

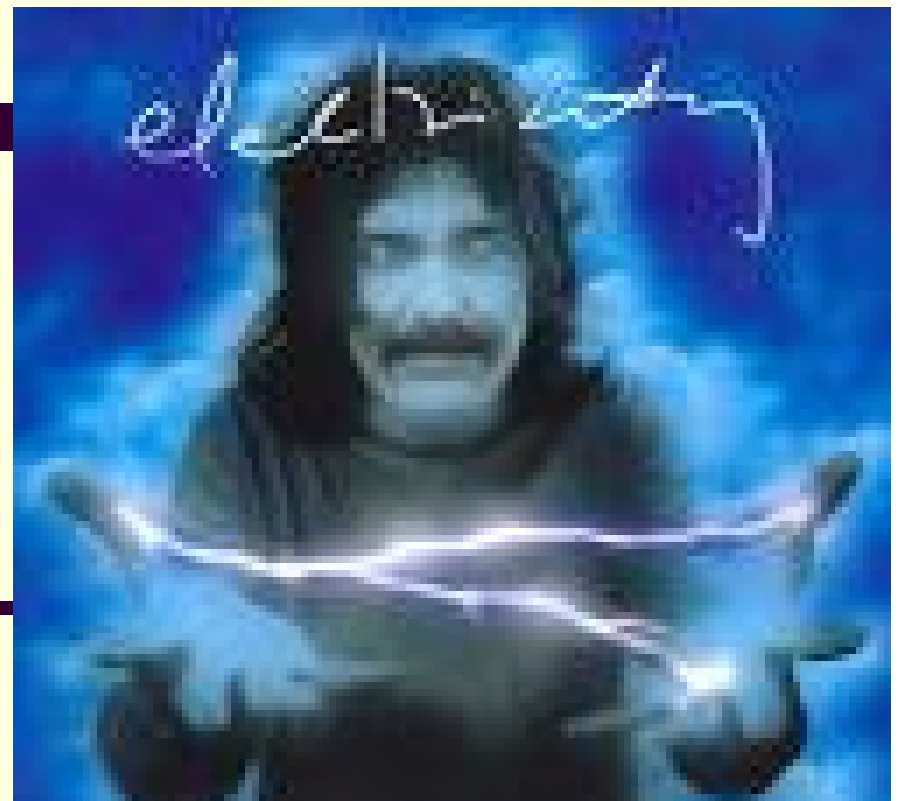


MEDAN LISTRIK

Oleh :
Sabar Nurohman, M.Pd



Ke Menu Utama



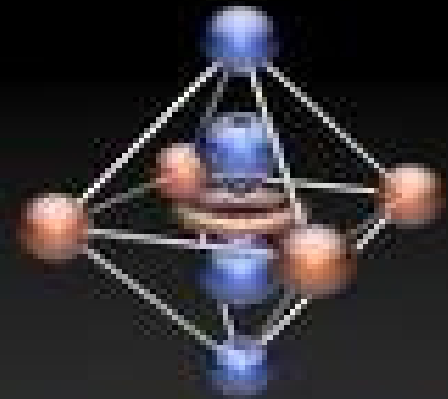
Perhatikan Video Berikut:



Mengapa itu bisa terjadi?



Muatan Listrik



Penjelasan seputar atom :

- Diameter inti atom : 10^{-12} cm
- Massa proton=massa netron : $1,67 \cdot 10^{-27}$ kg
- Massa elektron : $9,11 \cdot 10^{-31}$ kg
- Muatan elektron : $1,6029 \cdot 10^{-19}$ coulomb



Konduktor dan Isolator

Logam merupakan konduktor; dapat menghantarkan muatan atau meneruskan muatan.

Karet, plastik, kaca merupakan isolator; tidak dapat menghantarkan atau meneruskan muatan.

Robert A Milikan (1869-1953) dengan eksperimen tetes minyak Milikan, teramati muatan listrik hanya mungkin mempunyai harga bilangan bulat dikalikan suatu muatan elementer e .

Kenyataan ini dikenal sebagai kuantisasi muatan partikel dasar yang bermuatan $e =$ Elektron.



Hukum Coulomb



$$F_e = K_e \frac{+q_1 q_2}{r^2} \hat{r}$$



Hukum Coulomb

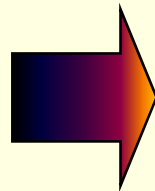
Gaya interaksi antara dua benda titik bermuatan listrik **sebanding** dengan muatan masing-masing dan **berbanding terbalik** dengan kuadrat jarak antara kedua muatan.

