
MEDAN LISTRIK

Oleh Muatan Kontinu

(Kawat Lurus, Cincin, Pelat)



FISIKA 2A
Semester Genap 2016/2017
Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi
Universitas Telkom

Medan listrik akibat muatan kontinu

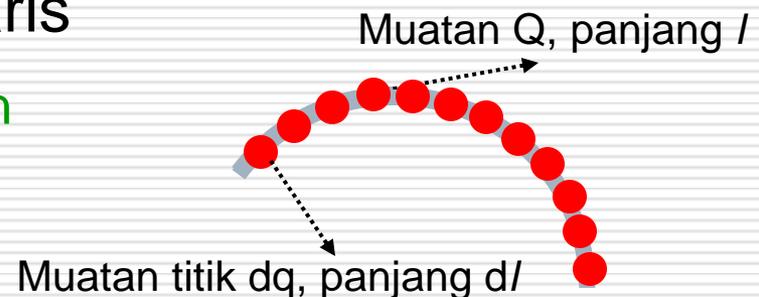
Muatan listrik kontinu adalah muatan listrik yang memiliki Dimensi/ukuran, bisa berdimensi panjang, luas, maupun volume.

Ada 2 asumsi untuk mempermudah persoalan :

- ❑ Muatan listrik tersebar secara merata (seragam)
- ❑ Muatan kontinu tersusun atas banyak sekali muatan titik identik

Misalnya muatan berbentuk garis

Muatan garis Q dianggap tersusun atas banyak muatan titik dq yang tersebar merata



Medan listrik akibat muatan kontinu

Definisi rapat muatan

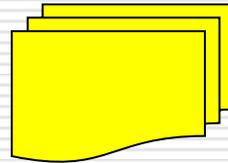
- Rapat muatan persatuan panjang (λ), yaitu muatan per panjang

$$\lambda = \frac{Q}{L}$$



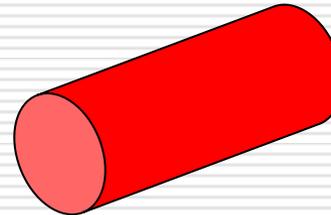
- Rapat muatan persatuan luas (σ), yaitu muatan per luas

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



- Rapat muatan persatuan volume (ρ), yaitu muatan per volume

$$\rho = \frac{Q}{V}$$



Medan listrik akibat muatan kontinu

Misal sebuah muatan kontinu Q terletak pada koordinat dengan vektor posisi r .

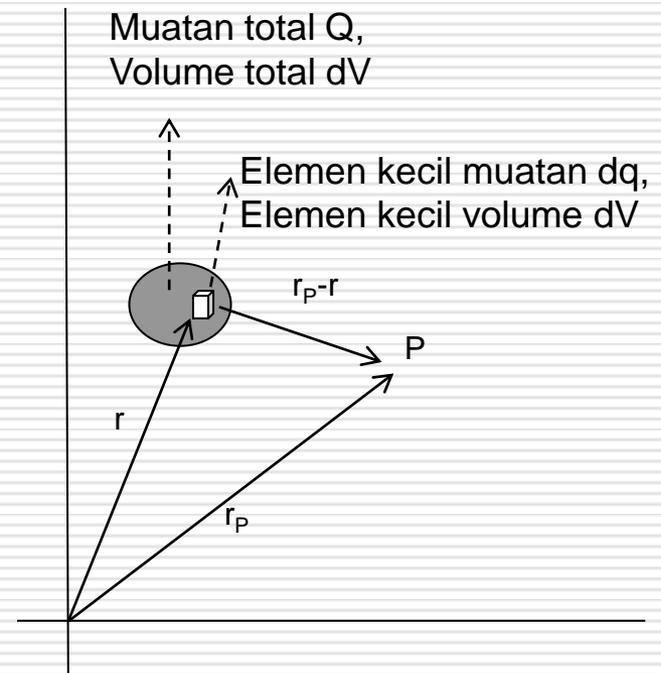
Anggap Q tersusun atas banyak elemen kecil muatan dq dengan volume dV

Muatan Total

$$Q = \sum_n dq \cong \int dq$$

Volume Total muatan

$$V = \sum_n dV \cong \int dV$$



Medan listrik akibat muatan kontinu

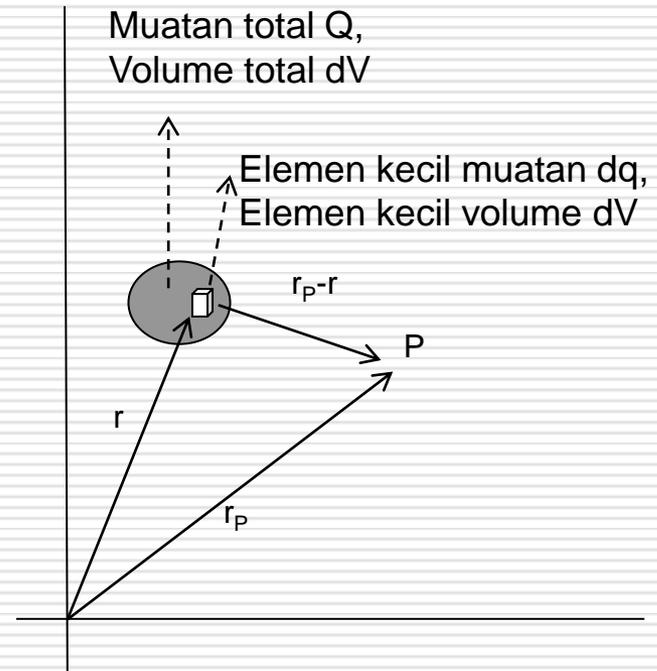
Setiap elemen kecil muatan dq ini memberikan elemen kecil medan listrik di P.

Elemen kecil medan listrik di titik P adalah

$$d\vec{E}_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{|\vec{r}_P - \vec{r}|^2} \frac{(\vec{r}_P - \vec{r})}{|\vec{r}_P - \vec{r}|}$$

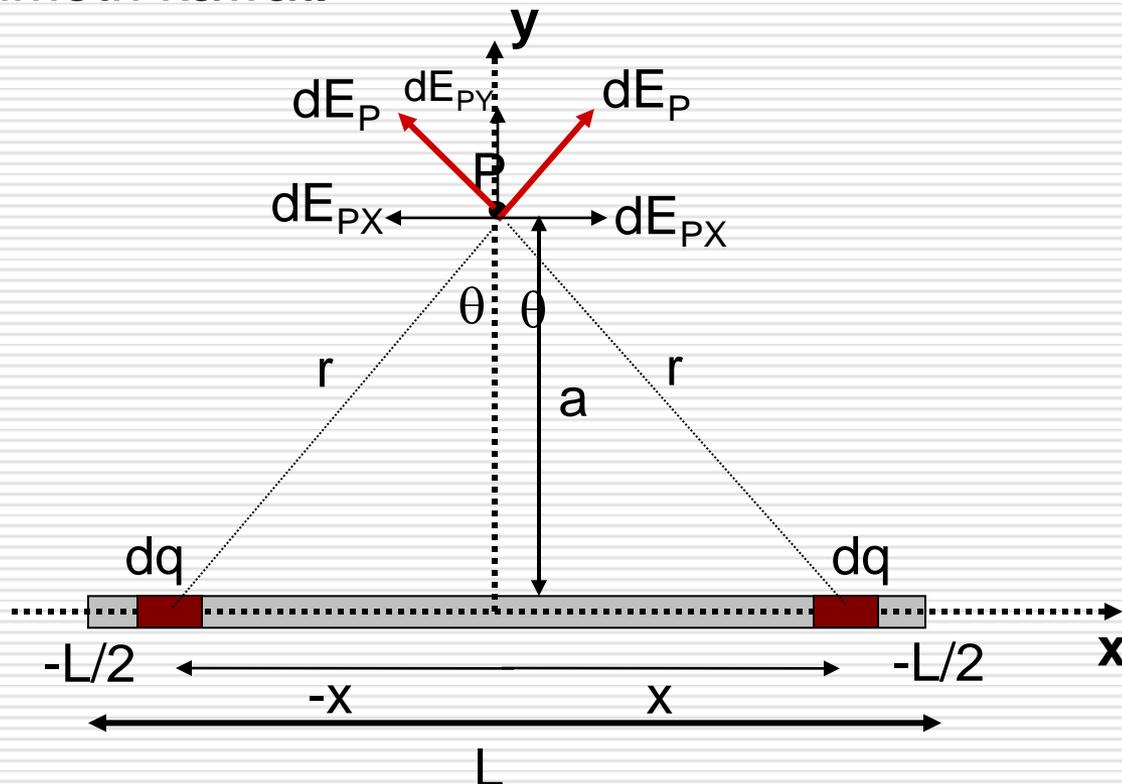
Medan listrik total di P adalah jumlah dari Semua elemen kecil medan listrik ini, yaitu

$$\vec{E}_P = \sum dE_P \cong \int dE_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{|\vec{r}_P - \vec{r}|^2} \frac{(\vec{r}_P - \vec{r})}{|\vec{r}_P - \vec{r}|}$$



Muatan kontinu garis lurus

Misalnya ada sebuah kawat lurus yang panjangnya L dan memiliki rapat muatan persatuan panjang sama dengan λ . Kita ingin mengetahui medan listrik di titik P yang berjarak a dari pusat simetri kawat.



