

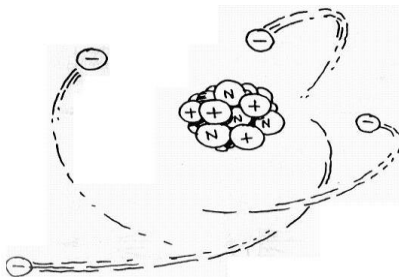
# 1 GAYA LISTRIK DAN MEDAN LISTRIK

Setelah mempelajari bab ini, Anda akan memahami:

- Apa itu muatan listrik dan bagaimana sebuah benda menjadi bermuatan.
- Bagaimana menggunakan hukum Coulomb untuk menghitung gaya listrik antara muatan.
- Perbedaan antara gaya listrik dan medan listrik.
- Bagaimana cara menghitung medan listrik yang ditimbulkan oleh sekumpulan muatan.
- Bagaimana menggunakan garis medan listrik untuk menginterpretasikan medan listrik.
- Bagaimana cara menghitung properti dari dipol listrik.

## 1.1 Struktur Atom dan Muatan Listrik

Secara umum struktur atom adalah gabungan dari tiga jenis partikel, yakni elektron yang bermuatan negatif, proton yang bermuatan positif dan neutron yang tak bermuatan. Elektron mengitari inti atom pada orbit berukuran  $10^{-10}$  m. Proton dan neutron dalam sebuah atom membentuk inti atom berukuran  $10^{-15}$  m. Perbandingannya adalah jika sebuah atom berukuran beberapa kilometer, maka inti atom hanya berukuran sebesar bola tenis saja.



Gambar 1.1. Struktur atom.

Massa masing-masing partikel dengan ketelitian tiga angka di belakang koma adalah sebagai berikut: massa elektron  $m_e = 9,109 \times 10^{-31}$  kg, massa proton  $m_p = 1,673 \times 10^{-27}$  kg dan massa neutron  $m_n = 1,675 \times 10^{-27}$  kg. Massa proton hampir sama besar dengan massa neutron, yakni sekitar dua ribu kali massa elektron. Dengan kata lain, massa atom 99,9% terkonsentrasi dalam intinya. Jumlah proton dan neutron dalam inti atom suatu unsur dinamakan *nomor massa* unsur tersebut.

Sebuah atom netral memiliki jumlah elektron dan proton yang sama. Jumlah elektron atau proton dalam atom netral sebuah unsur dinamakan *nomor atom* unsur tersebut. Sebuah atom yang kehilangan satu atau lebih elektron menjadi bermuatan positif dan dinamakan *ion positif*. Sebuah atom yang menerima elektron menjadi bermuatan negatif dan dinamakan *ion negatif*. Proses perpindahan elektron ini dinamakan *ionisasi*.

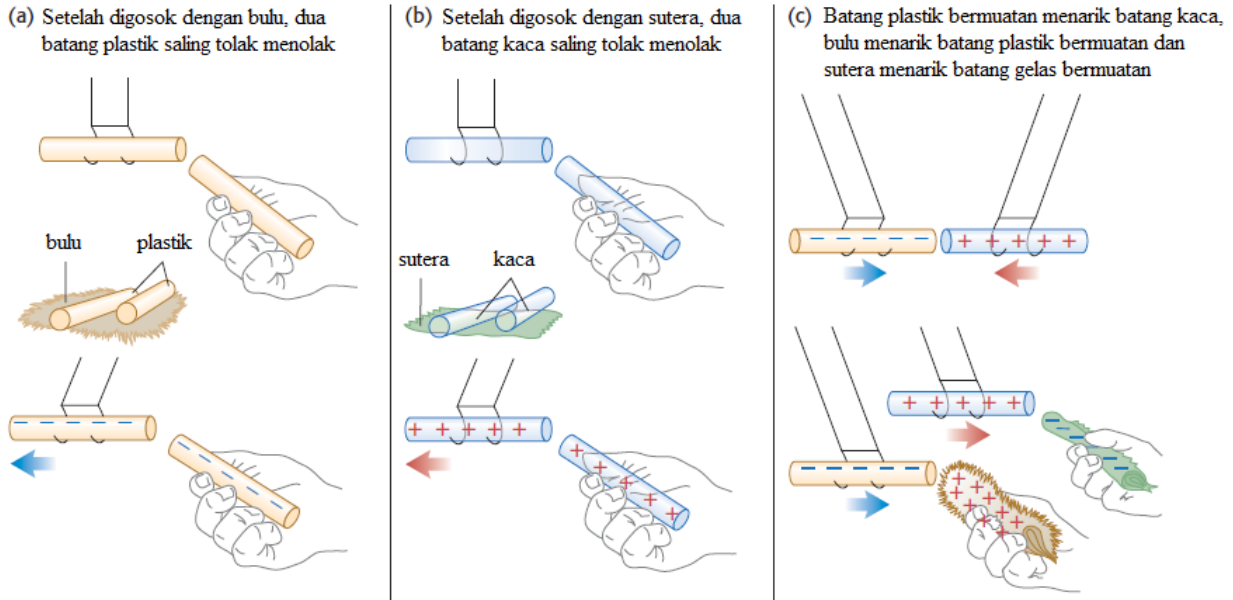
Sebagai contoh, unsur Helium (He) memiliki nomor atom 2 dan nomor massa 4. Artinya sebuah atom Helium netral terdiri atas 2 buah proton dan 2 buah neutron yang membentuk inti atom dan dikelilingi oleh 2 buah elektron.



