

**Materi Kuliah  
Fisika Listrik**

# **Muatan Listrik dan Medan Listrik**

**Dosen :  
Tri Surawan M.Si**

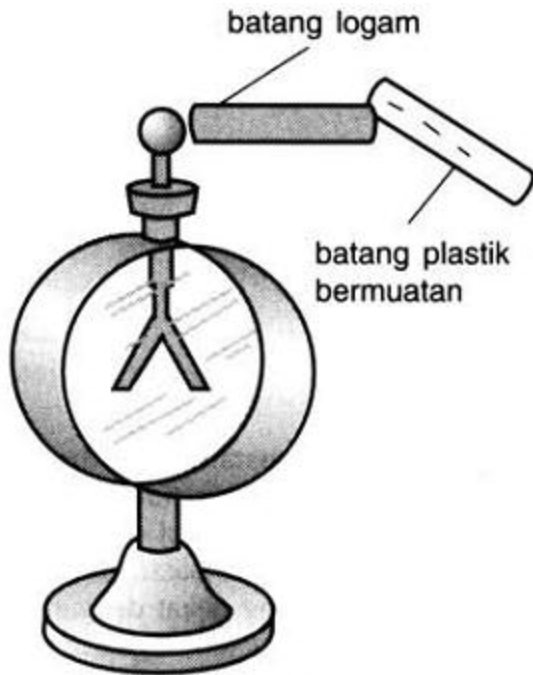
**Fakultas Teknik  
Universitas Jayabaya**

# Muatan Listrik

- Berdasarkan pengamatan :
  - **Penggaris plastik** yang digosokkan ke **rambut/kain** akan menarik potongan-potongan kertas kecil.
  - **Batang kaca** yang digosok **sutera** akan tarik-menarik dengan penggaris plastik yang digosok dengan rambut.
  - **Batang kaca** yang digosok **sutera** akan tolak menolak dengan **batang kaca lain** yang juga digosok **sutera**.
- Berdasarkan pengamatan tersebut tampak ada dua jenis muatan yang kemudian oleh **Benjamin Franklin** (1706 - 1790) dinamakan sebagai **muatan positif dan negatif**.
- Disimpulkan bahwa :
  - **muatan sejenis tolak menolak,**
  - **muatan tak sejenis tarik menarik.**
- Benda bermuatan listrik adalah benda yang mempunyai kelebihan atau kekurangan sejumlah elektron.
  - Benda yang **kelebihan elektron** akan **bermuatan negatif** .
  - Benda yang **kekurangan elektron** akan **bermuatan positif**.



# Alat pendeteksi muatan listrik



**Elektroskop** yang merupakan alat untuk mendeteksi adanya muatan listrik. Dua daun yang terbuat dari emas (yang terisolasi dari wadahnya) dihubungkan dengan batang logam yang memiliki suatu bola konduktor di atasnya.

Ketika bola ditempel dengan batang plastik bermuatan, sejumlah muatan negatif dalam batang plastik berpindah ke bola dan menyebar ke daun-daun emas sehingga **kedua daun membuka akibat gaya tolak-menolak muatan negatif**. Daun juga dapat membuka jika batang gelas yang bermuatan positif ditempelkan pada bola elektroskop.

# Muatan Listrik

- Dalam literatur, muatan listrik biasanya disimbolkan dengan huruf **q** atau **Q**.
- **Satuan muatan listrik** menurut Standar Internasional (SI) adalah **Coulomb (disingkat C)**.

**Satu coulomb** didefinisikan sebagai *banyaknya muatan yang mengalir melalui setiap penampang kawat dalam 1 detik, jika sebuah arus tetap sebesar 1 ampere mengalir dalam kawat tersebut.*

- Secara matematis dinyatakan :

$$Q = i \cdot t$$

dimana :

Q = muatan listrik

i = laju aliran muatan (arus listrik)

t = waktu

- Muatan listrik yang dikandung suatu benda dapat dinyatakan dengan :

$$Q = n \cdot e$$

dimana

Q = muatan listrik suatu benda

n = jumlah elektron ( bilangan bulat )

e = muatan elektron ( $1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$ )

# Contoh soal

Ketika terjadi petir, ada aliran muatan listrik (terutama elektron) antara awan dan tanah. Laju maksimum aliran muatan dalam petir adalah sekitar 20.000 C/s yang berlangsung selama 100  $\mu$ s atau kurang. Berapa besar muatan yang mengalir antara awan dan tanah saat itu? Berapa banyak elektron yang mengalir selama itu?

## Penyelesaian :

Jumlah muatan yang mengalir adalah laju aliran muatan dikali interval waktu selama mengalir.

Muatan satu elektron memiliki nilai  $e = 1,60 \times 10^{-19}$  C.

Laju aliran muatan adalah 20.000 C/s

interval waktu selama mengalir  $t = 100 \mu\text{s} = 1,00 \times 10^{-4}$  s.

