

Medan Listrik

Fisika Dasar II
TIP, TP, UGM 2009
Ikhsan Setiawan, M.Si.

ikhsan_s@ugm.ac.id

<http://setiawan.synthasite.com>



Eyes
matter
here

The
BLACK
HOLE

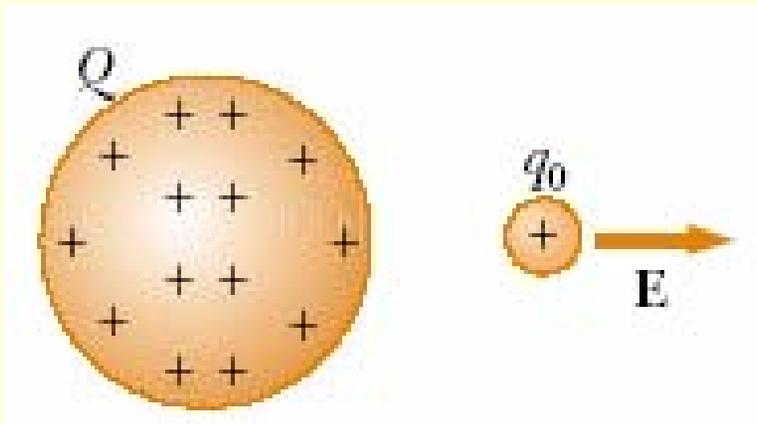
EMV

Outline

- Medan listrik
- Medan listrik dari distribusi muatan kontinyu
- Garis-garis medan listrik
- Gerak partikel bermuatan di dalam medan listrik homogen

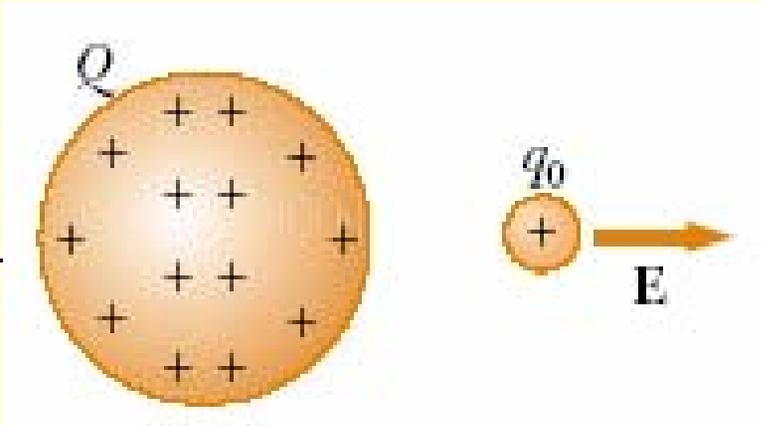
Medan Listrik

- Konsep medan listrik dikembangkan oleh Michael Faraday (1791 – 1867) dalam hubungannya dengan gaya listrik (gaya Coulomb).
- Medan listrik (\mathbf{E}) dikatakan hadir di dalam ruang di sekitar muatan listrik (“muatan sumber”).
- Jika muatan lain (“muatan uji”) berada di dalam medan listrik tersebut, maka suatu gaya listrik bekerja padanya.
- Ilustrasi: Muatan uji q_0 berada di dekat muatan sumber Q :



Definisi medan listrik

Medan Listrik (lanjutan)



- Medan listrik \mathbf{E} di suatu titik di dalam ruang didefinisikan sebagai gaya listrik \mathbf{F}_e pada suatu muatan uji q_0 yang berada di titik tersebut dibagi besar muatan uji tersebut. (Medan listrik \equiv gaya listrik per satuan muatan.)
- Dituliskan:

$$\mathbf{E} \equiv \frac{\mathbf{F}_e}{q_0}$$

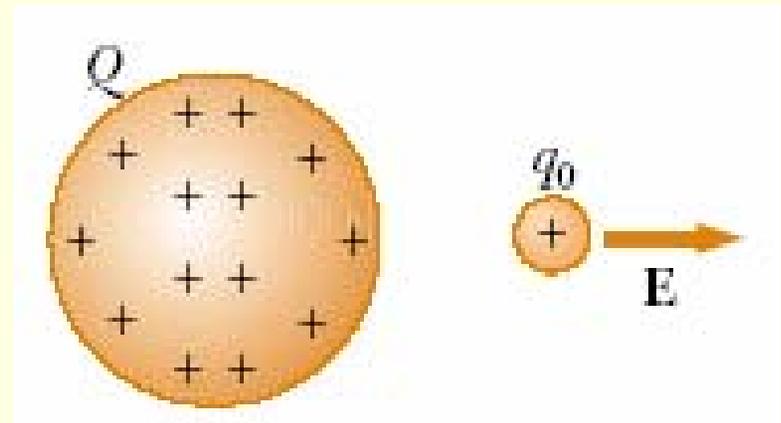
- Pada ilustrasi di atas, medan listrik \mathbf{E} di sini adalah milik muatan Q (muatan sumber)