Partikel yang bermuatan dinamakan *muatan titik*, disimbolkan dengan  $q$  dan satuannya coulomb (C). Ada 2 jenis muatan, positif dan negatif. Muatan elektron dan proton dengan ketelitian tiga angka di belakang koma adalah sebagai berikut:  $q_e = -1,602 \times 10^{-19}$  C dan  $q_p = 1,602 \times 10^{-19}$  C. Muatan elektron besarnya sama dengan muatan proton tapi berlawanan tanda.

Elektron yang bermuatan negatif dipertahankan di dalam atom oleh gaya tarik menarik yang dikerahkan oleh inti atom yang bermuatan positif. Sedangkan proton dan neutron dipertahankan dalam inti atom oleh gaya nuklir yang jauh lebih besar daripada gaya tolak menolak di antara proton-proton yang bermuatan sejenis. Namun gaya nuklir ini memiliki jangkauan yang pendek sebesar ukuran inti atom sehingga efeknya tidak mencapai jauh di luar inti atom.

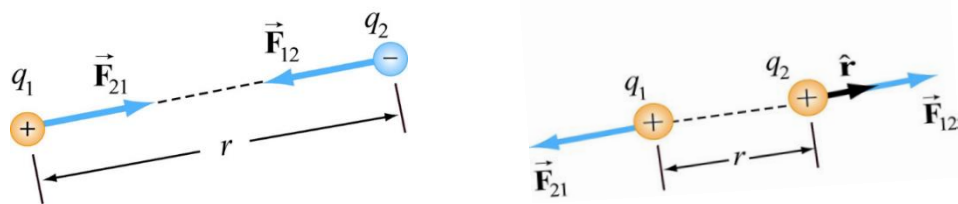
Batang plastik, kaca, bulu dan sutera sangat baik untuk mendemonstrasikan fenomena elektrosatik, yakni interaksi di antara muatan-muatan listrik yang diam. Sebuah batang plastik diberi muatan dengan cara digosok dengan bulu. Sebuah batang kaca diberi muatan dengan cara digosok dengan sutera. Eksperimen ini memperlihatkan bahwa ada dua jenis muatan listrik. Benjamin Franklin (1706-1790) menyarankan untuk menamakan kedua jenis muatan ini sebagai muatan negatif dan positif. Batang plastik dan sutera bermuatan negatif sedangkan batang kaca dan bulu bermuatan positif.



Gambar 1.2. Eksperimen dalam elektrostatik.

## 1.2 Gaya Listrik

Gaya listrik disimbolkan dengan  $F$  dan satuannya newton (N). Ada 2 jenis gaya listrik, yakni tarik menarik dan tolak menolak. Penting untuk dipahami bahwa interaksi dua muatan titik sejenis menghasilkan gaya tolak-menolak dan interaksi dua muatan titik berlainan jenis menghasilkan gaya tarik-menarik.  $F_{12}$  adalah simbol gaya listrik yang dikerahkan oleh muatan  $q_1$  pada  $q_2$ . Sedangkan  $F_{21}$  adalah simbol gaya listrik yang dikerahkan oleh muatan  $q_2$  pada  $q_1$ . Jarak antara dua muatan disimbolkan dengan  $r$  dan satuannya meter (m).