Besar muatan yang mengalir antara tanah dan awan saat itu adalah :

$$Q = i \cdot t = (20.000 \text{ C/s}) (1,00 \times 10^{-4} \text{ s}) = 2,00 \text{ C}$$

Jumlah elektron adalah :

$$n_e = \frac{Q}{1.60 \times 10^{-19} \text{ C}} = 1.25 \times 10^{19}.$$

# Contoh soal

Anda memiliki cincin emas murni (24 karat) dengan massa 17,7 g. Emas memiliki massa atom 197 g/mol dan nomor atom 79. Jika cincin tidak bermuatan (netral), (a) berapa banyak proton dalam cincin, dan berapa muatan positif total mereka? (b) berapa banyak elektron di dalamnya?

## Penyelesaian :

Nomor atom menunjukkan jumlah proton atau elektron. Maka, setiap atom emas memiliki 79 proton dan 79 elektron (sama).

$N_A = 6,02 \times 10^{23}$  atom/mol. Sebuah proton memiliki muatan  $+e$ .

Massa emas 17,7 g dan massa atom emas adalah 197 g/mol.

(a) Jumlah atom adalah :

$$N = N_A n = (6.02 \times 10^{23} \text{ atoms/mol}) \left( \frac{17.7 \text{ g}}{197 \text{ g/mol}} \right) = 5.41 \times 10^{22} \text{ atoms}$$

Jumlah proton dan jumlah muatan proton adalah :

$$\begin{aligned} n_p &= (79 \text{ protons/atom}) (5,41 \times 10^{22} \text{ atom}) \\ &= 4,27 \times 10^{24} \text{ proton} \end{aligned}$$

$$Q_p = (n_p)(1,60 \times 10^{-19} \text{ C/proton}) = 6,83 \times 10^5 \text{ C.}$$

( b) jumlah elektron adalah :  $n_e = n_p = 4,27 \times 10^{24}$  elektron.

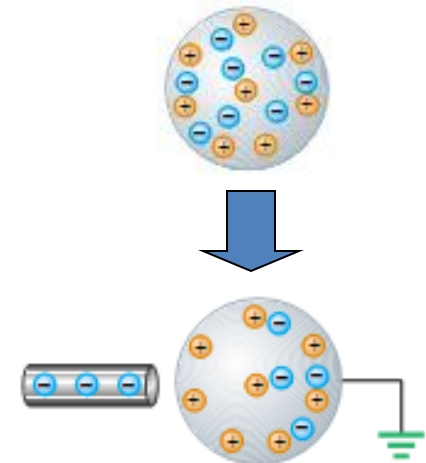
# Konduktor, Isolator dan Muatan Induksi

Secara umum, material dapat diklasifikasikan berdasarkan kemampuannya untuk membawa atau menghantarkan muatan listrik.

- **Konduktor** adalah bahan yang **mudah** menghantarkan muatan listrik.
  - Misalnya : logam, badan manusia, bumi dsb.
- **Isolator/insulator** adalah bahan yang **sukar** menghantarkan muatan listrik.
  - Misalnya : gelas, plastik, kayu dsb.
- **Semikonduktor** adalah bahan yang memiliki **sifat diantara** konduktor dan isolator.
  - Misalnya : silikon, germanium dsb.

## Muatan Induksi :

Pemuatan listrik terhadap obyek dengan cara induksi adalah **tidak memerlukan kontak / bersentuhan**.



# Hukum Coulomb

- Pernyataan kuantitatif tentang gaya interaksi listrik antara dua benda yang bermuatan listrik pertama kali dinyatakan oleh **Charles A. de Coulomb** (1736-1806), yaitu:
  - *Interaksi elektrostatik antara dua partikel bermuatan sebanding dengan muatan keduanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya, dan arahnya segaris dengan garis hubungan kedua muatan.*
- Secara matematis dinyatakan :

$$\mathbf{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Dimana :

F = Gaya interaksi dua muatan (Newton)

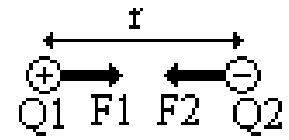
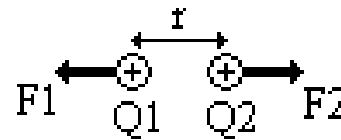
Q1 , Q2 = Besar muatan 1 dan 2 (Coulomb)

r = Jarak antara kedua muatan ( meter )

$\epsilon_0$  = permitivitas ruang hampa (  $8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N.m}^2$  )

- Nilai  $\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$  biasanya diberi simbol **k** dengan nilai :

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8,98742 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2 \\ \approx 9 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$



# Contoh soal

Dua bola kecil yang terpisah sejauh 20,0 cm dan memiliki muatan yang sama. Berapa banyak elektron yang terdapat pada setiap bola jika besarnya gaya tolak antara mereka adalah  $4,57 \times 10^{-21}$  N?

