bola berongga, muatan tersebar merata di permukaannya saja.

**Kuat medan listrik:**

**Dalam bola (r < R)**

$$E = 0$$

**Luar bola (r ≥ R)**

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

**Potensial listrik:**

**Dalam bola (r ≤ R)**

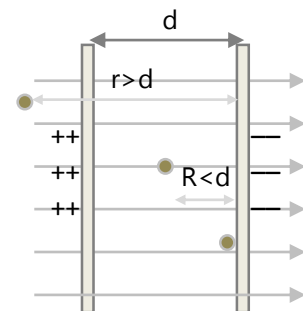
$$V = k \frac{Q}{R}$$

**Luar bola (r ≥ R)**

$$V = k \frac{Q}{r}$$

Q = muatan bola berongga (C)  
R = jari-jari bola konduktor (m)  
r = jarak titik terhadap pusat bola (m)

2) **Antara dua keping sejajar**



Dua keping sejajar merupakan dua buah logam yang memiliki muatan berbeda.

Pada dua keping sejajar, muatan tersebar merata di seluruh bagian dalamnya, membentuk rapat muatan.

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

σ = rapat muatan (C/m<sup>2</sup>)  
q = muatan keping (C)  
A = luas permukaan keping (m<sup>2</sup>)

Selama dalam keping sejajar, gaya Coulumb yang terjadi adalah sama.

**Kuat medan listrik:**

**Luar keping (r > d)**

$$E = 0$$

**Dalam keping (r < d)**

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

σ = rapat muatan (C/m<sup>2</sup>)  
ε<sub>0</sub> = permitivitas medium (C<sup>2</sup>/Nm<sup>2</sup>)  
= 8,85 × 10<sup>-12</sup> C<sup>2</sup>/Nm<sup>2</sup> (vakum/udara)

**Potensial listrik:****Luar keping ( $r > d$ )**

$$V = E \cdot d$$

$E$  = kuat medan listrik dalam keping (N/C)  
 $d$  = jarak antar keping (m)  
 $r$  = jarak titik ke keping =  $\frac{1}{2}d$  (m)

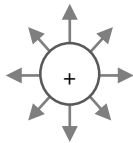
**Dalam keping ( $r < d$ )**

$$V = E \cdot r$$

**D. HUKUM GAUSS**

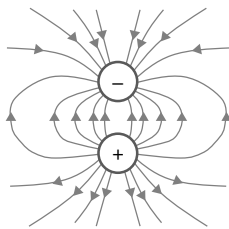
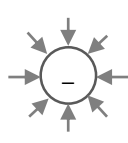
**Garis-garis gaya listrik** adalah visualisasi vektor medan listrik yang tidak pernah berpotongan dan kerapatannya menyatakan kekuatan medan.

**Garis-garis gaya listrik:**

**Positif**

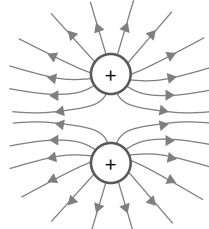
Medan listrik mengarah menjauhi benda

**Interaksi tarik-menarik**

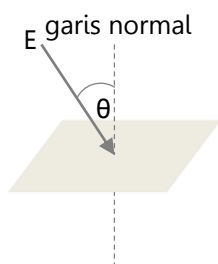
**Negatif**

Medan listrik mengarah mendekati benda

**Interaksi tolak-menolak**



**Hukum Gauss** menjelaskan tentang jumlah garis-garis gaya listrik (fluks listrik) yang menembus suatu permukaan tertutup.



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

$$\Phi = \frac{\sum q}{\epsilon_0}$$

$\Phi$  = fluks listrik (Weber)  
 $A$  = luas permukaan tertutup ( $m^2$ )

**E. KEKEKALAN ENERGI MEKANIK PADA LISTRIK STATIS**

**Energi potensial listrik ( $E_p$ )** adalah energi yang dimiliki suatu benda bermuatan bila didekatkan suatu muatan uji.

$$E_p = k \frac{Q \cdot q}{r}$$

$$E_p = q \cdot V$$

$Q$  = besar muatan listrik (C)  
 $q$  = besar muatan uji (C)  
 $r$  = jarak antar muatan (m)  
 $V$  = potensial listrik (V)

**Energi kinetik listrik** adalah energi yang dimiliki suatu benda bermuatan karena ada pergerakan dan massa.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$m$  = massa muatan (kg)  
 $v$  = kecepatan muatan (m/s)

**Kekekalan energi mekanik** pada listrik statis:

$$E_{M1} = E_{M2}$$

$$E_{p1} + E_{k1} = E_{p2} + E_{k2}$$

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

**F. KAPASITOR**

**Kapasitor** adalah alat penyimpan muatan dan energi listrik, yang terbuat dari dua keping konduktor dengan muatan sama besar, namun berlawanan.