Muatan kontinu garis lurus

- Komponen medan listrik arah sumbu x akan saling meniadakan ($E_x=0$)
- Hanya Komponen medan listrik arah sumbu y saja yang dihitung

Elemen kecil muatan berbentuk $dq=\lambda dx$, dengan x berjalan dari $-L/2$ sampai $+L/2$.

Besar medan listrik akibat elemen kecil dq adalah

$$dE_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \quad \text{dengan } r^2 = x^2 + a^2$$

Besar komponen elemen kecil medan listrik arah sumbu y adalah

$$dE_{Py} = dE_P \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dx}{(x^2 + a^2)} \cos \theta.$$

Muatan kontinu garis lurus

Besar komponen medan listrik arah sumbu y adalah

$$E_{Py} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{-L/2}^{+L/2} \frac{\lambda dx}{(x^2 + a^2)} \cos \theta.$$

Hubungan x dan θ : $x = a \tan \theta$

$$dx = a \sec^2 \theta d\theta$$

Sehingga besar komponen medan listrik arah sumbu y menjadi

$$E_{Py} = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 a} \int_{\theta_1}^{\theta_2} \cos \theta d\theta = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 a} \sin \theta$$

$$E_{Py} = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 a} \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}} \right)_{x=-L/2}^{x=+L/2} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 a} \left(\frac{L}{\sqrt{L^2 + 4a^2}} \right).$$

Muatan kontinu garis lurus

Vektor medan listrik total adalah

$$\vec{E}_P = E_{Px} \hat{i} + E_{Py} \hat{j}$$

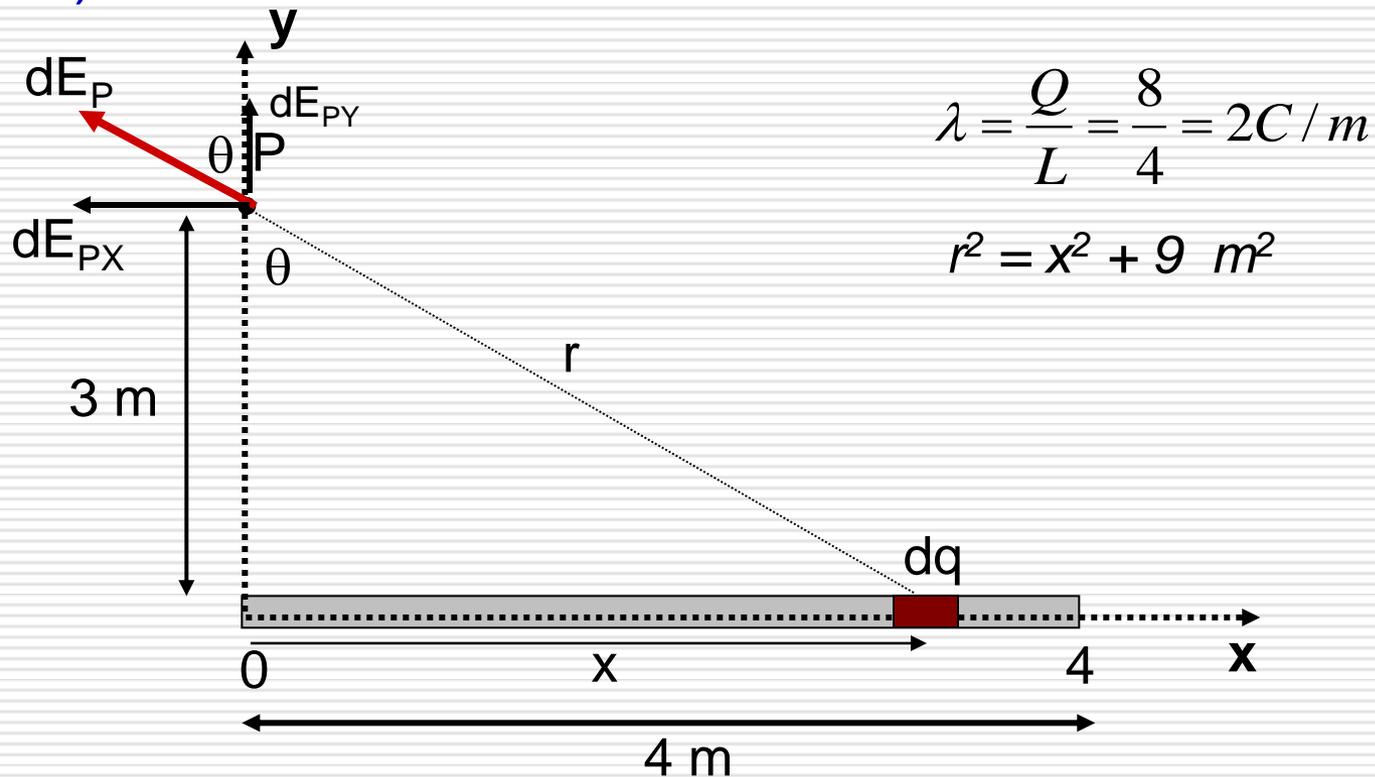
$$E_P = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 a} \left(\frac{L}{\sqrt{L^2 + 4a^2}} \right) N/C$$

Andaikan kawat lurus dalam persoalan di atas sangatlah panjang, dengan kata lain $L \rightarrow \infty$ maka medan listrik di titik P menjadi

$$\vec{E}_P = \lim_{L \rightarrow \infty} \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 a} \left(\frac{L}{\sqrt{L^2 + 4a^2}} \right) \hat{j} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 a} \hat{j} N/C.$$

Contoh

Sebuah kawat lurus panjangnya 4 m memiliki muatan +8 C. Kawat dibentangkan dari $x=0$ sampai $x=4$ m pada koordinat Kartesius. Carilah vektor medan listrik pada titik koordinat $(0 \text{ m}, 3 \text{ m})$?



- ❑ Terlihat dari gambar tidak ada komponen medan listrik yang saling meniadakan
- ❑ Elemen kecil muatan berbentuk $dq = \lambda dx = 2dx$, dengan x berjalan dari 0 sampai 4 m.

Besar medan listrik akibat elemen kecil dq adalah

$$dE_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \quad \text{dengan} \quad r^2 = x^2 + 9$$

Besar komponen elemen kecil medan listrik arah sumbu y adalah

$$dE_{Py} = dE_P \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2dx}{(x^2 + 9)} \cos \theta$$

Besar komponen medan listrik arah sumbu y adalah

$$E_{Py} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^4 \frac{2dx}{(x^2 + 9)} \cos \theta \quad \text{gunakan } \begin{aligned} x &= 3 \tan \theta \\ dx &= 3 \sec^2 \theta d\theta \end{aligned}$$

$$E_{Py} = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \int_0^{53} \cos \theta d\theta = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} (\sin 53 - \sin 0)$$

$$E_{Py} = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \frac{4}{5} N/C$$

Besar komponen elemen kecil medan listrik arah sumbu x adalah

$$dE_{Px} = dE_P \sin \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \sin \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2dx}{(x^2 + 9)} \sin \theta$$