## Penyelesaian :

Gunakan Hukum Coulomb untuk menghitung muatan total  $q$  pada setiap bola.  
Besarnya muatan elektron adalah  $e = 1,60 \times 10^{-19}$  C.

Persamaan Hukum Coulomb adalah :

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{r^2}$$

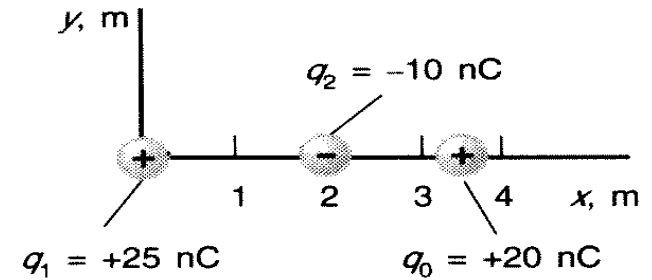
$$|q| = \sqrt{4\pi\epsilon_0 F r^2} = \sqrt{4\pi\epsilon_0 (4,57 \times 10^{-21} \text{ N})(0,200 \text{ m})^2} = 1,43 \times 10^{-16} \text{ C.}$$

Maka, jumlah total elektron pada setiap bola adalah :

$$\begin{aligned} n_e &= q/e \\ &= (1,43 \times 10^{-16} \text{ C}) / (-1,60 \times 10^{-19} \text{ C/elektron}) \\ &= 890 \text{ elektron.} \end{aligned}$$

# Contoh Soal

Tiga muatan titik terletak pada sumbu x;  $Q_1 = 25 \text{ nC}$  yang terletak pada titik asal,  $Q_2 = -10 \text{ nC}$  berada pada  $x = 2 \text{ m}$ , dan  $Q_0 = 20 \text{ nC}$  berada pada  $x = 3,5 \text{ m}$ . Carilah gaya total pada  $Q_0$  akibat  $Q_1$  dan  $Q_2$ .



## Penyelesaian :

Gaya pada  $Q_0$  akibat  $Q_1$ , yang berada pada jarak  $3,5 \text{ m}$ , dinyatakan dengan

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_{10} &= \frac{kq_1q_0}{r_{10}^2} \hat{\mathbf{r}}_{10} \\ &= \frac{(8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(25 \times 10^{-9} \text{ C})(20 \times 10^{-9} \text{ C})}{(3,5 \text{ m})^2} \mathbf{i} \\ &= (0,367 \mu\text{N}) \mathbf{i} \end{aligned}$$

Gaya pada  $Q_0$  akibat  $Q_2$  yang berjarak  $1,5 \text{ m}$  adalah :

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_{20} &= \frac{kq_2q_0}{r_{20}^2} \hat{\mathbf{r}}_{20} \\ &= \frac{(8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(-10 \times 10^{-9} \text{ C})(20 \times 10^{-9} \text{ C})}{(1,5 \text{ m})^2} \mathbf{i} \\ &= (-0,799 \mu\text{N}) \mathbf{i} \end{aligned}$$

Gaya total pada muatan  $Q_0$  akibat muatan-muatan  $Q_1$  dan  $Q_2$  adalah :

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_{\text{total}} &= \mathbf{F}_{10} + \mathbf{F}_{20} \\ &= (0,367 \mu\text{N}) \mathbf{i} - (0,799 \mu\text{N}) \mathbf{i} \\ &= (-0,432 \mu\text{N}) \mathbf{i} \end{aligned}$$

# Gaya dan Medan Listrik

- Jika suatu muatan listrik  $Q$  berada pada suatu titik, maka menurut hukum Coulomb muatan lain di sekeliling muatan  $Q$  mengalami gaya Coulomb.
- Daerah yang masih merasakan pengaruh gaya Coulomb ini dinamakan **Medan Listrik**.
- Sehingga terdapat medan listrik di setiap titik di sekeliling muatan  $Q$ .
- Jadi, dapat dikatakan bahwa **muatan listrik adalah sumber medan listrik**.

# Perhitungan Medan Listrik

- **Kuat medan listrik** biasanya disimbolkan dengan huruf **E** dan memiliki satuan **Newton/Coulomb (N/C)**.
- Untuk menentukan kuat medan listrik (**E**) pada suatu titik yang disebabkan oleh muatan listrik **Q**, maka pada titik tersebut ditempatkan muatan penguji **q** yang sedemikian kecilnya sehingga tidak mempengaruhi muatan sumber penyebab medan listrik.
- Maka kuat medan listrik **E** adalah :

$$\mathbf{E} = \frac{\mathbf{F}}{q} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{E} = k \frac{Q \cdot q}{r^2 \cdot q} \quad \Rightarrow \quad \mathbf{E} = k \frac{Q}{r^2}$$

Dimana :

E = medan listrik (N/C)

F = gaya Coulomb (N)

Q = muatan sebagai sumber medan listrik (C)

q = muatan uji (C)

- Jika terdapat sejumlah **n** muatan, maka medan listriknya adalah :

$$\mathbf{E}_{\text{total}} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \mathbf{E}_3 + \dots + \mathbf{E}_n = \sum_{i=1}^n \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q_i}{r_i^2}$$

# Contoh soal

Terdapat sebuah partikel bermuatan  $-3,00 \text{ nC}$ .