Gambar 1.3. Interaksi dua muatan titik.

Gaya listrik adalah sebuah besaran vektor, artinya gaya listrik memiliki besar dan arah. Vektor gaya listrik disimbolkan dengan tanda panah di atas simbol gaya listrik  $F$ . Vektor  $F_{12}$  sama besar dengan vektor  $F_{21}$  tapi berlawanan arah. Dalam persamaan matematika  $F_{12} = -F_{21}$ .

Besar gaya listrik dapat dihitung atas jasa ilmuwan Perancis Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) yang meneliti gaya interaksi partikel bermuatan secara rinci dan pada tahun 1785 memperkenalkan Hukum Coulomb: “*Besar gaya listrik antara dua muatan titik berbanding lurus dengan hasil kali kedua muatan tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan tersebut.*”

$$F = \frac{k |q_1 q_2|}{r^2} \quad (1 - 1)$$

di mana  $k$  adalah sebuah konstanta elektrostatik yang nilainya mendekati  $9 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ .

Yang menarik bahwa hukum Coulomb ini sangat mirip dengan hukum gravitasi yang diperkenalkan oleh Isaac Newton pada tahun 1687 untuk menghitung gaya tarik menarik antara dua benda dengan massa  $m_1$  dan  $m_2$ :

$$F = \frac{G m_1 m_2}{r^2} \quad (1 - 2)$$

di mana  $G$  adalah konstanta gravitasi yang nilainya  $6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ .

Namun nilai konstanta gravitasi ini baru dapat ditentukan secara akurat dari hasil percobaan ilmuwan Inggris Henry Cavendish pada tahun 1798. Sehingga tidak ada hukum gravitasi Newton yang menggunakan nilai  $G$ . Newton hanya bisa menghitung gaya gravitasi relatif terhadap gaya gravitasi lain.

Konstanta gravitasi  $G$  tidak sama dengan konstanta  $g$  yang sering disebut percepatan gravitasi bumi. Sejatinya  $g$  adalah medan gravitasi yang dikerahkan oleh bumi yang memiliki massa  $M = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$  dan jari-jari  $R = 6,37 \times 10^6 \text{ m}$ . Karena jarak antara 2 benda harus diukur dari titik pusat keduanya, maka jarak antara bumi dan sebuah benda bermassa  $m$  yang berada di permukaan bumi dapat dianggap sama dengan jari-jari bumi  $R$ . Dengan menggunakan persamaan (1 - 2) kita dapat menurunkan rumus gaya gravitasi bumi sebagai berikut:

$$\begin{aligned} F &= \frac{G m_1 m_2}{r^2} \\ F &= \frac{G M m}{R^2} \\ F &= m g \end{aligned} \quad (1 - 3)$$

Persamaan (1 - 3) adalah rumus gaya gravitasi bumi  $F$  terhadap sebuah benda dengan massa  $m$  yang berada dalam medan gravitasi bumi  $g$  yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$g = \frac{GM}{R^2} \quad (1 - 4)$$

$$= \frac{(6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2) (6 \times 10^{24} \text{ kg})}{(6,37 \times 10^6 \text{ m})^2}$$

$$= 9,8 \text{ m/s}^2$$

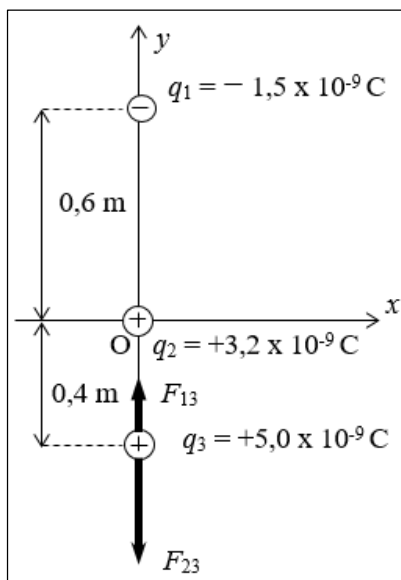
Karena medan gravitasi  $g$  memiliki satuan yang sama dengan percepatan, yaitu  $[\text{m/s}^2]$ , besaran ini sering disebut percepatan gravitasi. Sekarang jelas mengapa bumi menarik semua benda yang berada di permukaannya adalah karena benda-benda itu semuanya berada dalam medan gravitasi bumi yang mengerahkan gaya tarik terhadap benda-benda tsb. Semakin jauh sebuah benda dari bumi, semakin kecil pula medan gravitasinya sehingga gaya yang dikerahkannya tidak sanggup menarik benda tsb.