Gaya interaksi tarik-menarik bila berlawanan tanda (muatan) dan tolak-menolak jika memiliki tanda (muatan) yang sama.



Neraca Puntir

$$F \propto \frac{q_1 q_2}{r^2}$$



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



1

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \frac{1}{4\pi \cdot 8,854 \cdot 10^{-12}} \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$

$$k = 8,988 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2 = 9 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$$



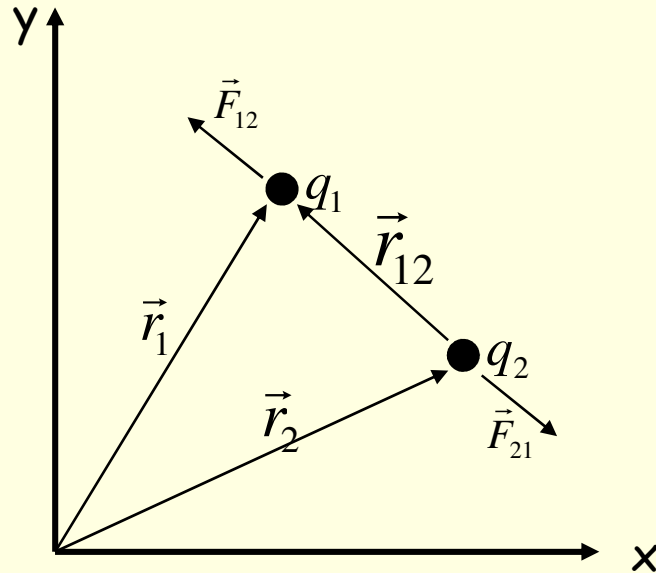
2

Dalam kajian elektrostatik, kita akan berurusan dengan muatan pada orde *micro* atau bahkan *nano coulomb*. Anda bayangkan, seandainya saja ada dua buah muatan sebesar 1 C terpisah sejauh 1 m, maka akan menyebabkan munculnya gaya coulomb sebesar 9×10^9 N (kira-kira sejuta ton)

Anda juga perlu tahu, untuk memperoleh muatan sebesar 1 C, kita kira-kira membutuhkan elektron sejumlah 6×10^{18} . (ingat 1 e hanya bermuatan $1,602 \times 10^{-19}$)



Gaya Coulomb



Selisih vektor posisi q_1 terhadap q_2 adalah r_{12} .

Maka arah vektor gayanya adalah :

ϵ_0 = Permittivitas Ruang Hampa

$1/4\pi\epsilon_0 = 8,9874 \cdot 10^9 = 9 \cdot 10^9 \text{ NM}^2/\text{C}^2$

$$\hat{r}_{12} = \frac{\vec{r}_{12}}{|\vec{r}_{12}|} = \frac{\vec{r}_{12}}{r_{12}}$$

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^2} \hat{r}_{12}$$

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}^3} \vec{r}_{12}$$

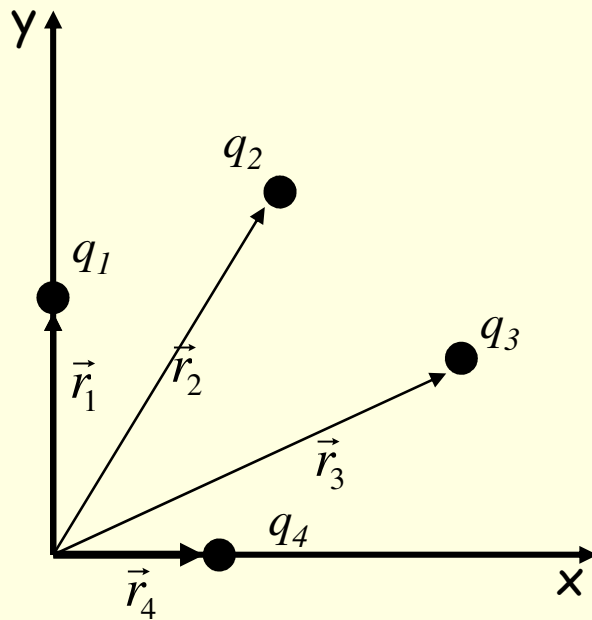


Contoh :