Besar komponen medan listrik arah sumbu x adalah

$$E_{Px} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^4 \frac{2dx}{(x^2 + 9)} \sin \theta = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \int_0^{53} \sin \theta d\theta = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} (\cos 0 - \cos 53)$$

$$E_{Px} = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \frac{2}{5} N/C$$

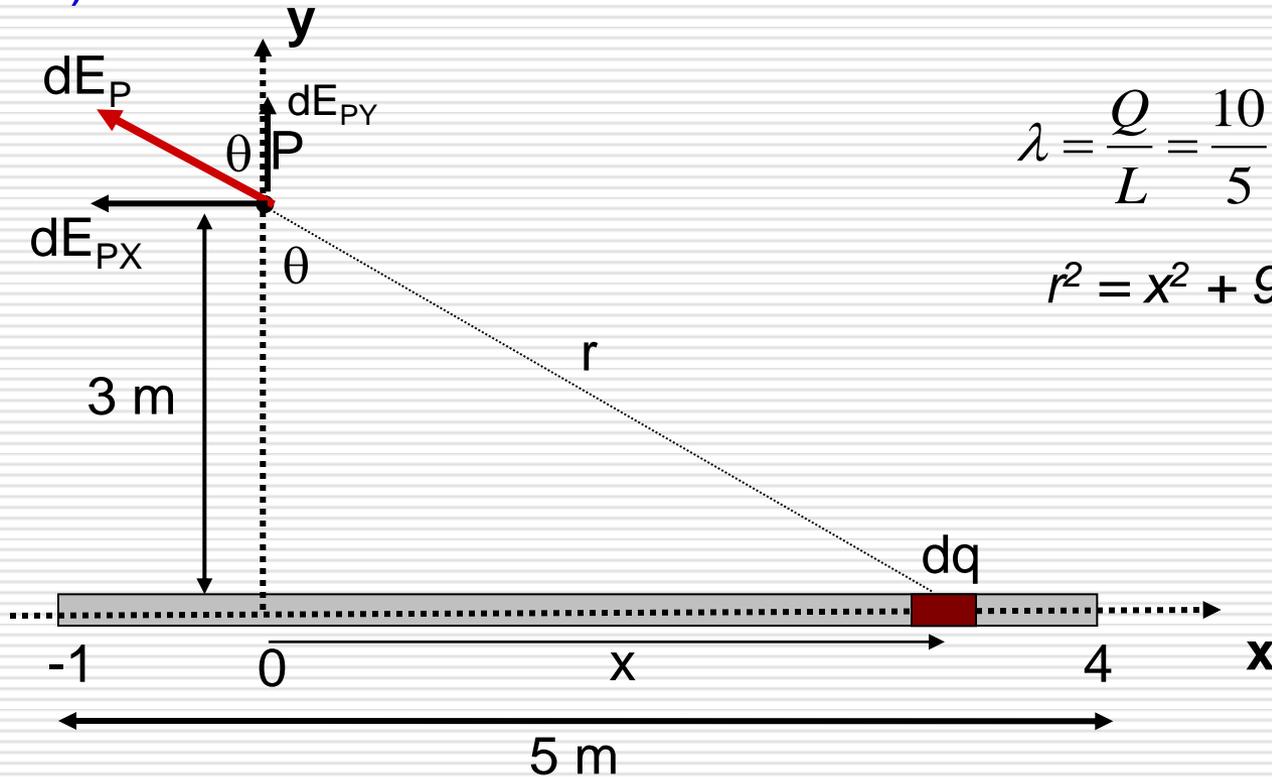
Medan listrik total di P adalah

$$\vec{E}_P = E_{Px} (-\hat{i}) + E_{Py} \hat{j}$$

$$\vec{E}_P = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \left\{ \frac{2}{5} (-\hat{i}) + \frac{4}{5} \hat{j} \right\} N/C.$$

Soal

Sebuah kawat lurus panjangnya 5 m memiliki muatan +10 C. Kawat dibentangkan dari $x=-1$ sampai $x=4$ m pada koordinat Kartesius. Carilah vektor medan listrik pada titik koordinat (0 m, 3 m)?



$$\lambda = \frac{Q}{L} = \frac{10}{5} = 2C/m$$

$$r^2 = x^2 + 9 \text{ m}^2$$

- ❑ Terlihat dari gambar tidak ada komponen medan listrik yang saling meniadakan
- ❑ Elemen kecil muatan berbentuk $dq = \lambda dx = 2dx$, dengan x berjalan dari -1 sampai 4 m.

Besar medan listrik akibat elemen kecil dq adalah

$$dE_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \quad \text{dengan} \quad r^2 = x^2 + 9$$

Besar komponen elemen kecil medan listrik arah sumbu y adalah

$$dE_{py} = dE_p \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2dx}{(x^2 + 9)} \cos \theta$$

Besar komponen medan listrik arah sumbu y adalah

$$E_{Py} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_{-1}^4 \frac{2dx}{(x^2 + 9)} \cos \theta \quad \text{gunakan } x = 3 \tan \theta$$

$$dx = 3 \sec^2 \theta d\theta$$

$$E_{Py} = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \int \cos \theta d\theta = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} (\sin \theta) = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \left(\frac{x}{\sqrt{x^2 + 9}} \right)_{x=-1}^{x=4}$$

$$= \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \left(\frac{4}{5} + \frac{1}{\sqrt{10}} \right)$$

Besar komponen elemen kecil medan listrik arah sumbu x adalah

$$dE_{Px} = dE_P \sin \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \sin \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2dx}{(x^2 + 9)} \sin \theta$$

Besar komponen medan listrik arah sumbu x adalah

$$\begin{aligned}
 E_{Px} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^4 \frac{2dx}{(x^2 + 9)} \sin \theta = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \int_0^{53} \sin \theta d\theta = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} (-\cos \theta) \\
 &= \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \left(\frac{-3}{\sqrt{x^2 + 9}} \right)_{x=-1}^{x=4} = \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \left(\frac{3}{\sqrt{10}} - \frac{3}{5} \right)
 \end{aligned}$$

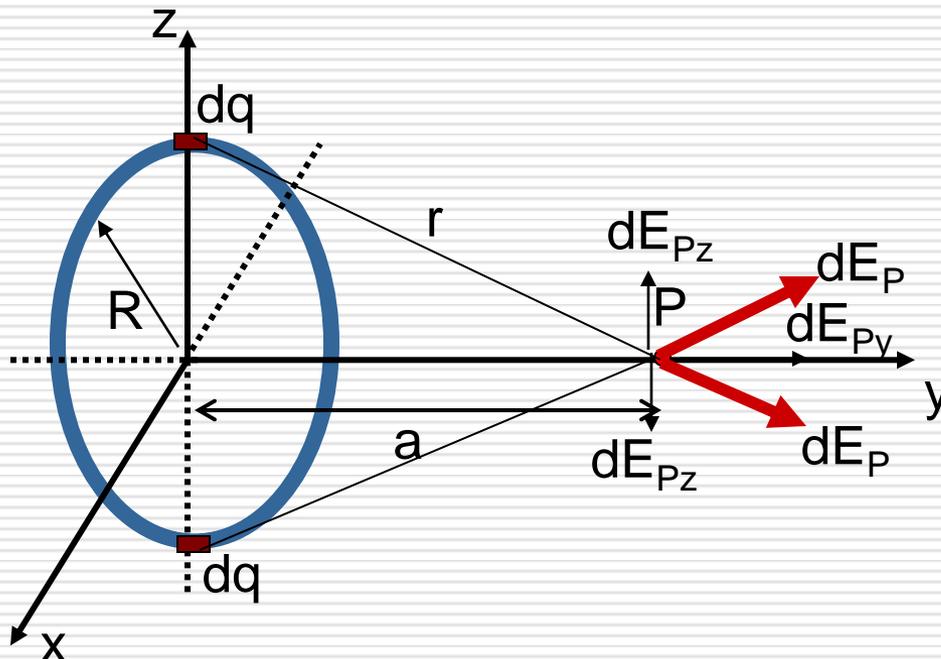
Medan listrik total di P adalah

$$\begin{aligned}
 \vec{E}_P &= E_{Px}(-\hat{i}) + E_{Py}\hat{j} \\
 &= \frac{1}{6\pi\epsilon_0} \left\{ \left(\frac{3}{\sqrt{10}} - \frac{3}{5} \right) (-i) + \left(\frac{4}{5} + \frac{1}{\sqrt{10}} \right) \hat{j} \right\}
 \end{aligned}$$

Muatan kontinu cincin

Misalnya ada sebuah muatan kontinu berbentuk cincin lingkaran yang berjari-jari R dan memiliki rapat muatan persatuan panjang sama dengan λ . Kita ingin mengetahui medan listrik di titik P yang terletak sejauh a dari pusat lingkaran cincin.