- Tentukan besar dan arah medan listrik yang disebabkan partikel ini pada titik  $0,250 \text{ m}$  yang berada di atasnya.
- Pada jarak berapa dari partikel ini, yang medan listriknya sebesar  $12,0 \text{ N/C}$ ?

## Penyelesaian :

Medan listrik  $E$  menuju muatan negatif dan menjauhi muatan positif.

- (a) Medan listrik  $E$  pada titik  $0,250 \text{ m}$  yang berada di atasnya :

$$E = k \frac{|q|}{r^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \frac{3.00 \times 10^{-9} \text{ C}}{(0.250 \text{ m})^2} = 432 \text{ N/C}$$

$E$  arahnya ke bawah karena  $E$  selalu menuju ke muatan negatif.

- (b) Jarak dari partikel yang medan listriknya sebesar  $12,0 \text{ N/C}$  :

$$r = \sqrt{\frac{k|q|}{E}} = \sqrt{\frac{(8.99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(3.00 \times 10^{-9} \text{ C})}{12.0 \text{ N/C}}} = 1.50 \text{ m}$$

# Contoh Soal

Carilah medan listrik pada titik P yang terletak pada sumbu y pada  $y = 3$  m untuk muatan-muatan seperti pada gambar.

## Penyelesaian :

Medan  $E_1$  akibat muatan  $+8$  nC mengarah pada sumbu y positif adalah :

$$E_1 = \frac{kq_1}{y^2} = \frac{(8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(8 \times 10^{-9} \text{ C})}{(3 \text{ m})^2} = 7,99 \text{ N/C}$$

Medan  $E_2$  akibat muatan  $+12$  nC yang berjarak  $5$  m adalah :

$$E_2 = \frac{(8,99 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2)(12 \times 10^{-9} \text{ C})}{(5 \text{ m})^2} = 4,32 \text{ N/C}$$

Medan listrik  $E_2$  mempunyai dua komponen :  
pada sumbu x negatif

$$E_{2x} = -E_2 \sin \theta = -(4,32 \text{ N/C})(0,8) = -3,46 \text{ N/C}$$

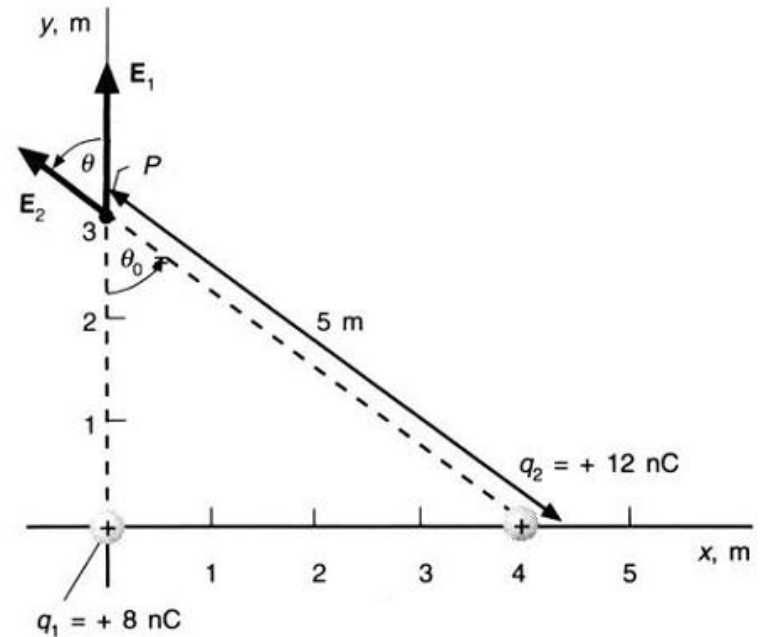
pada sumbu y positif

$$E_{2y} = E_2 \cos \theta = (4,32 \text{ N/C})(0,6) = 2,59 \text{ N/C}$$

Maka diperoleh komponen x dan y dari medan total E yaitu :

$$E_x = E_{1x} + E_{2x} = 0 + (-3,46 \text{ N/C}) = -3,46 \text{ N/C}$$

$$E_y = E_{1y} + E_{2y} = 7,99 \text{ N/C} + 2,59 \text{ N/C} = 10,6 \text{ N/C}$$