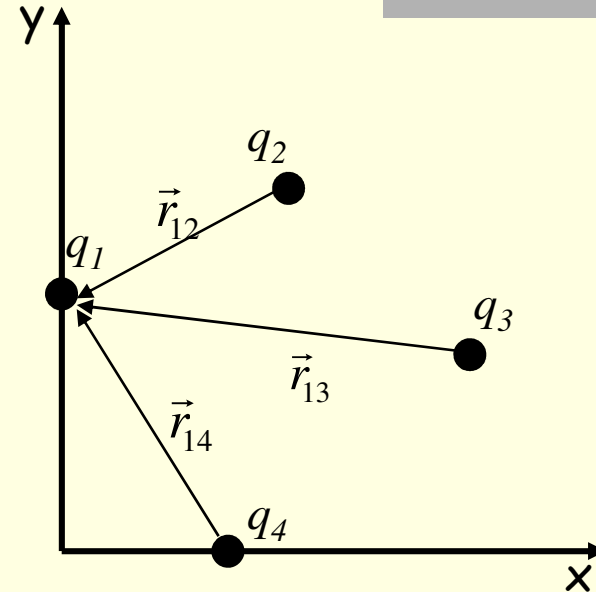
Muatan $q_1 = 10^{-3} \text{ C}$ pada koordinat $(0,3)$ dan $q_2 = 5 \cdot 10^{-3} \text{ C}$ pada koordinat $(4,0)$. Posisi dalam meter, cari gaya coulomb pada muatan q_1 dan q_2 !



Gaya Coulomb Oleh Beberapa Muatan



Vektor posisi q_1, q_2, q_3
dan q_4



Selisih vektor posisi q_1
terhadap q_2, q_3 dan q_4

Resultan gaya yang dialami q_1 oleh q_2, q_3 dan q_4 adalah :

$$F_1 = F_{12} + F_{13} + F_{14}$$



Contoh :

Muatan $q_1 = 1 \mu\text{C}$ pada koordinat $(0,3)$, $q_2 = -2 \mu\text{C}$ pada koordinat $(1,4)$ dan $q_3 = 2 \mu\text{C}$ pada koordinat $(4,0)$. Hitung gaya coulomb yang dialami muatan q_1 !



Medan Listrik

Medan adalah suatu besaran yang mempunyai harga pada titik dalam ruang.

Gaya coulomb di sekitar suatu muatan listrik juga membentuk medan yaitu medan gaya listrik atau medan listrik.

Kuat medan listrik adalah vektor gaya coulomb yang bekerja pada satu satuan muatan yang diletakan pada suatu titik dalam medan listrik tersebut.