Medan Listrik (lanjutan)

- Jadi, suatu muatan q yang berada di dalam medan listrik \mathbf{E} akan merasakan gaya listrik:

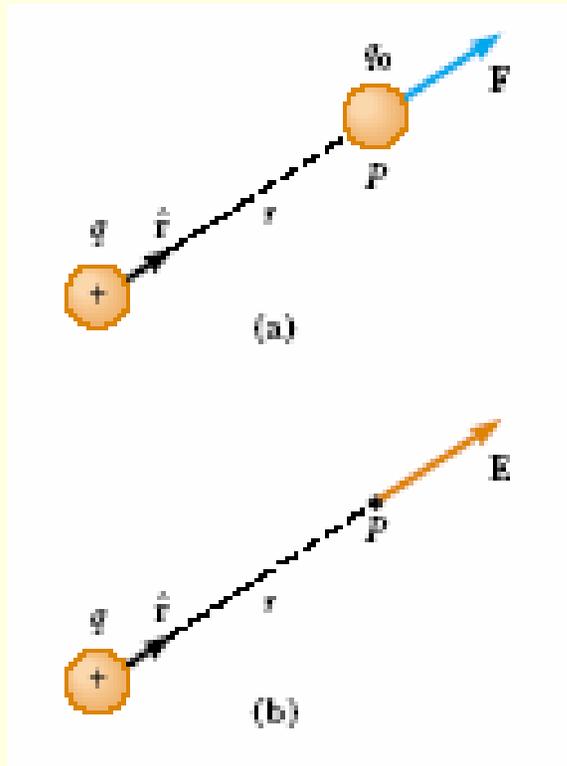
$$\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$$

- Jika q positif, maka arah gaya sama dengan arah medan
- Jika q negatif, maka arah gaya berlawanan dengan arah medan.
- Arah medan listrik didefinisikan oleh arah gaya yang dialami oleh muatan uji positif, seperti pada gambar:
(Muatan uji haruslah sangat kecil. Mengapa?)
- Satuan medan listrik:
newton / coulomb (N/C)

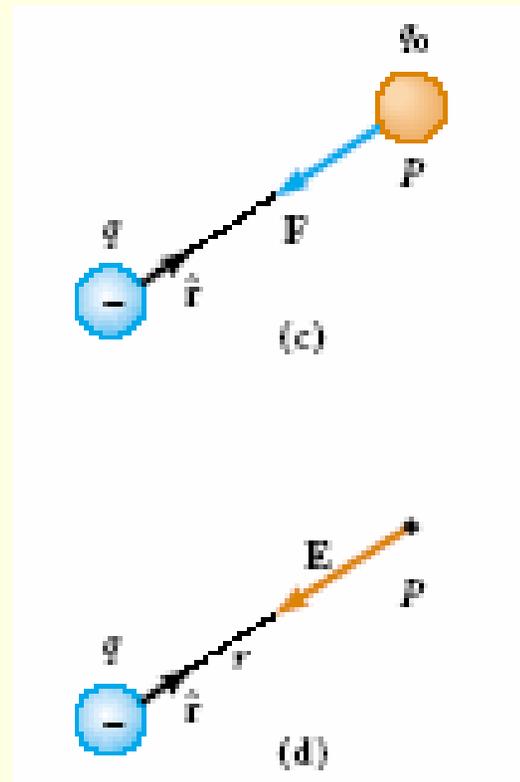


Medan Listrik (lanjutan)

- Di sekitar muatan positif, arah medan listrik menjauhi muatan positif tersebut.



- Di sekitar muatan negatif, arah medan listrik menuju muatan negatif tersebut



Medan Listrik (lanjutan)

- Menurut hukum Coulomb, gaya yang dikerahkan oleh muatan q pada muatan uji q_0 adalah

$$\mathbf{F}_e = k_e \frac{q q_0}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

dengan $\hat{\mathbf{r}}$ adalah vektor satuan dari q ke q_0 .