Kita anggap cincin terletak pada bidang xz



Muatan kontinu cincin

Komponen medan listrik yang arahnya tegak lurus sumbu x dan sumbu z saling meniadakan ($E_y=E_z=0$)

Elemen kecil muatan dq dapat ditulis dalam bentuk

$$dq = \frac{Q}{l} dl = \lambda dl$$

dengan Q adalah muatan total kawat,

l adalah keliling kawat

dl adalah elemen kecil keliling cincin lingkaran.

Besar komponen elemen kecil medan listrik dalam arah sumbu x adalah

$$dE_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda dl}{(R^2 + a^2)} \cos \theta,$$

Muatan kontinu cincin

Besar komponen medan listrik arah sumbu x adalah

$$E_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{2\pi R} \frac{\lambda dl}{(R^2 + a^2)} \cos \theta.$$

dengan

$$\cos \theta = \frac{a}{\sqrt{R^2 + a^2}}$$

Karena a dan R adalah konstanta maka dapat dikeluarkan dari Integral, sehingga

$$E_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{\lambda a}{(R^2 + a^2)^{3/2}} \int_0^{2\pi R} dl = \frac{1}{2\epsilon_0} \frac{\lambda a R}{(R^2 + a^2)^{3/2}}.$$

Jadi Vektor medan listrik total di titik P adalah

$$\vec{E}_p = \frac{1}{2\epsilon_0} \frac{\lambda a R}{(R^2 + a^2)^{3/2}} \hat{i} \quad N/C.$$

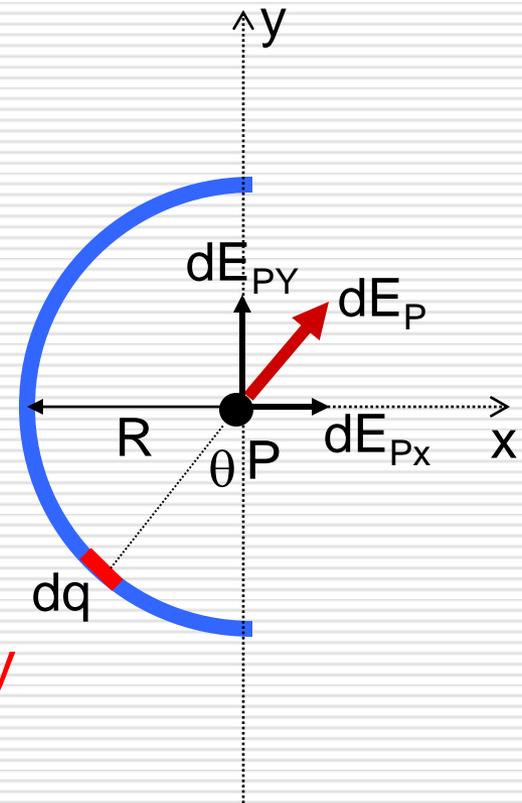
Contoh

Sebuah benda berbentuk setengah lingkaran dengan jari-jari 2 m memiliki muatan 4π Coulomb. Tentukan medan Listrik di pusat lingkaran.

Elemen kecil muatan :

$$dq = \frac{Q}{l} dl = 2dl$$

- ❑ **Komponen medan listrik arah sumbu y saling meniadakan**
- ❑ **Hanya Komponen medan listrik arah sumbu x saja yang dihitung**



Besar elemen kecil medan listrik di titik P akibat elemen kecil muatan dq adalah

$$dE_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2dl}{2^2} = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} dl$$

Besar komponen elemen kecil medan listrik arah sumbu x adalah

$$dE_{Px} = dE_p \sin \theta = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} dl \sin \theta, \quad dl = r d\theta = 2d\theta$$

$$dE_{Px} = dE_p \sin \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sin \theta d\theta$$

Besar komponen elemen kecil medan listrik arah sumbu x adalah

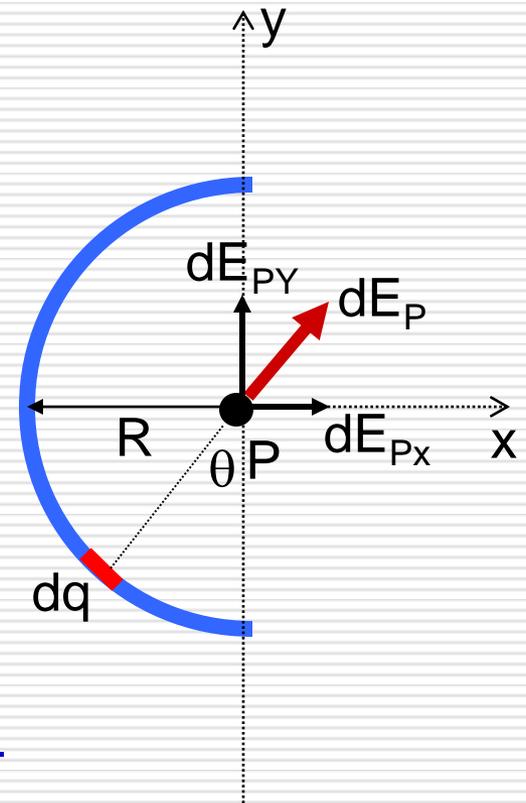
$$E_{Px} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^\pi \sin \theta d\theta = \frac{1}{2\pi\epsilon_0}$$

Medan Listrik Total di P :

$$\vec{E}_P = E_{Px} \hat{i} + E_{Py} \hat{j}$$

$$\vec{E}_P = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \hat{i} \text{ N/C.}$$

- ❑ Bagaimana jika muatan setengah lingkaran tersebut negatif ?
- ❑ Atau bagaimana jika muatannya tiga perempat lingkaran ?

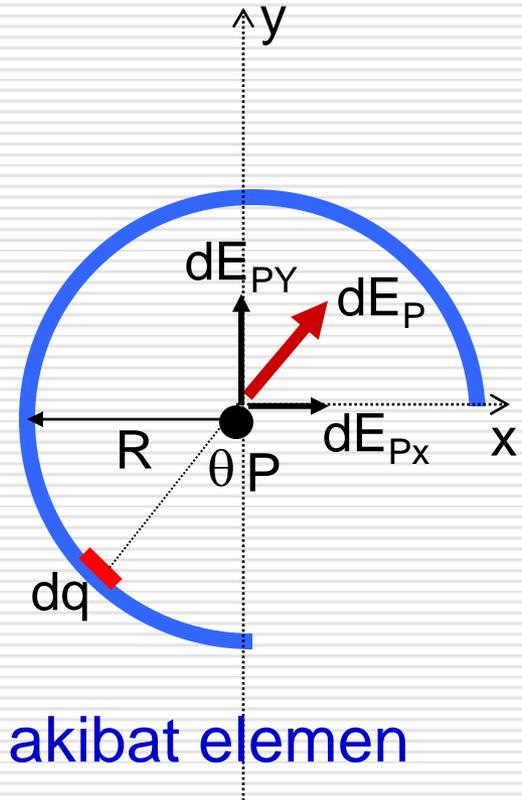


Soal

Sebuah benda berbentuk tiga perempat lingkaran dengan jari-jari 2 m memiliki muatan 6π Coulomb. Tentukan medan Listrik di pusat lingkaran.