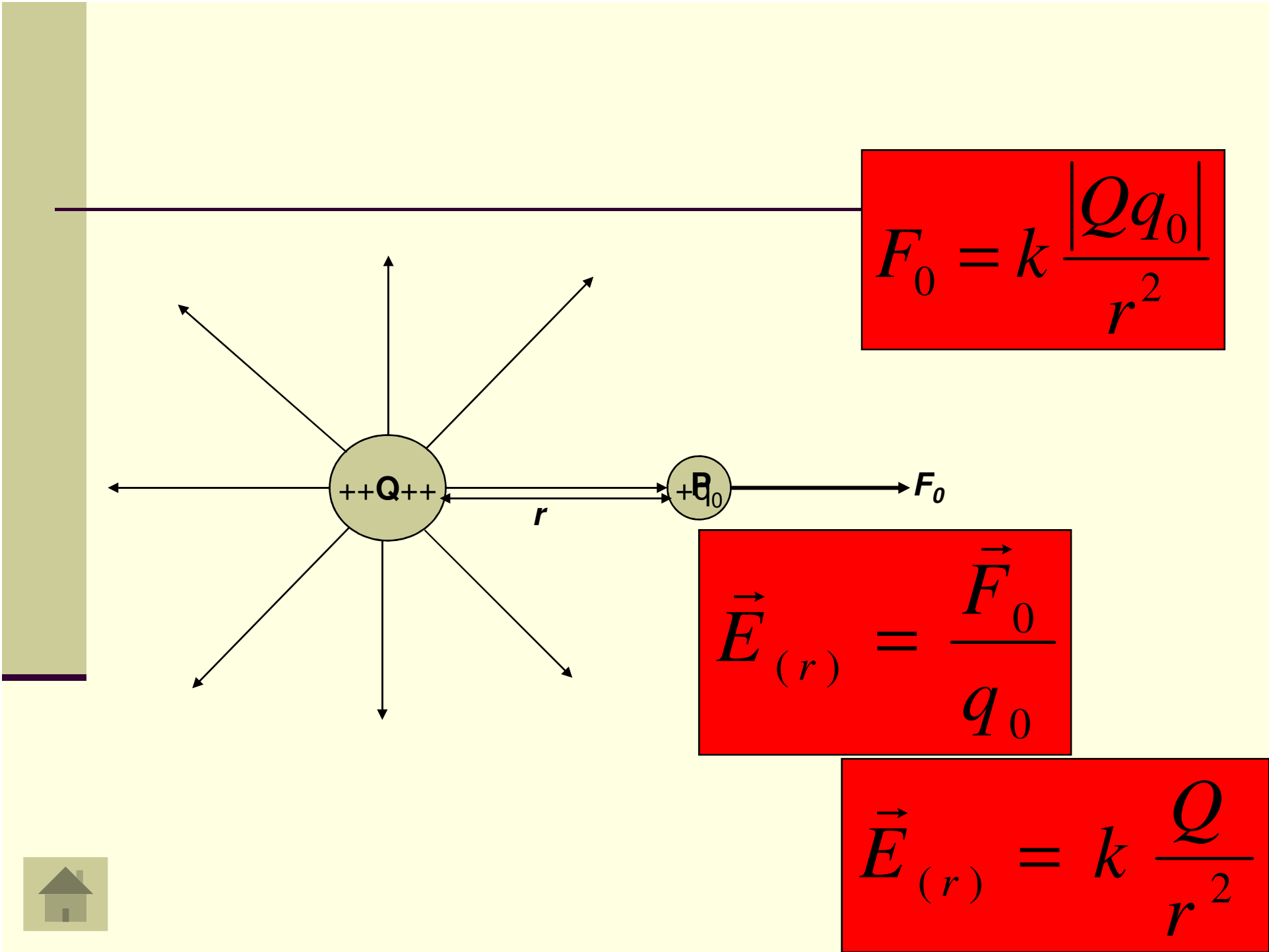
Jadi :----->

$$\vec{E}_{(r)} = \frac{\vec{F}(\vec{r}, q)}{q}$$
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_0}{q_0} \text{-----} > \vec{F}_0 = q_0 \vec{E}$$

Bila muatan berupa muatan titik :