### Contoh Soal 1. Penjumlahan vektor gaya listrik sejajar

Dua buah muatan titik diletakkan pada sumbu  $y$ . Muatan  $q_1 = -1,5 \text{ nC}$  di  $y = 0,6 \text{ m}$  dan muatan  $q_2 = +3,2 \text{ nC}$  di titik  $O$ . Tentukan besar dan arah gaya total yang dihasilkan oleh muatan  $q_1$  dan  $q_2$  pada muatan  $q_3 = +5,0 \text{ nC}$  di  $y = -0,4 \text{ m}$ .

### Solusi

Cara termudah menjumlahkan vektor gaya listrik yang sejajar dan menentukan arahnya adalah dengan membuat sketsa diagram bebas dari apa yang diketahui. Untuk itu Anda harus memahami tentang diagram Cartesian dan interaksi dua muatan titik.



$$F_{13} = \frac{k |q_1 q_3|}{r_1^2}$$

$$= \frac{(9,0 \times 10^9) (1,5 \times 10^{-9}) (5,0 \times 10^{-9})}{(1,0)^2}$$

$$= 67,5 \times 10^{-9} \text{ N, arah ke atas karena } q_1 \text{ menarik } q_3.$$

$$F_{23} = \frac{k |q_2 q_3|}{r_2^2}$$

$$= \frac{(9,0 \times 10^9) (3,2 \times 10^{-9}) (5,0 \times 10^{-9})}{(0,4)^2}$$

$$= 900 \times 10^{-9} \text{ N, arah ke bawah karena } q_2 \text{ menolak } q_3.$$

$$F_{total} = F_{13} + F_{23}$$

$$= 67,5 \times 10^{-9} \text{ N} - 900 \times 10^{-9} \text{ N}$$

$$= -832,5 \times 10^{-9} \text{ N}$$

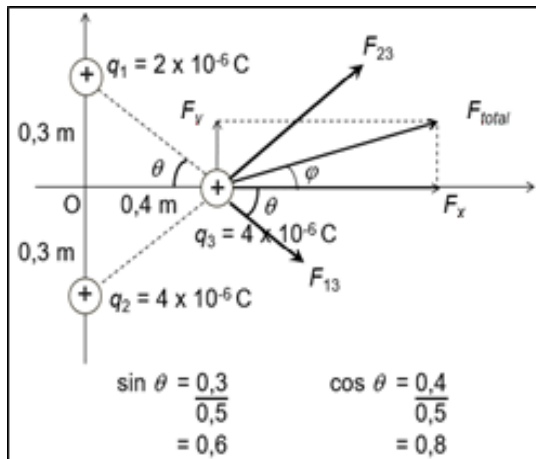
Arah gaya total ke bawah atau searah  $y$  negatif.

## Contoh Soal 2. Penjumlahan vektor gaya listrik pada sebuah bidang

Dua buah muatan titik diletakkan pada sumbu  $y$ . Muatan  $q_1 = 2,0 \mu\text{C}$  di  $y = 0,3 \text{ m}$  dan muatan  $q_2 = 4,0 \mu\text{C}$  di  $y = -0,3 \text{ m}$ . Tentukan besar dan arah gaya total yang dihasilkan oleh muatan  $q_1$  dan  $q_2$  pada muatan  $q_3 = +4,0 \mu\text{C}$  di  $x = 0,4 \text{ m}$ .

### Solusi

Cara termudah menjumlahkan vektor gaya listrik yang tidak sejajar dan menentukan arahnya adalah dengan menjumlahkan komponen vektor gaya tsb. Untuk itu Anda harus memahami konsep trigonometri dan interaksi dua muatan titik, apakah tarik menarik atau tolak menolak.