Elemen kecil muatan :

$$dq = \frac{Q}{l} dl = 2dl$$



Besar elemen kecil medan listrik di titik P akibat elemen kecil muatan dq adalah

$$dE_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dq}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2dl}{2^2} = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} dl$$

Besar komponen elemen kecil medan listrik arah sumbu x adalah

$$dE_{Px} = dE_p \sin \theta = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} dl \sin \theta, \quad dl = r d\theta = 2d\theta$$

$$dE_{Px} = dE_p \sin \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sin \theta d\theta$$

Besar komponen elemen kecil medan listrik arah sumbu x adalah

$$\begin{aligned} E_{Px} &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{3\pi/2} \sin \theta d\theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} (\cos 0 - \cos 3\pi/2) \\ &= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \end{aligned}$$

Besar komponen elemen kecil medan listrik arah sumbu y adalah

$$dE_{Px} = dE_p \cos \theta = \frac{1}{8\pi\epsilon_0} dl \cos \theta,$$
$$dE_{Px} = dE_p \cos \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cos \theta d\theta$$

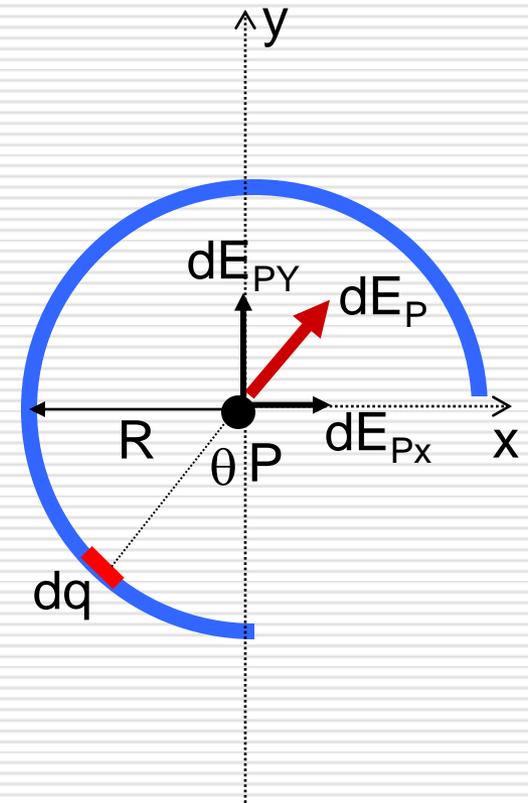
Besar komponen elemen kecil medan listrik arah sumbu y adalah

$$E_{Px} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int_0^{3\pi/2} \cos \theta d\theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} (\sin 3\pi/2 - \sin 0)$$
$$= -\frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Medan Listrik Total di P :

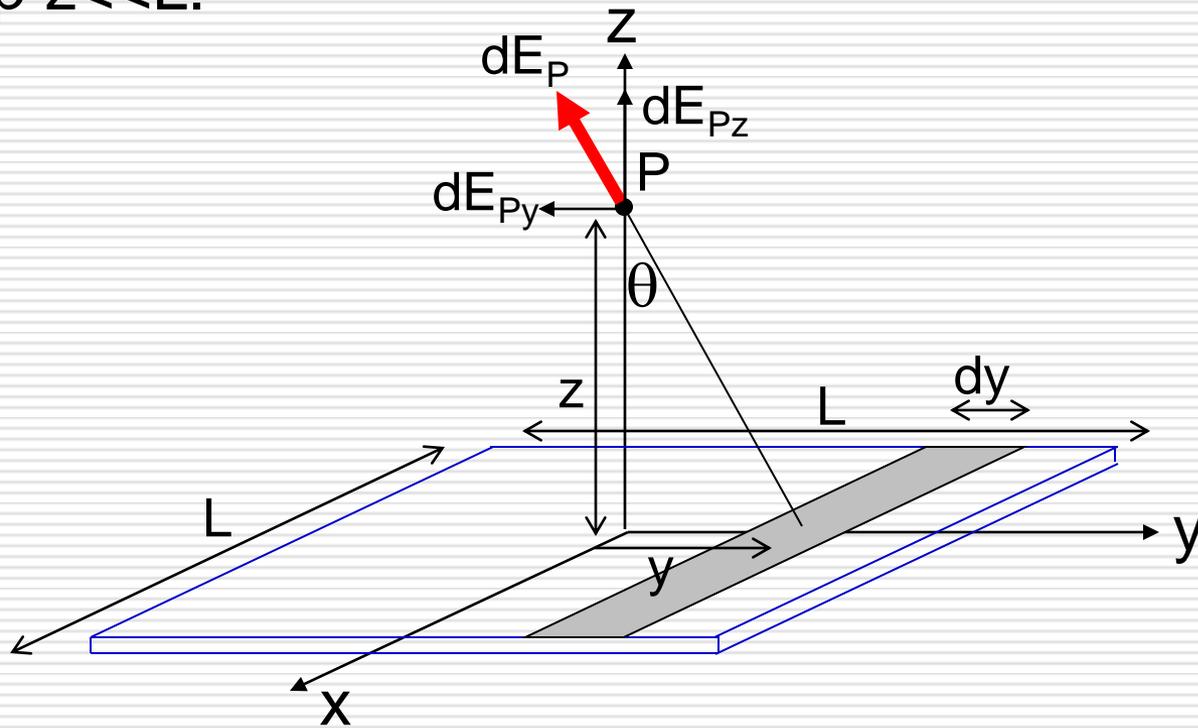
$$\vec{E}_P = E_{Px} \hat{i} + E_{Py} \hat{j}$$

$$\vec{E}_P = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} (\hat{i} - \hat{j}) \text{ N/C.}$$



Muatan kontinu pelat tipis

Misalnya ada suatu pelat tipis bujur sangkar bersisi L memiliki muatan per luas samadengan σ . Kemudian kita ingin mengetahui medan listrik pada jarak z di atas pelat, anggap $z \ll L$.



Muatan kontinu pelat tipis

Langkah-langkah pemecahan :

- ❑ Kita bagi pelat tersebut dalam pita tipis dengan tebal dy dan panjang L
- ❑ Anggap muatan tiap pita tipis adalah dq , hubungan dq dengan σ adalah

$$\sigma = \frac{dq}{dA} = \frac{dq}{Ldy} \rightarrow dq = \sigma Ldy$$

- ❑ Setiap pita tipis dapat dipandang sebagai muatan garis dengan besar muatan per panjang adalah

$$\lambda = \frac{dq}{L} = \sigma dy$$

Muatan kontinu pelat tipis

- Elemen kecil Medan listrik di P akibat pita tipis adalah sama seperti medan listrik akibat kawat yang sangat panjang, yaitu

$$dE_P = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0} \frac{1}{\sqrt{z^2 + y^2}} = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \frac{dy}{\sqrt{z^2 + y^2}},$$

dengan $(z^2+y^2)^{1/2}$ adalah jarak pusat pita tipis terhadap titik P.

- Komponen Medan listrik di P akibat pita tipis dalam arah sumbu y saling meniadakan (lihat gambar)

$$E_{Py} = 0.$$

Muatan kontinu pelat tipis

- Sedangkan Komponen Elemen kecil Medan listrik di P akibat pita tipis dalam arah sumbu z adalah

$$dE_{Pz} = dE_P \cos \theta = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \frac{dy}{\sqrt{z^2 + y^2}} \frac{z}{\sqrt{z^2 + y^2}}$$

- Besar Medan listrik di P akibat pita tipis dalam arah sumbu z adalah

$$E_{Pz} = \frac{\sigma z}{2\pi\epsilon_0} \int_{-L/2}^{+L/2} \frac{dy}{(z^2 + y^2)}$$

$$E_{Pz} = \frac{\sigma z}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{z} \tan^{-1} \left(\frac{y}{z} \right) \right) \Bigg|_{Y=-l/2}^{Y=+l/2}$$

Muatan kontinu pelat tipis

- Jika z jauh lebih kecil dari L ($z \ll L$) maka sama artinya bahwa L tak berhingga atau pelat tipis dikatakan memiliki luas tak berhingga (sangat luas)
- Sehingga besar komponen medan listrik di titik P dalam arah sumbu z adalah

$$E_{Pz} = \frac{\sigma}{2\pi\epsilon_0} \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2} \right) = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}.$$

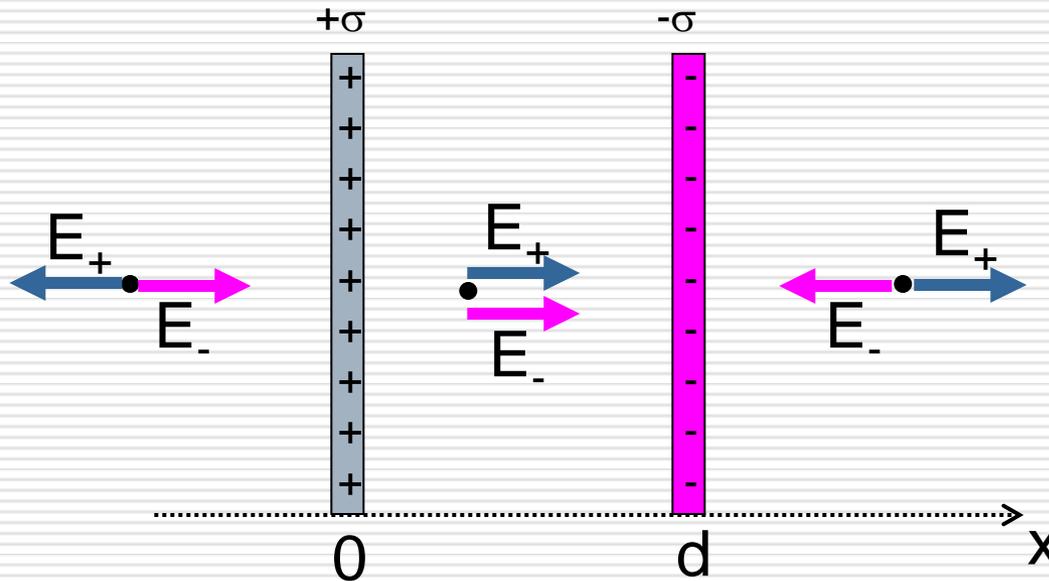
- Jadi Vektor medan listrik total di titik P akibat pelat tipis yang sangat luas adalah

$$\vec{E}_P = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{k} \text{ N/C}.$$

Catatan : Kasus pelat sangat luas ini akan jauh lebih mudah jika ditinjau menggunakan hukum Gauss.