$$\vec{E}_{(r)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$



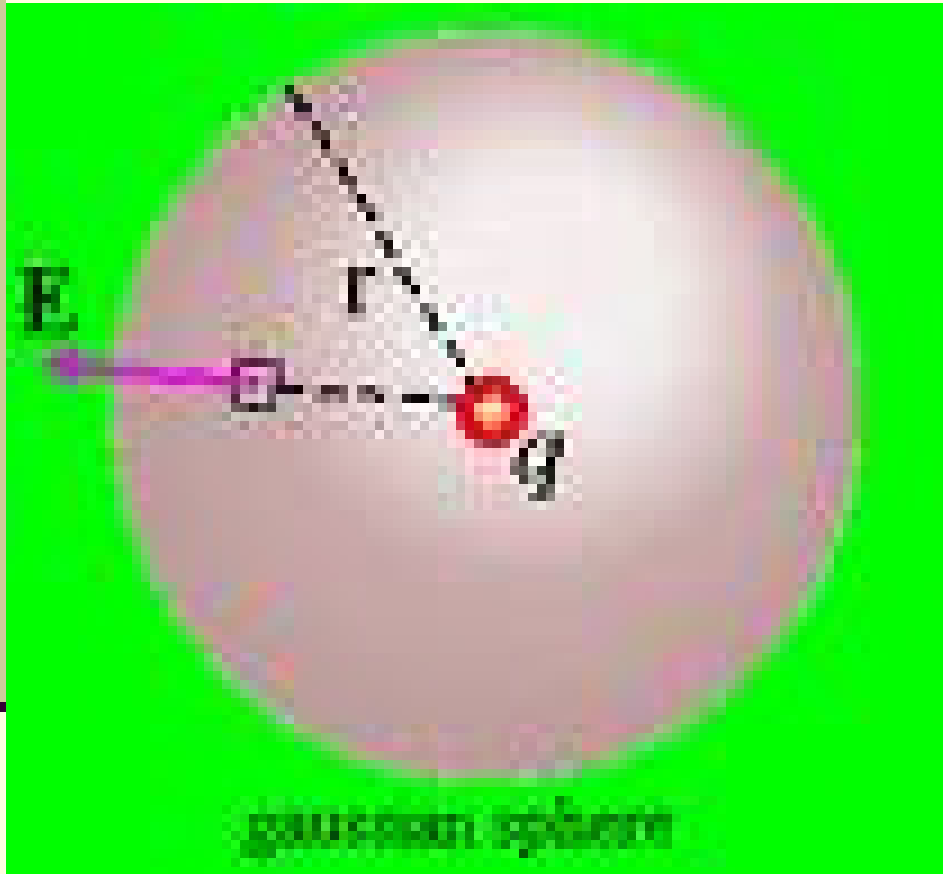


$$F_0 = k \frac{|Qq_0|}{r^2}$$

$$\vec{E}_{(r)} = \frac{\vec{F}_0}{q_0}$$

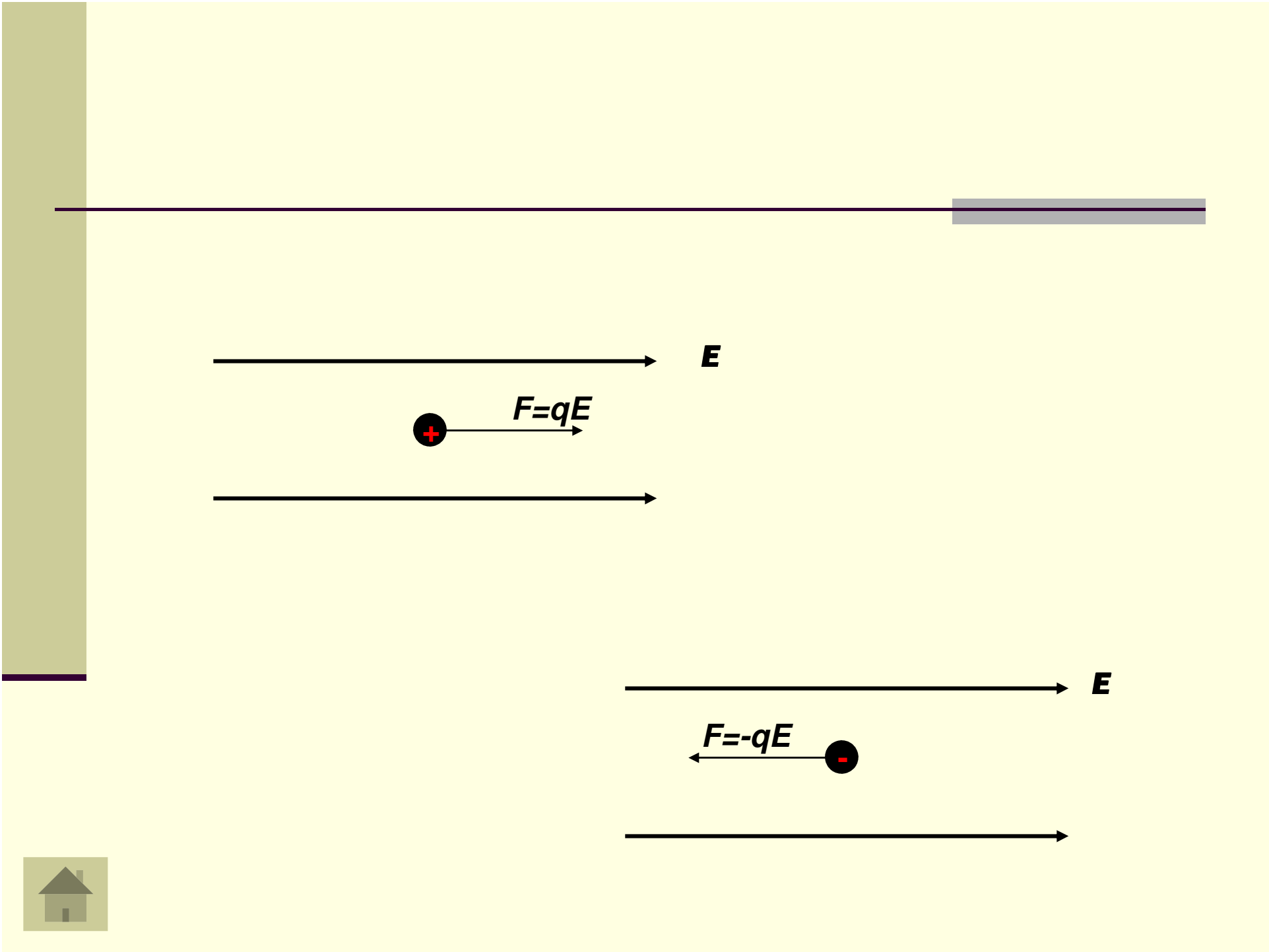
$$\vec{E}_{(r)} = k \frac{Q}{r^2}$$



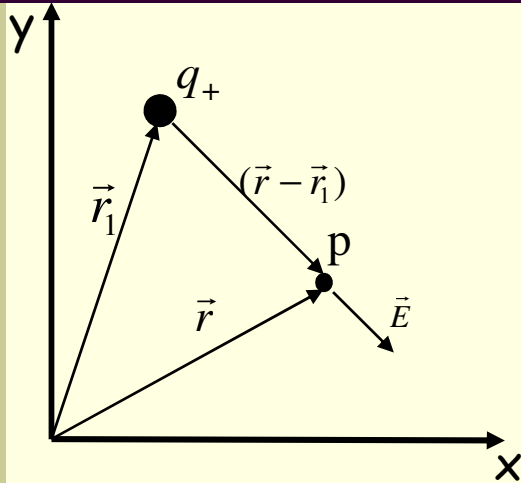


$$\vec{E}_{(r)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$





Medan listrik di titik p, yang diakibatkan oleh muatan q.



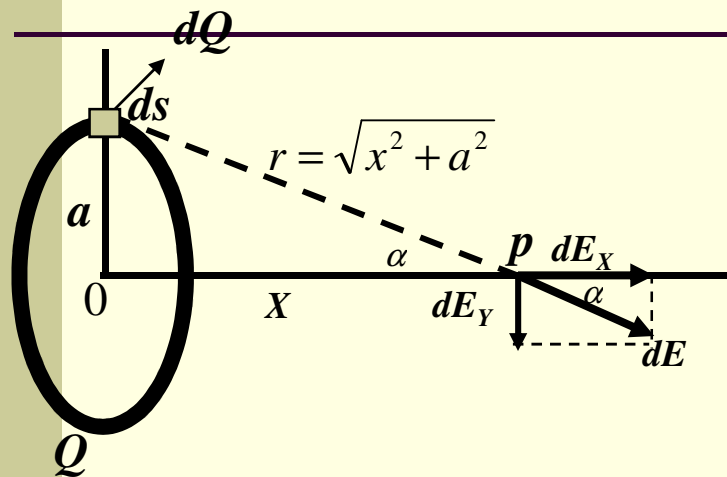
$$\vec{E}_p = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{|\vec{r} - \vec{r}_1|^2} \frac{(\vec{r} - \vec{r}_1)}{|\vec{r} - \vec{r}_1|}$$
$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{|\vec{r} - \vec{r}_1|^3} (\vec{r} - \vec{r}_1)$$

Contoh :

Diketahui 2 buah muatan $q_1 = 10 \mu\text{C}$ pada koordinat $(2, 4)\text{cm}$ dan $q_2 = 5 \mu\text{C}$ pada koordinat $(-5, 10)\text{cm}$. Suatu titik P berada pada posisi $(10, -2)\text{cm}$. Tentukan kuat medan listrik di titik P akibat 2 buah muatan di atas !



Medan sebuah cincin bermuatan



Sebuah konduktor berbentuk cincin dengan jari-jari a mengangkut muatan total Q yang terdistribusi homogen di sekelilingnya.

Carilah medan listrik di sebuah titik P yang terletak pada sumbu cincin itu sejauh x dari pusatnya !



Penyelesaian :

Diambil satu segmen cincin ds yang di dalamnya mengandung muatan sejumlah dQ sehingga akan mengakibatkan medan listrik di titik P sebesar dE .

Ingat persamaan umum E :

$$\vec{E}_{(r)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

Untuk kasus di atas, maka :

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dQ}{x^2 + a^2}$$



Komponen $d\vec{E}$ terdiri dari dE_x dan dE_y ; dalam kasus ini dapat dilihat bahwa komponen y akan saling berlawanan dari masing-masing segmen ds, sedangkan komponen x berada pada arah yang sama sehingga akan saling menjumlahkan. Maka dari itu, \vec{E} untuk kasus ini hanya memiliki satu komponen E_x

$dE_y = 0$, karena saling menghilangkan, Jelaskan!!

$$dE_x = dE \cos \alpha = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dQ}{x^2 + a^2} \frac{x}{\sqrt{x^2 + a^2}}$$
$$= \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{x dQ}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$

Sehingga :

$$E_x = \int \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{x dQ}{(x^2 + a^2)^{3/2}}$$
$$\vec{E} = E_x \hat{i} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qx}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \hat{i}$$