$$F_{13} = k \frac{|q_1 q_3|}{r_{13}^2} = \frac{(9,0 \times 10^9)(2,0 \times 10^{-6})(4,0 \times 10^{-6})}{(0,5)^2}$$

$$= 0,29 \text{ N } q_1 \text{ menolak } q_3.$$

$$F_{23} = k \frac{|q_2 q_3|}{r_{23}^2} = \frac{(9,0 \times 10^9)(4,0 \times 10^{-6})(4,0 \times 10^{-6})}{(0,5)^2}$$

$$= 0,58 \text{ N } q_1 \text{ menolak } q_3.$$

$$(F_{13})_x = F_{13} \cos \theta = 0,29 \times 0,8 = 0,23 \text{ N arah ke kanan}$$

$$(F_{13})_y = F_{13} \sin \theta = 0,29 \times 0,6 = 0,17 \text{ N arah ke bawah}$$

$$(F_{23})_x = F_{23} \cos \theta = 0,58 \times 0,8 = 0,46 \text{ N arah ke kanan}$$

$$(F_{23})_y = F_{23} \sin \theta = 0,58 \times 0,6 = 0,34 \text{ N arah ke atas}$$

$$F_x = (F_{13})_x + (F_{23})_x = 0,23 + 0,46 = 0,69 \text{ N arah ke kanan}$$

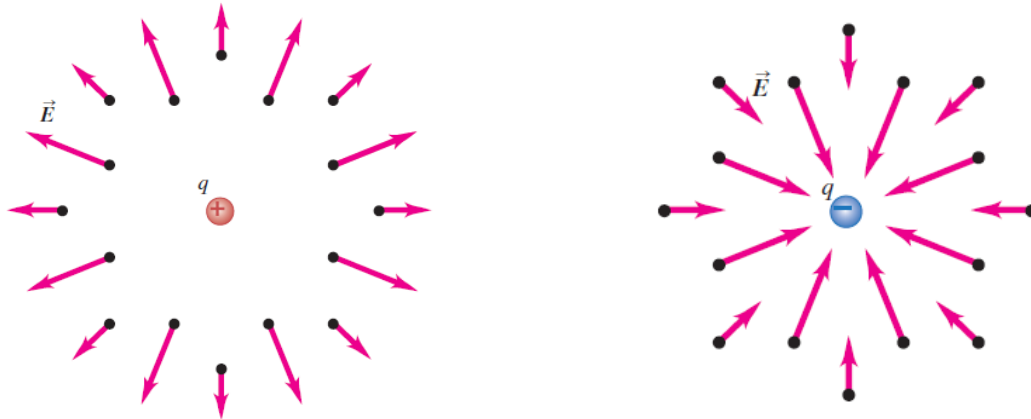
$$F_y = (F_{13})_y + (F_{23})_y = -0,17 + 0,34 = 0,17 \text{ N arah ke atas}$$

$$F_{\text{total}} = \sqrt{0,69^2 + 0,17^2} = 0,71 \text{ N}$$

$$\tan \varphi = \frac{F_y}{F_x} = \frac{0,17}{0,69} = 0,25 \rightarrow \varphi = \tan^{-1}(0,25) = 14^\circ \text{ di atas sumbu } x \text{ positif.}$$

### 1.3 Medan Listrik

Medan listrik (*electric field*) disimbolkan dengan  $E$  dan satuannya newton per coulomb (N/C). Setiap benda yang bermuatan akan menimbulkan medan listrik di sekitarnya dalam arah yang ditentukan oleh jenis muatannya. Kaidah menentukan arah medan listrik yang ditimbulkan sebuah muatan adalah jika  $q$  bermuatan positif, maka arah medan listrik keluar dari muatan tsb. Sebaliknya jika  $q$  bermuatan negatif, maka arah medan listrik menuju muatan tsb.



Gambar 1.4. Kaidah menentukan arah medan listrik

Konsep medan listrik mirip dengan konsep medan gravitasi. Dalam konsep medan gravitasi, setiap benda menimbulkan medan gravitasi di sekitarnya dalam arah menuju titik pusat benda tsb. Jika dalam medan gravitasi ada sebuah benda, maka benda itu akan mengalami gaya gravitasi yang besarnya sama dengan massa benda dikalikan dengan medan gravitasi. Dalam persamaan matematika,  $F = m g$  dimana arah gaya gravitasi sama dengan arah medan gravitasi.

Jika di dalam medan listrik ada sebuah benda bermuatan, misalkan  $q_0$ , maka benda itu akan mengalami gaya listrik yang besarnya sama dengan muatan  $q_0$  dikalikan dengan medan listrik  $E$ . Dalam persamaan matematika,  $F = q_0 E$ , di mana arah gaya ditentukan oleh jenis muatan  $q_0$ . Jika  $q_0$  bermuatan positif, maka arah gaya listrik sama dengan arah medan listrik. Sebaliknya jika  $q_0$  bermuatan negatif, maka arah gaya listrik berlawanan dengan arah medan listrik.