Harga medan listrik totalnya adalah

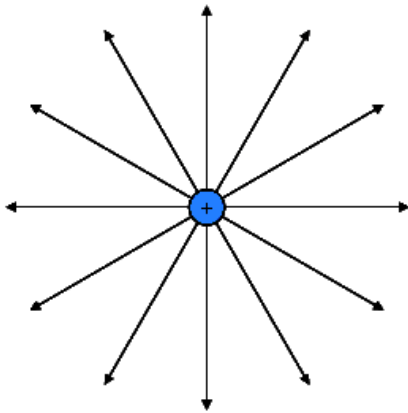
$$E = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} = \sqrt{(-3,46 \text{ N/C})^2 + (10,6 \text{ N/C})^2} = 11,2 \text{ N/C}$$

Medan listrik totalnya membentuk sudut  $\theta_1$  terhadap sumbu x sebesar :

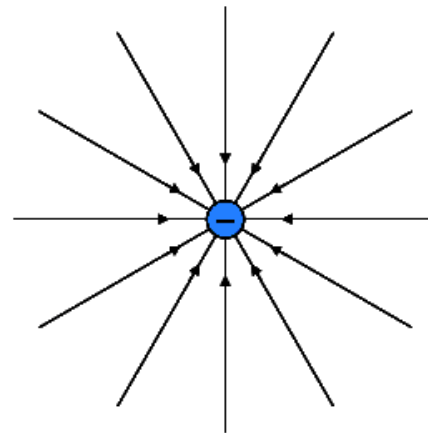
$$\tan \theta_1 = \frac{E_y}{E_x} = \frac{10,6 \text{ N/C}}{-3,46 \text{ N/C}} = -3,06$$
$$\theta_1 = 108^\circ$$

# Garis Medan Listrik

- Medan listrik dapat digambarkan dengan garis-garis khayal yang dinamakan **garis-garis medan**.
- Garis-garis medan listrik tidak pernah saling berpotongan,
  - **Arahnya menjauhi muatan positif**
  - **Arahnya menuju ke muatan negatif**
- Apabila garis gayanya makin rapat berarti medan listriknya semakin kuat. Sebaliknya yang garis gayanya lebih renggang maka medan listriknya lebih lemah.



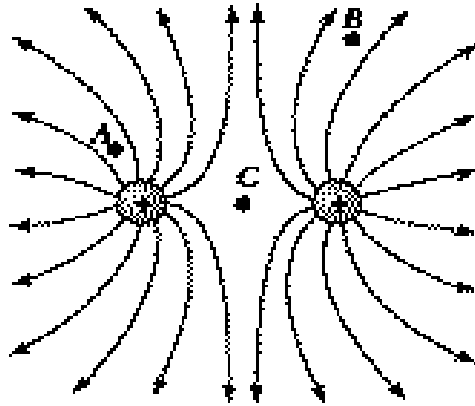
**muatan positif**



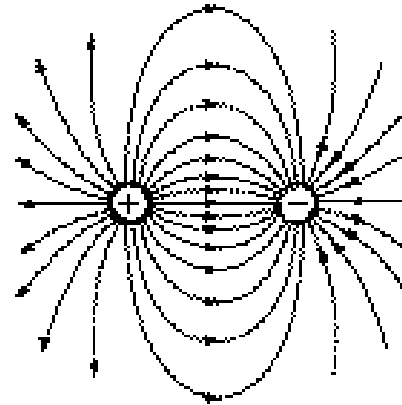
**muatan negatif**

# Garis Medan Listrik

- Apabila terdapat dua buah muatan listrik yang saling berinteraksi, maka arah medan listriknya dapat digambarkan seperti dibawah ini :



muatan yang sejenis



muatan tidak sejenis

- Garis-garis medan listrik bermula dari muatan positif
- Dan berakhir pada muatan negatif (atau di tak terhingga)
- Medan listrik di titik **A** lebih kuat dibandingkan dengan medan listrik di titik **B** karena garis gaya di titik **A** lebih rapat dibandingkan di titik **B**.
- Sedangkan di titik **C** adalah titik atau daerah yang medan listriknya sama dengan nol. Atau dapat dikatakan bahwa di titik **C** tidak ada medan listriknya.

# Gerak Muatan dalam Medan Listrik

- Partikel bermuatan  $q$  dalam medan listrik  $E$  mengalami gaya  $F$  sebesar :

$$F = q E$$

- Arah gaya  $F$  ditentukan oleh muatan  $q$ .
  - Jika **muatan  $q$  positif**, gaya  $F$  searah dengan medan listrik  $E$ .
  - Jika muatan  **$q$  negatif**, arah gaya  $F$  akan berlawanan dengan medan  $E$ .
- Menurut Hukum Newton, partikel bermuatan dalam medan listrik tersebut akan mengalami percepatan sebesar :

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

# Contoh soal

Sebuah proton massa  $1,67 \times 10^{-27}$  kg ditempatkan dalam medan listrik seragam  $2,75 \times 10^3$  N/C.