**Muatan kapasitor** dapat dihitung:

$$q = C \cdot V$$

**Kapasitor** biasanya diisi oleh bahan dielektrik atau isolator, seperti kertas, kaca, atau plastik, yang mempengaruhi kapasitansi.

**Kapasitansi** adalah kapasitas muatan yang didapat disimpan kapasitor, dapat dihitung:

**Dielektrik vakum/udara**

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

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

$C$  = kapasitansi (C/V atau farad)  
 $\epsilon_0$  = permitivitas medium ( $C^2/Nm^2$ )  
 $= 8,85 \times 10^{-12} C^2/Nm^2$  (vakum/udara)  
 $A$  = luas permukaan keping ( $m^2$ )  
 $d$  = jarak antar keping (m)

**Dielektrik selain udara**

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

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

$\epsilon_r$  = permitivitas relatif medium ( $C^2/Nm^2$ )

**Pengaruh dielektrik** terhadap muatan listrik dan potensial listrik pada kapasitor:

1) **Baterai tidak/pernah dihubungkan**

**Muatan**

$$q_D = q_0$$

**Potensial**

$$V_D = \frac{V_0}{\epsilon_r}$$

$$V_D < V_0$$

2) **Baterai tetap dihubungkan**


**Muatan**

$$q_D > q_0$$

**Potensial**

$$Q_D = \epsilon_r \cdot Q_0$$


$$V_D = V_0$$


 **Energi kapasitor** yang tersimpan di dalamnya yang berupa energi potensial dapat dihitung:

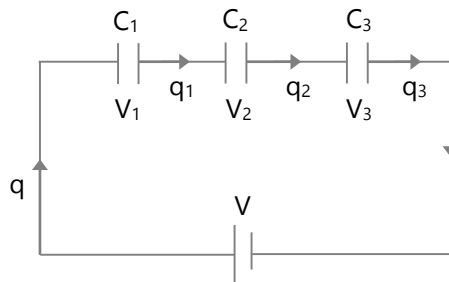
$$E = \frac{1}{2} q \cdot V$$

$$E = \frac{1}{2} C \cdot V^2$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C}$$

 **Rangkaian kapasitor** dapat disusun menjadi dua susunan, yaitu rangkaian seri dan rangkaian paralel.

 **Rangkaian seri** adalah rangkaian kapasitor yang disusun sejajar.



 **Pada rangkaian seri** berlaku hal berikut:

- 1) Potensial total rangkaian adalah penjumlahan dari potensial seluruh kapasitor.


$$V = V_1 + V_2 + V_3 + \dots$$

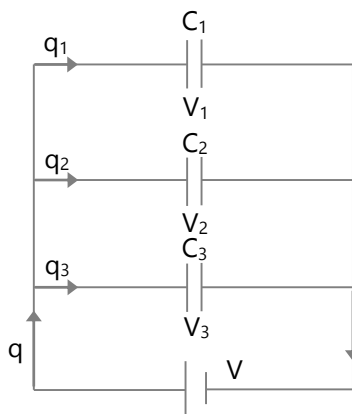
- 2) Muatan listrik yang mengalir melalui tiap kapasitor adalah sama.

$$q = q_1 = q_2 = q_3 = \dots$$

- 3) Kebalikan kapasitas kapasitor pengganti seri sama dengan jumlah kebalikan nilai kapasitas seluruh kapasitor.

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

 **Rangkaian paralel** adalah rangkaian kapasitor yang disusun bertingkat.



 **Pada rangkaian paralel** berlaku hal berikut:

- 1) Potensial di seluruh kapasitor adalah sama.

$$V = V_1 = V_2 = V_3 = \dots$$

- 2) Muatan listrik total kapasitor adalah penjumlahan dari muatan listrik yang mengalir ke masing-masing kapasitor.

$$q = q_1 + q_2 + q_3 \dots$$

- 3) Kapasitas kapasitor pengganti paralel sama dengan penjumlahan dari kapasitas seluruh kapasitor.

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

## G. APLIKASI KAPASITOR

 **Aplikasi kapasitor** antara lain:

- 1) *Blitz* pada kamera menggunakan kapasitor.
- 2) Alat untuk memilih frekuensi radio.
- 3) Memisahkan arus bolak-balik (AC) dengan arus searah (DC) dengan menghambat arus AC dan menahan arus DC.
- 4) Filter pada rangkaian catu daya.
- 5) Menghilangkan loncatan api dalam rangkaian saklar.
- 6) Menghilangkan bunga api pada sistem pengapian mobil.
- 7) Menghemat daya listrik dalam rangkaian *tube lamp*.
- 8) Catu daya cadangan ketika sumber energi yang menyuplai alat listrik terputus.