Soal

Dua buah pelat tipis sangat luas disusun berdampingan. Masing-masing pelat memiliki rapat muatan σ dan $-\sigma$. Jika jarak antar pelat d ($d \ll \dots$), tentukan medan listrik pada daerah $x < 0$, $0 < x < d$, dan $x > d$.



E_+ = Medan listrik akibat pelat positif
 E_- = Medan listrik akibat pelat negatif

Besar medan listrik E_+ dan E_- adalah sama, yaitu

$$E_+ = E_- = \frac{\sigma}{2\epsilon_0},$$

dengan arah sesuai gambar.

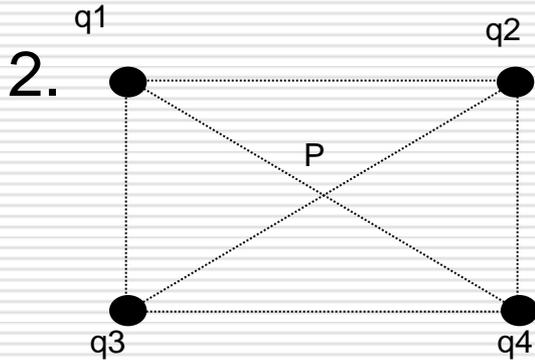
- ❑ Medan listrik pada daerah $x < 0$ adalah nol karena E_+ dan E_- Besar sama arah berlawanan sehingga saling meniadakan.
- ❑ Medan listrik pada daerah $x < 0$ adalah nol karena E_+ dan E_- Besar sama arah berlawanan sehingga saling meniadakan.

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_- = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{i} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \hat{i} = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \hat{i}$$

- ❑ Medan listrik pada daerah $x > d$ adalah nol karena E_+ dan E_- Besar sama arah berlawanan sehingga saling meniadakan.

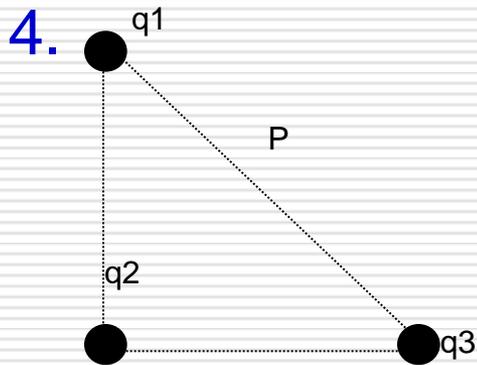
Latihan Soal

1. Tiga buah muatan listrik $q_1=2e$, $q_2=-3e$ dan $q_3=6e$ masing-masing diletakkan pada koordinat kartesius dengan posisi $(-3,-2)$, $(4,-2)$, dan $(3,3)$. Tentukanlah Medan listrik di pusat koordinat kartesius.



Empat buah muatan titik ($q_1=-3q_2=4q_3=q_4=12e$) diletakkan pada titik sudut persegi panjang, dengan panjang a dan lebar b . Tentukanlah Medan listrik pada titik P .

3. Dua buah muatan listrik $q_1=2e$ dan $q_2=-4e$ diletakkan sejauh d meter satu sama lain. Dimanakah posisi yang medan listriknya sama dengan nol (dihitung terhadap q_1)?



Tiga buah muatan titik ($q_1 = -3q_2 = 4q_3 = 12e$) diletakkan pada titik sudut segitiga sama kaki dengan panjang kaki a . Titik P terletak di tengah-tengah muatan q_1 dan q_3 .
 Tentukanlah Medan listrik di titik P .

5. Sebuah kawat lurus yang panjangnya 4 m terletak pada koordinat kartesius (x,y) , x dan y dalam meter. Kawat tsb dibentangkan dari koordinat $(0,0)$ sampai koordinat $(4,0)$. Jika rapat muatan persatuan panjang yang dimiliki kawat tersebut adalah 8 C/m , tentukanlah medan listrik yang terjadi pada koordinat $(0,4)$.

6. Sebuah kawat lurus yang panjangnya 4 m terletak pada koordinat kartesius (x,y) , x dan y dalam meter. Kawat tsb dibentangkan dari koordinat $(0,0)$ sampai koordinat $(4,0)$. Jika rapat muatan persatuan panjang yang dimiliki kawat tersebut adalah 8 C/m, tentukanlah medan listrik yang terjadi pada koordinat $(1,4)$.

SELESAI

-
- ~ Hubungan Medan Listrik dengan Gaya
 - ~ Dipol Listrik

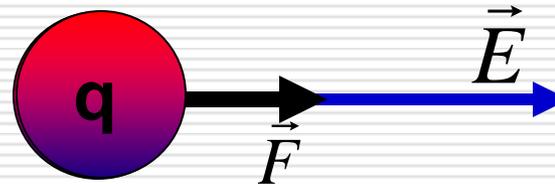
PENGAYAAN

Hubungan Medan Listrik dengan Gaya

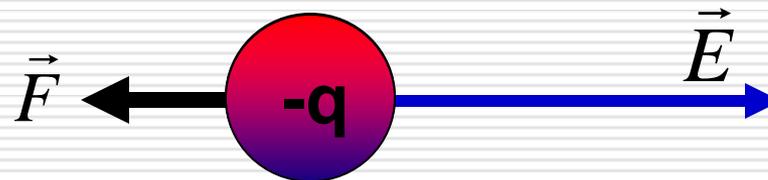
Jika diketahui pada suatu titik tertentu terdapat medan listrik \mathbf{E} maka kita dapat menghitung gaya \mathbf{F} dari muatan q yang ditempatkan pada titik tersebut, yaitu

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

- Jika q positif maka \mathbf{F} searah dengan \mathbf{E}



- Jika q negatif maka \mathbf{F} searah dengan \mathbf{E}



Contoh

Pada titik P bekerja medan listrik sebesar $6,3 \cdot 10^8$ N/C dengan arah ke bawah. Sebuah elektron dengan massa $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg ditempatkan pada titik P. Tentukan berapa dan kemana arah :

- Gaya yang dialami elektron
- Percepatan elektron

Jika pada elektron bekerja pula gaya gravitasi dengan Percepatan gravitasi 10 m/s^2 , tentukan

- Gaya Total yang dialami elektron
- Percepatan Total elektron

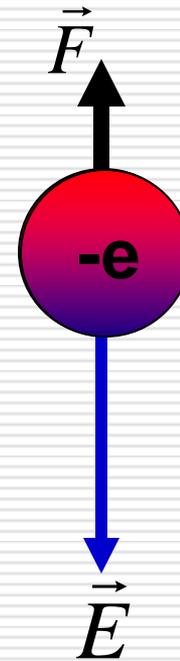
Medan listrik ke bawah, dan elektron bermuatan negatif ($-1,6 \cdot 10^{-19}$ C) maka elektron akan mengalami gaya ke atas.