Gambar 1.5. Kaidah menentukan arah gaya listrik

Besar medan listrik dihitung dengan persamaan  $E = F/q_0$ . Jika kita menggunakan hukum Coulomb, maka diperoleh persamaan berikut untuk menghitung besar medan listrik.

$$F = k \frac{|q q_0|}{r^2}$$

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

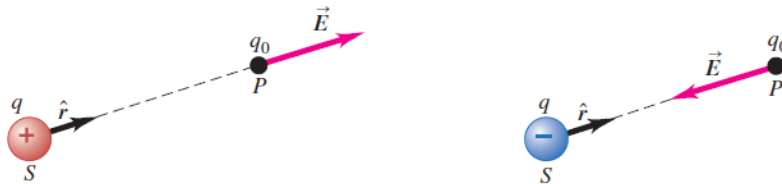
(1 – 5)

Sama seperti gaya listrik, medan listrik adalah sebuah besaran vektor. Artinya medan listrik memiliki besar dan arah. Vektor gaya listrik disimbolkan dengan tanda panah di atas simbol medan listrik  $E$ . Vektor medan listrik adalah medan listrik  $E$  dikalikan dengan vektor satuan  $\hat{r}$ .

$$\vec{E} = k \frac{|q| \hat{r}}{r^2} \quad (1-6)$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad (1-7)$$

Di mana  $\epsilon_0$  (*epsilon nol*) adalah konstanta permitivitas ruang hampa.

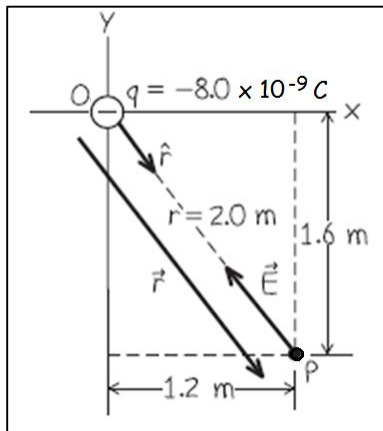


Gambar 1.6. Vektor medan listrik

### Contoh Soal 3. Vektor medan listrik sebuah muatan titik

Sebuah muatan titik  $q = -8,0 \text{ nC}$  berada di titik 0. Hitunglah vektor medan listrik pada koordinat titik  $x = 1,2 \text{ m}$  dan  $y = -1,6 \text{ m}$ .

#### Solusi



Jarak dari titik  $O$  ke titik  $P$  adalah  $r$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} = \sqrt{(1.2 \text{ m})^2 + (1.6 \text{ m})^2} = 2.0 \text{ m}$$

Vektor satuan  $r$  adalah  $\hat{r}$

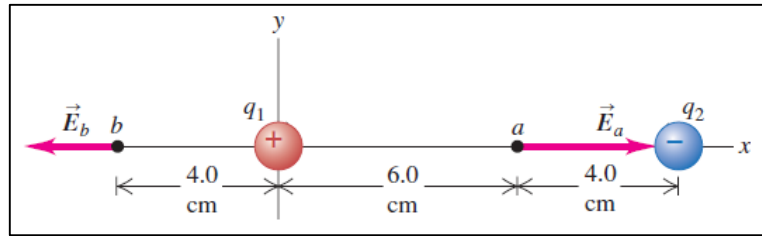
$$\begin{aligned} \hat{r} &= \frac{\vec{r}}{r} = \frac{x\hat{i} + y\hat{j}}{r} \\ &= \frac{(1.2 \text{ m})\hat{i} + (-1.6 \text{ m})\hat{j}}{2.0 \text{ m}} = 0.60\hat{i} - 0.80\hat{j} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \vec{E} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r} \\ &= (9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \frac{(-8.0 \times 10^{-9} \text{ C})}{(2.0 \text{ m})^2} (0.60\hat{i} - 0.80\hat{j}) \\ &= (-11 \text{ N/C})\hat{i} + (14 \text{ N/C})\hat{j} \end{aligned}$$



### Contoh Soal 4. Penjumlahan vektor medan listrik pada sebuah garis

Dua buah muatan titik  $q_1 = 12 \text{ nC}$  dan  $q_2 = -12 \text{ nC}$  terpisah sejauh  $10,0 \text{ cm}$ . Hitunglah besar dan arah medan listrik yang ditimbulkan  $q_1$  dan  $q_2$  pada titik  $a$  dan  $b$ .