Hitung:

- (a) besarnya gaya listrik yang dirasakan oleh proton;
- (b) percepatan proton;
- (c) kelajuan proton setelah  $1,00 \mu\text{s}$  di dalam medan listrik, dengan asumsi dimulai dari awalnya diam.

## Penyelesaian :

Karena medan seragam, gaya dan percepatan adalah konstan.

Muatan proton  $+e = +1,60 \times 10^{-19}$  C dan massa  $1,67 \times 10^{-27}$  kg.

$$(a) F = qE = (1,60 \times 10^{-19} \text{ C})(2,75 \times 10^3 \text{ N/C}) = 4,40 \times 10^{-16} \text{ N}$$

$$(b) a = \frac{F}{m} = \frac{4,40 \times 10^{-16} \text{ N}}{1,67 \times 10^{-27} \text{ kg}} = 2,63 \times 10^{11} \text{ m/s}^2$$

$$(c) v_t = v_0 + a.t \\ = 0 + (2,63 \times 10^{11} \text{ m/s}^2) (1,00 \times 10^{-6} \text{ s}) \\ = 2,63 \times 10^5 \text{ m/s}$$

# Contoh Soal

Sebuah elektron ditembakkan memasuki medan listrik homogen  $E = 1000 \text{ N/C}$  dengan kecepatan awal  $v_0 = (2 \times 10^6 \text{ m/s})$  searah dengan medan listrik. Berapa jauh elektron akan bergerak sebelum akhirnya elektron berhenti? (massa elektron =  $9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ )

## Penyelesaian :

Karena muatan elektron adalah negatif, maka gaya  $F$  yang bekerja padanya berlawanan arah dengan medan. Maka elektron mengalami percepatan yang arahnya berlawanan arah dengan arah kecepatan awal.

Kita dapat menggunakan persamaan GLBB yang menghubungkan jarak dengan kecepatan :

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 a x$$

Dan persamaan percepatan partikel bermuatan dalam medan listrik :

$$a = \frac{-qE}{m}$$

Jika disubstitusikan kedua persamaan tersebut dengan  $v_t = 0$ , maka menjadi :

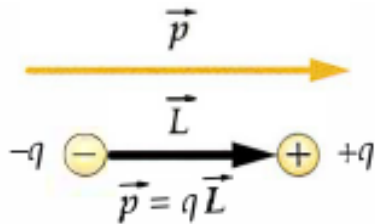
$$x = \frac{mv_0^2}{2eE}$$

Dengan menggunakan nilai  $v_0 = 2 \times 10^6 \text{ m/s}$ ,  $E = 1000 \text{ N/C}$ ,  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$  dan  $m_e = 9,11 \times 10^{-31} \text{ kg}$ , maka :

$$\begin{aligned} x &= \frac{mv_0^2}{2eE} \\ &= \frac{(9,11 \times 10^{-31} \text{ kg})(2 \times 10^6 \text{ m/s})^2}{2(1,6 \times 10^{-19} \text{ C})(1000 \text{ N/C})} \\ &= 1,14 \times 10^{-2} \text{ m} \end{aligned}$$

# Dipol Listrik

**Dipol listrik** adalah dua muatan titik  $q$  yang sama besar dan berlawanan tanda serta terpisah dengan jarak tertentu.



Dipol listrik memiliki momen dipol listrik  $\mathbf{p}$ , yaitu sebuah vektor yang mempunyai arah dari muatan negatif ke muatan positif.

Besar momen dipol adalah :

$$\mathbf{p} = q\mathbf{L}$$

Medan listrik  $E$  yang ditimbulkan oleh muatan-muatan dipol pada titik  $P$ , yang berjarak  $r$  sepanjang garis pembagi (bisector) dan tegak lurus dari garis yang menghubungkan muatan-muatan tersebut adalah :

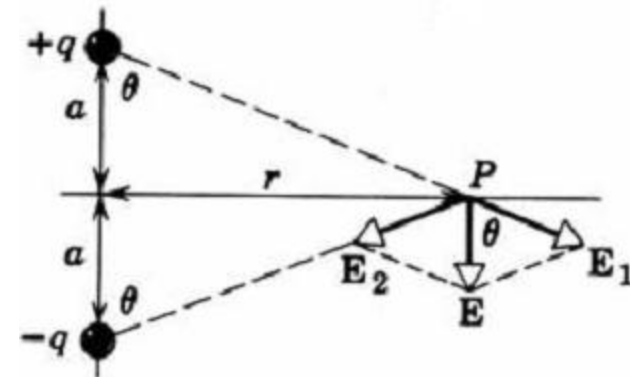
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2aq}{(a^2 + r^2)^{3/2}}$$