□ Gaya yang dialami elektron sebesar

$$\begin{aligned} \vec{F} &= q\vec{E} = (1,6 \cdot 10^{-19})(6,3 \cdot 10^8) \\ &= 10,08 \cdot 10^{-11} \text{ N} \end{aligned}$$

□ Percepatan elektron memiliki arah ke atas searah F, dan besarnya

$$a = \frac{F}{m} = \frac{10,08 \cdot 10^{-11}}{9,1 \cdot 10^{-31}} = 1,1 \cdot 10^{20} \text{ m/s}^2$$



Jika pada elektron bekerja pula gaya gravitasi dengan percepatan 10 m/s^2 maka gaya total yang bekerja pada elektron ada 2, yaitu gaya listrik (\vec{F}) dan gaya gravitasi (\vec{F}_g)

Besar gaya gravitasi

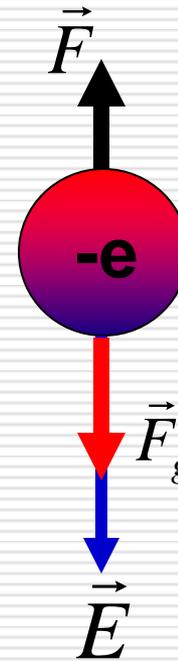
$$F_g = mg = 9,1 \cdot 10^{-30} \text{ N}$$

Gaya Total pada elektron adalah

$$F_{\text{tot}} = 10,08 \cdot 10^{-11} - 9,1 \cdot 10^{-30} = 10,08 \cdot 10^{-11} \text{ N}$$

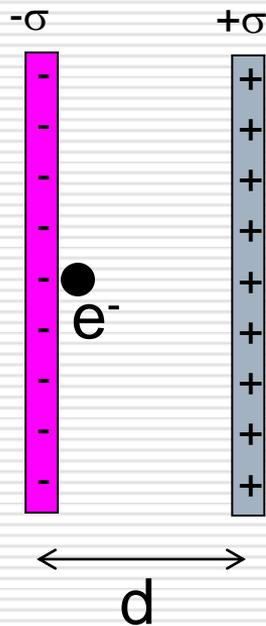
dengan arah ke atas

Percepatan elektron adalah $a = \frac{F_{\text{tot}}}{m} = \frac{10,08 \cdot 10^{-11}}{9,1 \cdot 10^{-31}} = 1,1 \cdot 10^{20} \text{ m/s}^2$



Soal

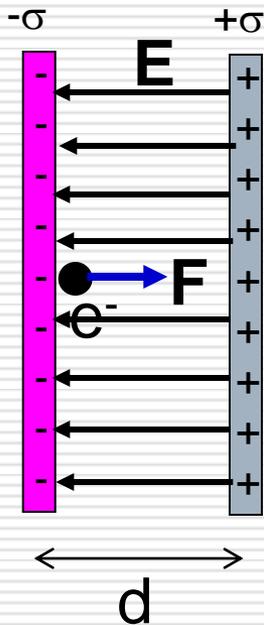
Sebuah elektron dengan massa $9,1 \cdot 10^{-31}$ kg berada di antara dua pelat tipis sangat luas. Muatan masing-masing pelat adalah $+\sigma$ dan $-\sigma$, serta jarak antar pelat 1,5 cm. Posisi awal elektron dekat pelat negatif.



Tentukan :

- Gaya pada elektron
- Kecepatan elektron menumbuk pelat positif

Langkah – langkah penyelesaian :



- Gambarkan garis-garis gaya yang bekerja pada elektron
- Hitung medan listrik di antara dua pelat

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = 2 \cdot 10^4 \text{ N/C}$$

- Hitung gaya yang terjadi pada elektron

$$F = qE = 1,6 \cdot 10^{-19} \times 2 \cdot 10^4 = 3,2 \cdot 10^{-15} \text{ N}$$

dengan arah gaya ke kanan

- Karena arah gaya ke kanan maka elektron dipercepat ke kanan dengan percepatan

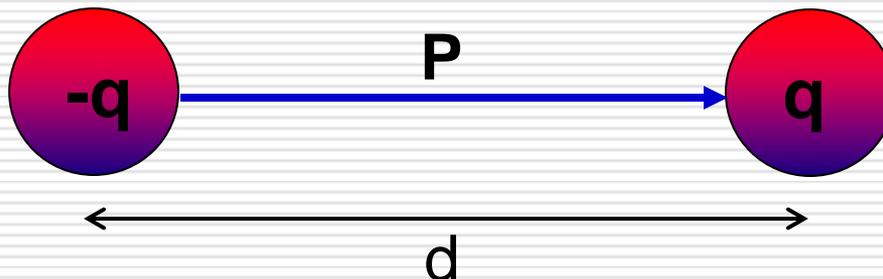
$$a = \frac{F}{m} = \frac{3,2 \cdot 10^{-15}}{9,1 \cdot 10^{-31}} = 3,5 \cdot 10^{15} \text{ m/s}^2$$

- Jarak yang ditempuh elektron tepat sebelum menumbuk pelat positif adalah 1,5 cm.
- Dengan menganggap kecepatan awal elektron adalah nol, maka kecepatan elektron saat menumbuk pelat positif adalah

$$v = \sqrt{2ad} = \sqrt{2 \cdot (3,5 \cdot 10^{15}) (1,5 \cdot 10^{-2})} = 10^7 \text{ m/s}$$

Dipol Listrik

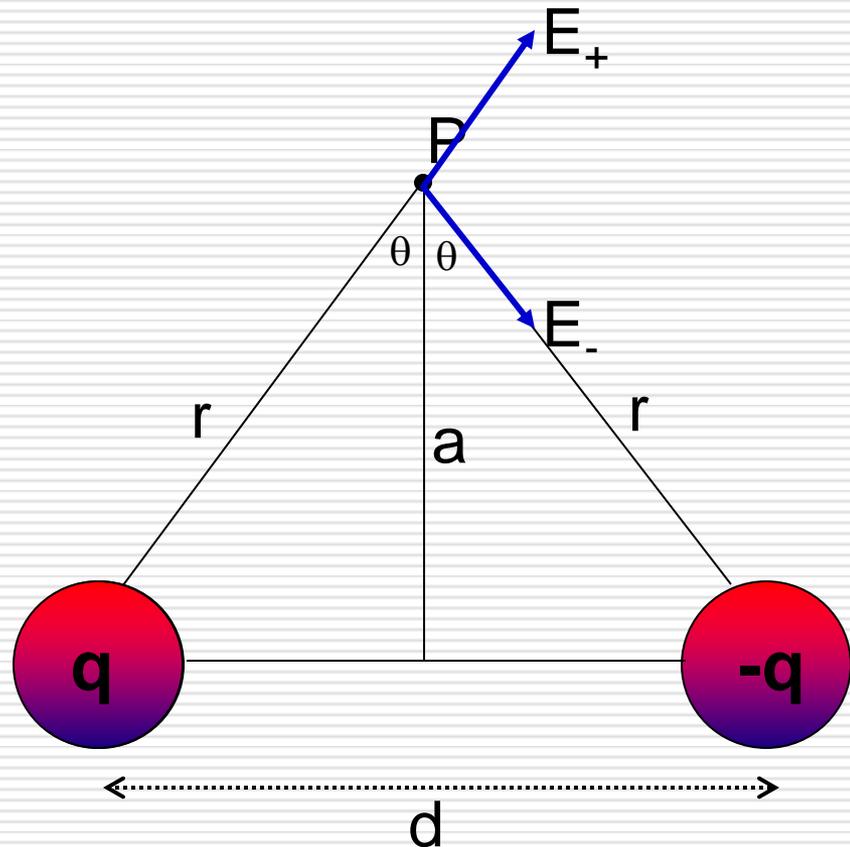
- ❑ Dipol listrik adalah suatu sistem yang terdiri atas dua muatan yang sama besar tetapi berbeda jenis $+q$ dan $-q$ yang terpisah jarak relatif dekat (d)
- ❑ Momen dipol listrik (p) didefinisikan sebagai kuantitas besaran qd
- ❑ Besaran Momen dipol listrik (**P**) adalah vektor
- ❑ Momen dipol listrik **P** memiliki besar qd dan arah dari muatan negatif ke muatan positif



Contoh sistem dipol listrik adalah molekul diatomik CO (dengan C memiliki muatan kecil positif dan O memiliki Muatan kecil negatif)

Perhatikan gambar di samping.

Misalnya dua muatan masing-masing $-q$ dan $+q$ terpisah sejauh d .



Komponen medan listrik arah sumbu vertikal (sumbu y) saling meniadakan.