### Solusi

$$E_{1a} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1|}{r^2} = (9.0 \times 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2) \frac{12 \times 10^{-9} \text{ C}}{(0.060 \text{ m})^2}$$

$$= 3.0 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_{1a} = 3.0 \times 10^4 \text{ N/C} \quad E_{1b} = 6.8 \times 10^4 \text{ N/C}$$

$$E_{2a} = 6.8 \times 10^4 \text{ N/C} \quad E_{2b} = 0.55 \times 10^4 \text{ N/C}$$

Pada titik  $a$ ,  $\vec{E}_{1a}$  dan  $\vec{E}_{2a}$  keduanya mengarah ke kanan, sehingga

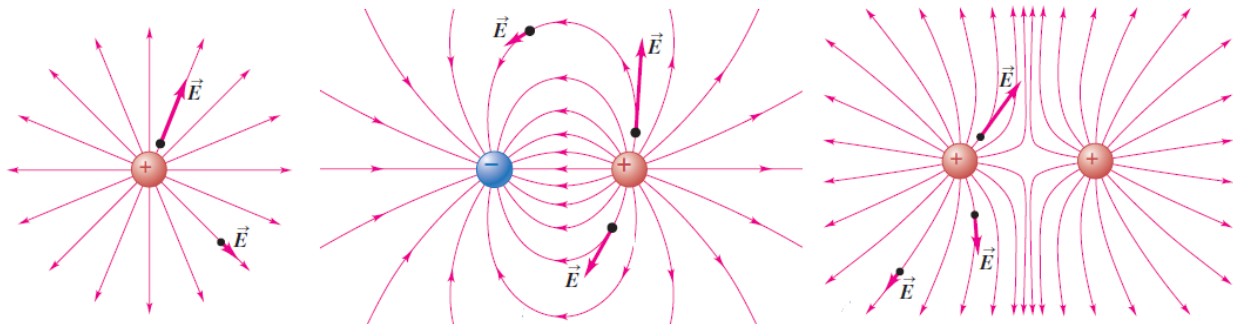
$$\vec{E}_a = E_{1a}\hat{i} + E_{2a}\hat{i} = (9.8 \times 10^4 \text{ N/C})\hat{i}$$

Pada titik  $b$ ,  $\vec{E}_{1b}$  mengarah ke kiri dan  $\vec{E}_{2b}$  mengarah ke kanan, sehingga

$$\vec{E}_b = -E_{1b}\hat{i} + E_{2b}\hat{i} = (-6.2 \times 10^4 \text{ N/C})\hat{i}$$

### 1.4 Garis Medan Listrik

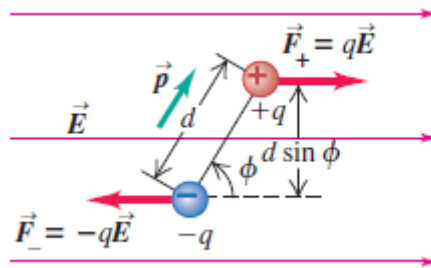
Garis medan listrik (*electric field line*) pertama kali diperkenalkan oleh ilmuwan Inggris Michael Faraday (1791-1867) adalah sebuah garis khayal yang digambarkan melalui sebuah daerah ruang sehingga garis singgungnya di setiap titik adalah dalam arah vektor medan listrik di titik itu.



Gambar 1.7. Garis medan listrik beberapa distribusi muatan

## 1.5 Dipol Listrik

Dipol listrik adalah sepasang muatan listrik yang besarnya sama tetapi tandanya berlawanan dan terpisah sejauh  $d$ . Momen dipol listrik  $p$  dinyatakan sebagai hasil kali muatan  $q$  dan jarak  $d$ . Dalam persamaan matematika,  $p = qd$ . Arah vektor  $p$  adalah dari muatan negatif menuju muatan positif. Sebuah molekul air  $\text{H}_2\text{O}$  adalah contoh dipol listrik.