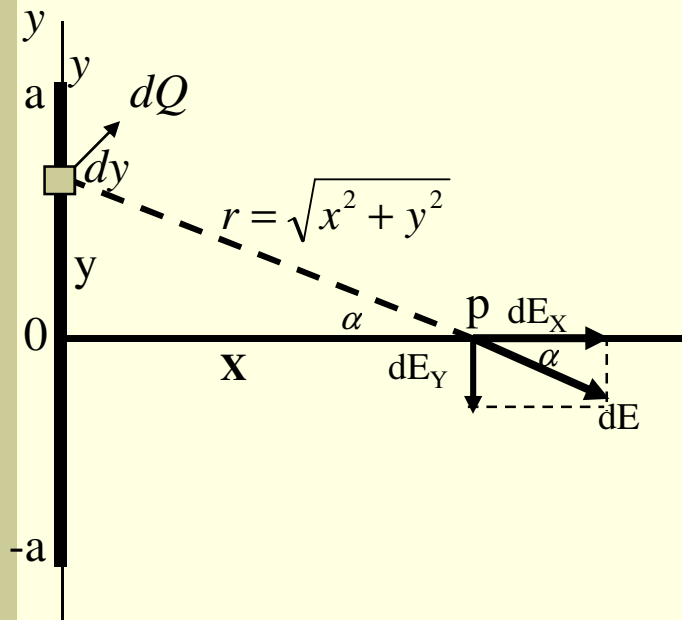
Untuk x yang sangat jauh ($x \gg a$), maka :

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{x^2} \hat{i}$$



Jadi untuk x yang sangat jauh, besarnya E mengikuti persamaan umum medan listrik akibat suatu muatan q.

Medan sebuah garis bermuatan



Muatan listrik positif Q didistribusikan merata sepanjang sebuah garis yang panjangnya $2a$ yang terletak sepanjang sumbu y diantara $y = -a$ dan $y = +a$.

Carilah medan listrik di sebuah titik P yang terletak pada sumbu x sejauh x dari titik asalnya!



Penyelesaian :

Diambil satu segmen garis dy yang di dalamnya mengandung muatan sejumlah dQ sehingga akan mengakibatkan medan listrik di titik P sebesar dE .

Ingat persamaan umum E :

$$\vec{E}_{(r)} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2} \hat{r}$$

Untuk kasus di atas, maka :

$$dE = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{dQ}{x^2 + y^2}$$



Komponen $d\vec{E}$ terdiri dari dE_x dan dE_y ; dalam kasus ini dapat dilihat bahwa komponen y akan saling berlawanan dari masing-masing segmen dy , sedangkan komponen x berada pada arah yang sama sehingga akan saling menjumlahkan. Maka dari itu, \vec{E} untuk kasus ini hanya memiliki satu komponen E_x

Kerapatan muatan $\lambda = Q / 2a$

$$dQ = \lambda dy = \frac{Q dy}{2a}$$

$$dE = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{dy}{2a(x^2 + y^2)}$$

$$dE_x = dE \cos \alpha = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{xdy}{2a(x^2 + y^2)^{3/2}}$$

$$E_x = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Qx}{2a} \int_{-a}^a \frac{dy}{(x^2 + y^2)^{3/2}}$$

$$= \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{x\sqrt{x^2 + a^2}}$$

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \frac{1}{x\sqrt{x^2 + a^2}} \hat{i}$$

Untuk x yang sangat jauh ($x \gg y$), maka :

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{x^2} \hat{i}$$

Jadi untuk x yang sangat jauh, besarnya E mengikuti persamaan umum medan listrik akibat suatu muatan q .

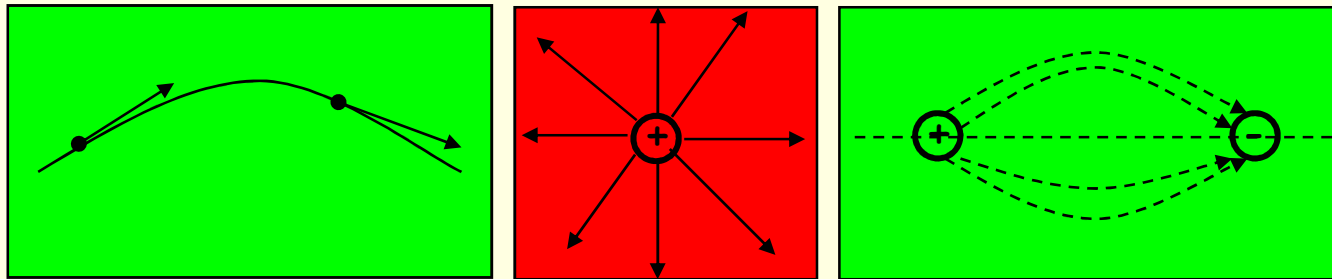
Coba cari medan pada kasus tersebut apabila panjang kawat tak terhingga !!!