Besar medan listrik akibat +q dan besar medan listrik akibat -q adalah sama besar, yaitu

$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{\left((d/2)^2 + a^2\right)}.$$

Komponen medan listrik akibat +q arah sumbu horisontal (sumbu x) sama dengan komponen medan listrik akibat -q arah sumbu x, yaitu

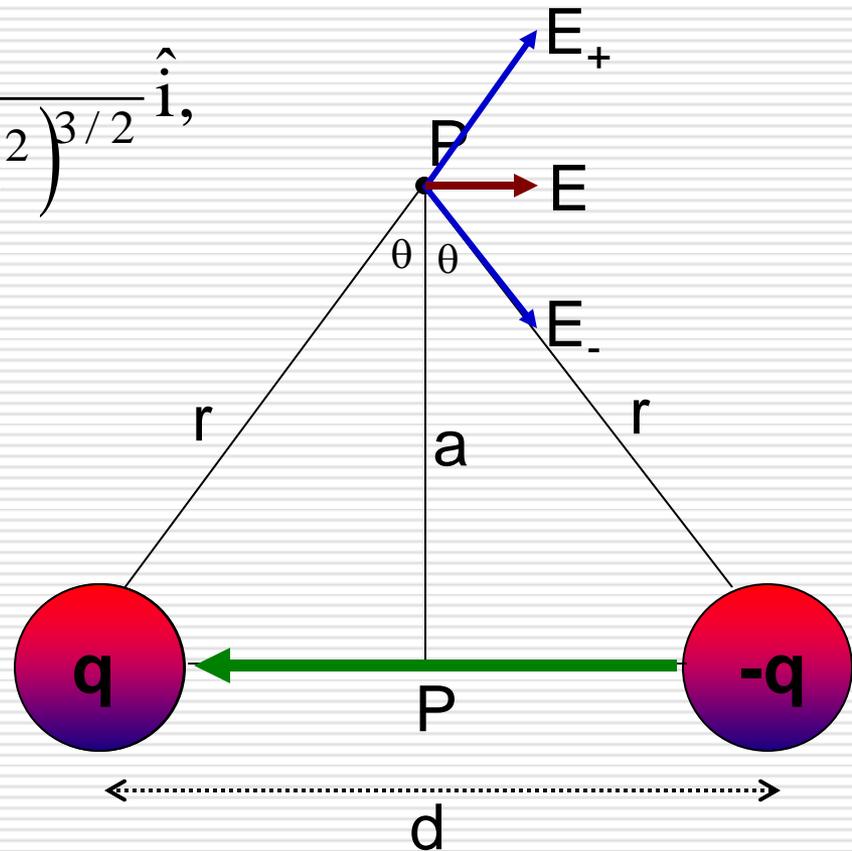
$$E_x = E_+ \sin \theta = E_- \sin \theta = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qd/2}{\left((d/2)^2 + a^2\right)^{3/2}}.$$

Medan listrik total di P adalah

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{p}{\left(\left(\frac{d}{2}\right)^2 + a^2\right)^{3/2}} \hat{i},$$

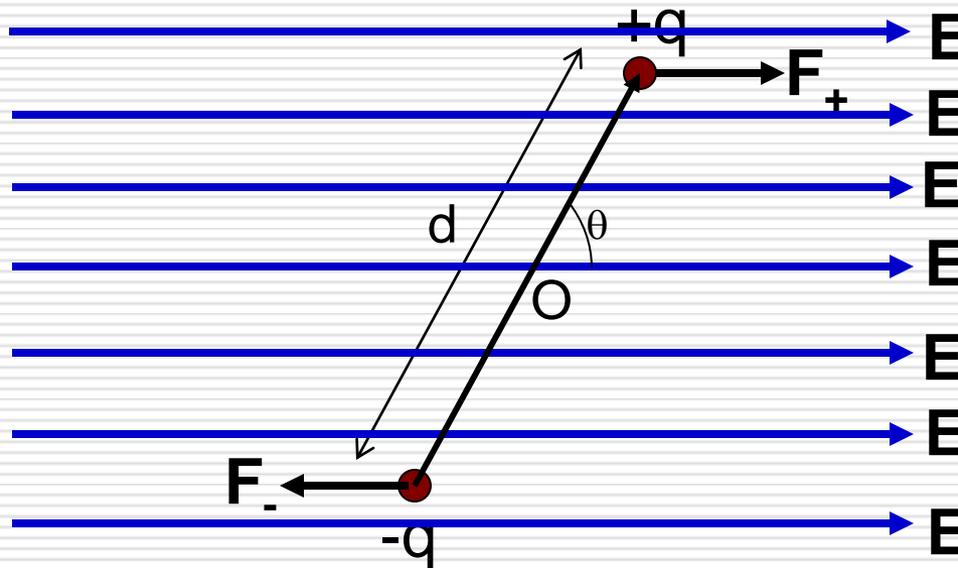
dengan $p=qd$ adalah momen dipol listrik

Arah momen dipol listrik adalah dari $-q$ ke q atau ke kiri



Hubungan momen dipol dengan momen gaya

- Hal paling menarik pada dipol listrik adalah adanya momen gaya di antara kedua muatan yang berbeda itu.
- Misalnya suatu dipol listrik ditempatkan dalam pengaruh medan listrik \mathbf{E}



Hubungan momen dipol dengan momen gaya

Besar Momen gaya total terhadap titik pusat O adalah

$$\tau = qE \frac{d}{2} \sin \theta + qE \frac{d}{2} \sin \theta = pE \sin \theta$$

Momen gaya total terhadap titik pusat O dalam bentuk vektor adalah

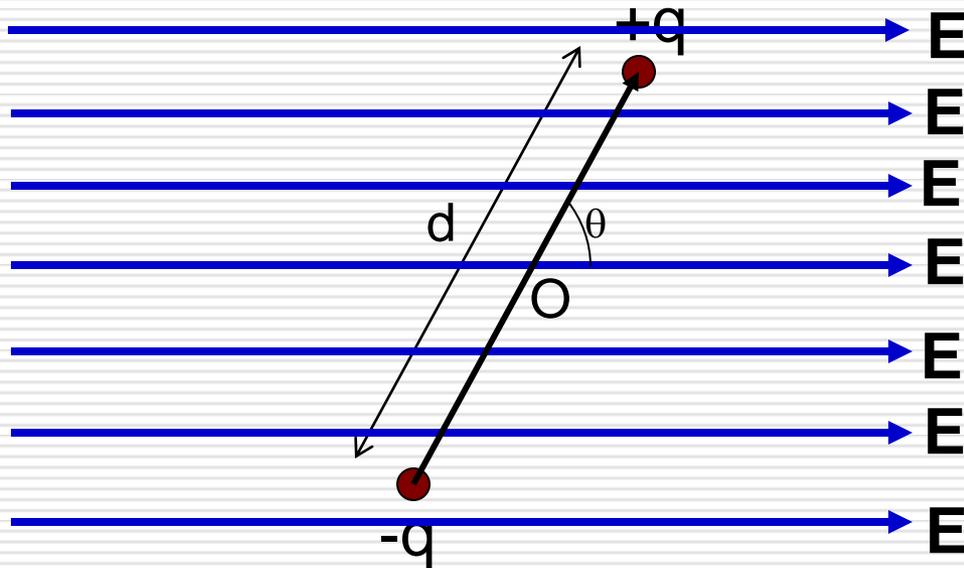
$$\vec{\tau} = \vec{p} \times \vec{E}.$$

Usaha yang dilakukan medan listrik pada dipol listrik untuk mengubah sudut dari θ_1 ke θ_2 adalah

$$W = \int_{\theta_1}^{\theta_2} \tau d\theta = pE \int_{\theta_1}^{\theta_2} \sin \theta d\theta = pE (\cos \theta_1 - \cos \theta_2)$$

Contoh

Suatu dipol listrik, salah satu muatannya bermuatan 2 nC. Jarak antar muatan adalah 2 cm. Dipol tersebut diletakkan dalam pengaruh medan listrik 4 N/C (lihat gambar). Sudut antara garis penghubung kedua muatan dengan arah medan listrik adalah 30° .



Tentukan :

- Momen dipol listrik yang terjadi
- Momen gaya yang terjadi

- Momen dipol listrik yang terjadi adalah

$$P=qd=2 \cdot 10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-2}=4 \cdot 10^{-11} \text{ Cm}$$

dengan arah dari muatan $-q$ ke muatan $+q$

- Momen gaya yang terjadi pada dipol tersebut adalah

$$\tau = qE \frac{d}{2} \sin \theta + qE \frac{d}{2} \sin \theta = pE \sin \theta$$

$$= 4 \cdot 10^{-11} \cdot 4 \cdot \sin 30 = 8 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}$$