Gambar 1.8. Dipol listrik dalam medan listrik

Sebuah dipol listrik dalam medan listrik tidak mengalami gaya listrik. Gaya  $F_+$  dan  $F_-$  pada kedua muatan mempunyai besar yang sama tapi arahnya berlawanan, sehingga jumlah kedua gaya tersebut sama dengan nol. Tapi dipol listrik mengalami torsi yang besarnya  $\tau = pE \sin \phi$ .

Torsi ( $\tau$ ) adalah hasil kali gaya dan lengan tuas. Jika  $\phi$  adalah sudut antara medan listrik  $E$  dan momen dipol  $p$ , maka lengan tuas untuk gaya  $F_+$  dan  $F_-$  adalah  $(d/2) \sin \phi$ . Kedua torsi mempunyai nilai yang sama, yakni  $(qE)(d/2) \sin \phi$ , dimana keduanya merotasikan dipol tersebut searah putaran jam. Maka besar torsi total adalah:  $\tau = (qE) (d \sin \phi) = pE \sin \phi$ .

## 1.6 Kesimpulan

1. Struktur atom terdiri atas proton, neutron dan elektron. Proton bermuatan positif, elektron bermuatan negatif dan neutron tidak bermuatan. Proton dan neutron membentuk inti atom yang dikitari oleh elektron.
2. Ada dua macam muatan listrik, positif dan negatif. Muatan-muatan yang tandanya sama tolak-menolak, muatan-muatan yang tandanya berlawanan tarik-menarik.
3. Hukum Coulomb adalah hukum dasar interaksi antara muatan titik. Jika muatan  $q_1$  dan  $q_2$  terpisah sejauh  $r$ , maka besar gaya pada masing-masing muatan adalah

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$$

4. Medan listrik  $E$  adalah gaya per satuan muatan yang dihasilkan oleh sebuah muatan titik  $q$  pada sebuah muatan uji  $q_0$ . Arah medan listrik keluar dari muatan positif dan menuju muatan negatif.

$$E = \frac{F}{q_0} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|q|}{r^2}$$

5. Garis medan listrik merepresentasikan medan listrik. Garis singgung pada garis medan listrik merupakan arah medan listrik pada titik tersebut. Jumlah garis per satuan luas sebanding dengan besar medan listrik di titik tersebut.
6. Dipol listrik adalah sepasang muatan listrik yang besarnya sama tapi tandanya berlawanan. Besar momen dipol listrik  $p = qd$ . Arah  $p$  dari muatan negatif ke muatan positif. Dipol listrik dalam medan listrik menghasilkan torsi  $\tau = pE \sin \phi$  dan energi potensial  $U = -pE \cos \phi$ .

### 1.7 Soal Latihan

- Dua buah muatan titik diletakkan pada sumbu  $x$  sebagai berikut. Muatan  $q_1 = +400$  nC diletakkan di  $x = 0,200$  m dan muatan  $q_2 = +5,0$  nC berada di  $x = -0,300$  m. Berapakah besarnya dan kemanakah arahnya gaya total yang dikerahkan oleh kedua muatan ini pada sebuah muatan titik negatif  $q_3 = -6,00$  nC yang ditempatkan di titik asal?
- Sebuah partikel mempunyai muatan  $-3,00$  nC. a) Carilah besar dan arah medan listrik yang ditimbulkan oleh partikel ini di sebuah titik yang berada  $0,250$  m langsung di atas partikel itu. b) Pada jarak berapakah dari partikel ini medan listriknya sebesar  $12,0$  N/C?
- Sebuah muatan titik  $q_1 = -4,00$  nC berada di titik  $x = 0,600$  m,  $y = 0,800$  m dan sebuah muatan titik kedua  $q_2 = +6,00$  nC berada di titik  $x = 0,600$  m,  $y = 0$ . Hitunglah besar dan tentukan arah medan listrik netto di titik asal yang ditimbulkan oleh kedua muatan ini.
- Muatan titik  $q_1 = -4,5$  nC dipisah dengan jarak  $3,1$  mm, yang membentuk suatu dipol listrik. a) Hitunglah momen dipol listrik. b) Muatan-muatan ini berada dalam sebuah medan listrik homogen yang arahnya membentuk sudut  $36,9^\circ$  dengan garis yang menghubungkan dengan muatan-muatan itu. Berapakah besarnya medan ini jika torsi yang dikerahkan pada dipol ini mempunyai besar  $7,2 \times 10^{-9}$  Nm?