Jika  $r \gg a$ , maka kita dapat mengabaikan  $a$  di dalam penyebut; maka persamaan menjadi :

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2aq}{r^3} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\mathbf{p}}{r^3}$$

Dimana :

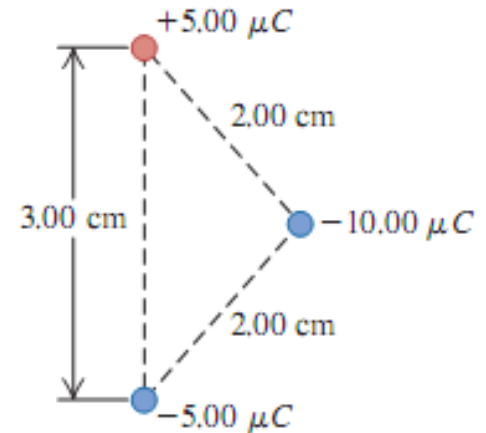
$\mathbf{p} = 2aq$  adalah momen dipol



# Contoh soal

Tiga muatan berada di sudut-sudut segitiga sama kaki seperti ditunjukkan pada gambar disamping. Muatan  $\pm 5,00 \mu\text{C}$  membentuk dipol. Tentukan gaya (besar dan arah) yang diberikan dari muatan  $-10,00 \mu\text{C}$  pada dipol.

**Penyelesaian :**



Dua gaya pada setiap muatan dipol ditunjukkan pada gambar di bawah.

$$F_1 = F_2 = k \frac{|qq'|}{r^2} = k \frac{(5.00 \times 10^{-6} \text{ C})(10.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(0.0200 \text{ m})^2} = 1.124 \times 10^3 \text{ N}$$

$$\sin \theta = 1,50 / 2,00, \text{ sehingga } \theta = 48,6^\circ$$

Gaya pada arah x saling berlawanan, maka :

$$F_x = F_{1x} + F_{2x} = 0$$

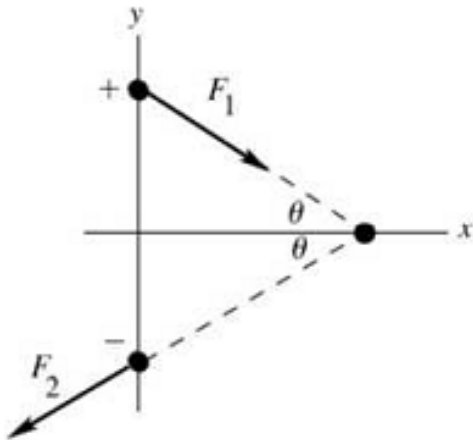
$$F_{1y} = F_1 \sin \theta = -824 \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \sin \theta = -824 \text{ N}$$

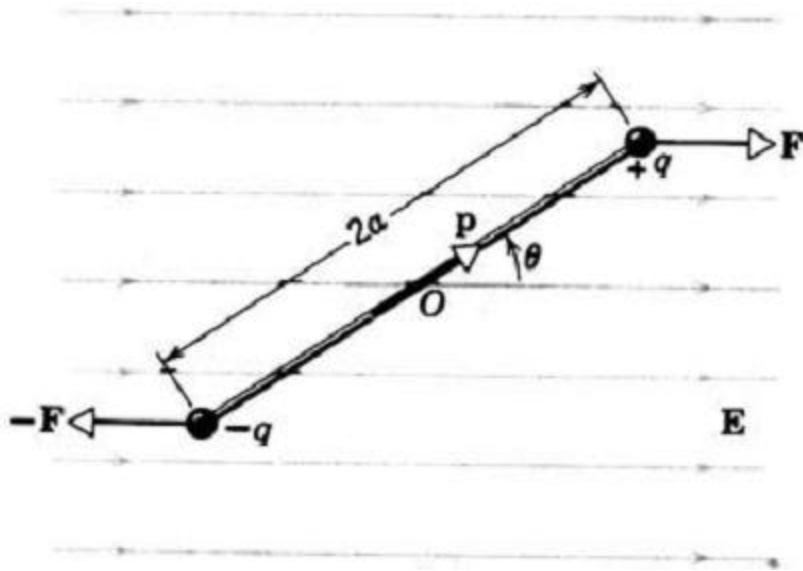
Maka :

$$F_y = F_{1y} + F_{2y} = -1680 \text{ N}$$

**Arah gaya dari muatan  $+5,00 \mu\text{C}$  menuju muatan  $-5,00 \mu\text{C}$**



# Sebuah dipol di dalam medan listrik



Jadi sebuah dipol listrik yang ditempatkan di dalam sebuah medan listrik luar  $E$  akan mengalami momen torsi yang cenderung untuk membuatnya sejajar dengan arah medan tersebut.