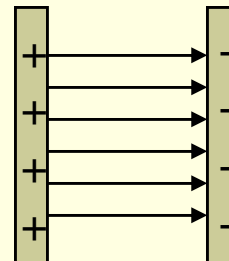
Garis Gaya

Di sekitar muatan listrik, baik muatan positif maupun negatif timbul garis gaya.

Kuat medan listrik pada suatu titik menyinggung garis gaya. Di tempat yang bermedan kuat garis gaya dilukiskan rapat. Bila medan lemah garis gaya dilukiskan renggang.

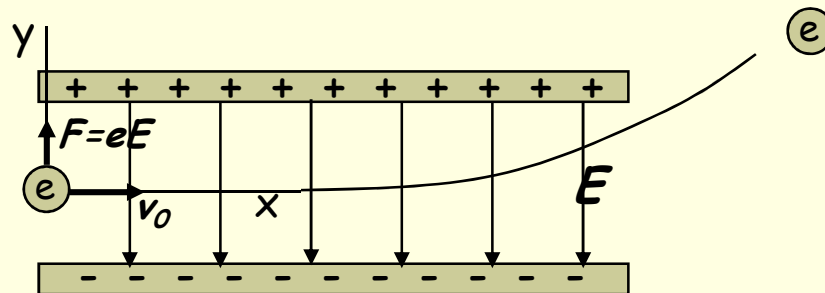


1. Arah medan menyinggung garis gaya listrik
2. Arah garis gaya keluar dari muatan positif
3. Arah garis gaya masuk ke muatan negatif
4. Kuat medan dinyatakan oleh rapat garis gaya



Lintasan elektron di sekitar medan listrik

Jika kita meluncurkan sebuah elektron ke dalam medan listrik dengan kecepatan horizontal awal v_0 , bagaimanakah persamaan lintasannya?



Elektron diluncurkan di antara dua plat sejajar yang bermuatan sehingga menghasilkan medan listrik ke arah bawah (plat bermuatan negatif). Karena medan ke arah bawah, maka gaya pada elektron (yang bermuatan negatif) itu adalah ke arah atas. Dengan demikian percepatan ke arah sumbu $x=0$ dan percepatan ke arah sumbu y adalah $(e) E/m$. Ingat bahwa $F=ma$, jadi $a=F/m=(e)E/m$.

Jika pada $t=0$, $x_0=y_0=0$, $v_{0x}=v_0$ dan $v_{0y}=0$, maka pada waktu t :



Jika pada $t=0$, $x_0 = y_0 = 0$, $v_{0x} = v_0$ dan $v_{0y}=0$, maka pada waktu t :

$$\rightarrow x = v_0 t \text{ dan } y = \frac{1}{2} a_y t^2 = \frac{1}{2} \frac{eE}{m} t^2$$

Dengan mengeliminasi t di antara persamaan - persamaan ini, kita dapati :

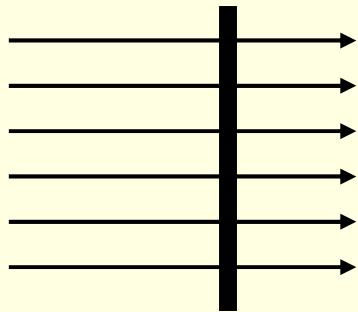
$$y = \frac{1}{2} \frac{eE}{m v_0^2} x^2$$



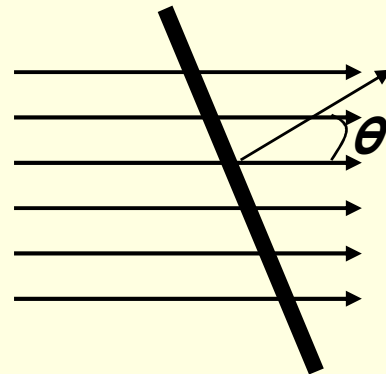
Fluks Listrik

Jumlah garis gaya $d\Phi$ yang menembus suatu elemen seluas dA tegak lurus E adalah :

$$d\Phi = E \cdot dA$$



$$d\Phi = E \cdot dA$$



$$d\Phi = E \cdot dA \cdot \cos\theta$$