Dua gaya yang besarnya sama dan yang berlawanan arahnya  $F$  dan  $-F$  bekerja seperti pada gambar, dimana :

$$F = qE$$

Gaya netto adalah sama dengan nol, tetapi ada momen torsi terhadap sumbu yang melalui  $O$  yang besarnya adalah :

$$\tau = 2F(a \sin \theta) = 2aF \sin \theta.$$

atau

$$\tau = 2aqE \sin \theta = pE \sin \theta$$

Dimana :  $p$  = momen dipol =  $2aq$

$$\tau = \mathbf{p} \times \mathbf{E}$$

# Sebuah dipol di dalam medan listrik

- Jika dipol berputar melalui sudut  $d\theta$ , medan listrik melakukan kerja sebesar :

$$W = \int dW = \int_{\theta_0}^{\theta} \tau d\theta = U,$$

- Kerja merupakan selisih energi potensial, maka kita peroleh:

$$\begin{aligned} U &= \int_{\theta_0}^{\theta} pE \sin \theta d\theta = pE \int_{\theta_0}^{\theta} \sin \theta d\theta \\ &= pE (-\cos \theta) \Big|_{\theta_0}^{\theta} \end{aligned}$$

- Biasanya kita pilih energi potensial agar menjadi nol pada saat dipol tegak lurus medan listrik, yaitu ketika  $\theta = 90^\circ$ , maka energi potensialnya menjadi :

$$U = -pE \cos \theta = -\mathbf{p} \cdot \mathbf{E}$$

# Contoh soal

Muatan titik  $q_1 = -4,5 \text{ nC}$  dan  $q_2 = +4,5 \text{ nC}$  dipisahkan oleh jarak  $3,1 \text{ mm}$ , membentuk dipol listrik.

- Tentukan momen dipol listrik (besar dan arahnya).
- muatan berada dalam medan listrik seragam yang arahnya membentuk sudut  $36,9^\circ$  terhadap garis yang menghubungkan kedua muatan. Berapa besar medan listriknya jika torsi yang bekerja pada dipol besarnya  $7,2 \times 10^{-9} \text{ N}\cdot\text{m}$ ?

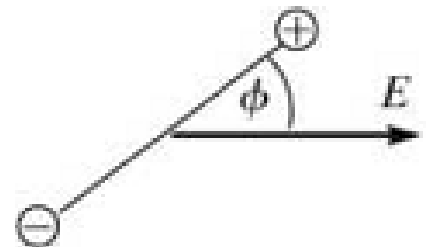
## Penyelesaian :

- $p = qd = (4,5 \times 10^{-9} \text{ C})(3,1 \times 10^{-3} \text{ m}) = 1,4 \times 10^{-11} \text{ C}\cdot\text{m}$   
Arah  $p$  adalah dari  $q_1$  ke  $q_2$ .

- $\tau = pE \sin \phi$ , yang ditunjukkan pada gambar.

$$E = \frac{\tau}{p \sin \phi}$$

$$E = \frac{7,2 \times 10^{-9} \text{ N}\cdot\text{m}}{(1,4 \times 10^{-11} \text{ C}\cdot\text{m}) \sin 36,9^\circ} = 860 \text{ N/C}$$



# Contoh soal

Sebuah dipol listrik terdiri dari dua muatan yang berlawanan yang besarnya  $q = 1,0 \times 10^{-6} \text{ C}$  dan terpisah satu sama lain dengan jarak  $d = 2,0 \text{ cm}$ . Dipol tersebut ditempatkan di dalam sebuah medan listrik yang besarnya  $1,0 \times 10^5 \text{ N/C}$ .

- Berapakah momen torsi maksimum yang dikerahkan oleh medan pada dipol?
- Berapa banyak kerja yang harus dilakukan oleh sebuah pengaruh luar untuk memutar ujung dipol menjadi ujung lainnya, dengan memulai dari kedudukan sejajar ( $\theta = 0$ )?

## Penyelesaian :

- a. Momen torsi maksimum didapatkan dengan menaruh  $\theta = 90^\circ$  .

$$\begin{aligned}\tau &= pE \sin \theta = qdE \sin \theta \\ &= (1,0 \times 10^{-6} \text{ C})(0,020 \text{ m})(1,0 \times 10^5 \text{ N/C})(\sin 90^\circ) \\ &= 2,0 \times 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}.\end{aligned}$$

- b. Kerja adalah selisih tenaga potensial  $U$  di antara kedudukan  $\theta = 0^\circ$  sampai kedudukan  $\theta = 180^\circ$  .

$$\begin{aligned}W &= U_{180^\circ} - U_{0^\circ} = (-pE \cos 180^\circ) - (-pE \cos 0) \\ &= 2pE = 2qdE \\ &= (2)(1,0 \times 10^{-6} \text{ C})(0,020 \text{ m})(1,0 \times 10^5 \text{ N/C}) \\ &= 4,0 \times 10^{-3} \text{ J}.\end{aligned}$$

**Terima Kasih**