- Medan listrik dari muatan q , di tempat q_0 berada, adalah

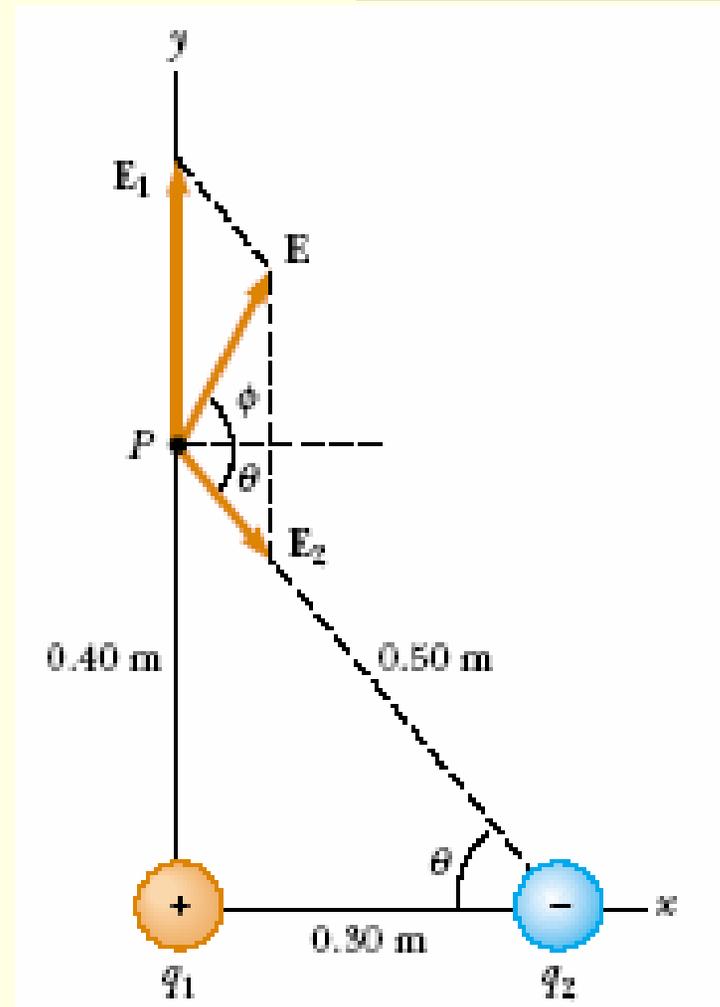
$$\mathbf{E} = \mathbf{F}_e / q_0 \Rightarrow \mathbf{E} = k_e \frac{q}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

- Jika terdapat banyak muatan sumber, maka medan listrik total di suatu titik adalah jumlahan vektor medan listrik di titik tersebut dari masing-masing muatan (prinsip superposisi):

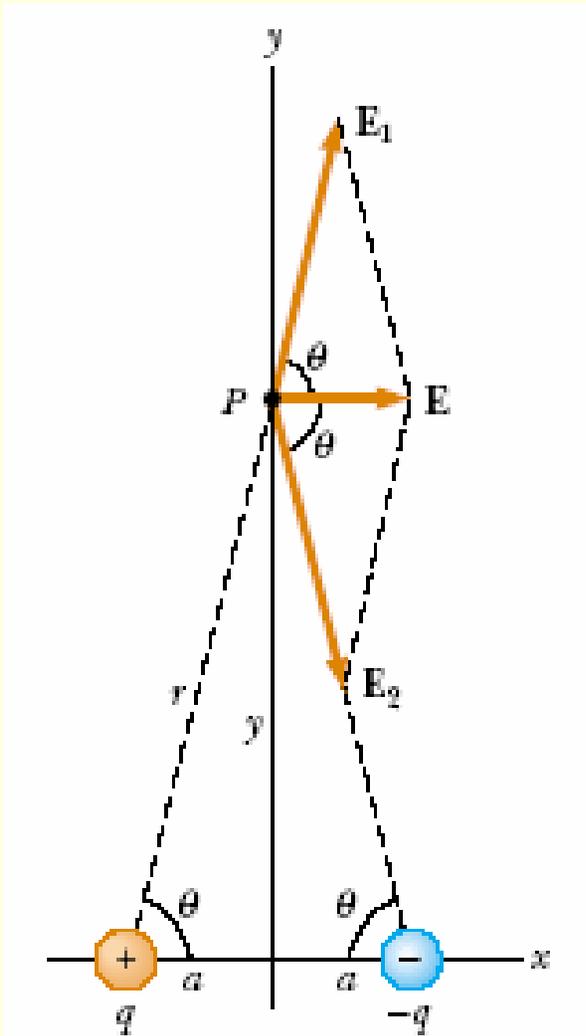
$$\mathbf{E} = \mathbf{E}_1 + \mathbf{E}_2 + \mathbf{E}_3 + \dots \quad \mathbf{E} = k_e \sum_i \frac{q_i}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i$$

Contoh 1

Sebuah muatan $q_1 = 7,0 \mu\text{C}$ terletak di titik asal sistem koordinat, dan muatan lain $q_2 = -5,0 \mu\text{C}$ terletak di sumbu x sejauh $0,30 \text{ m}$ dari titik asal. Tentukan vektor medan listrik di titik $P(0; 0,40) \text{ m}$



Contoh 2

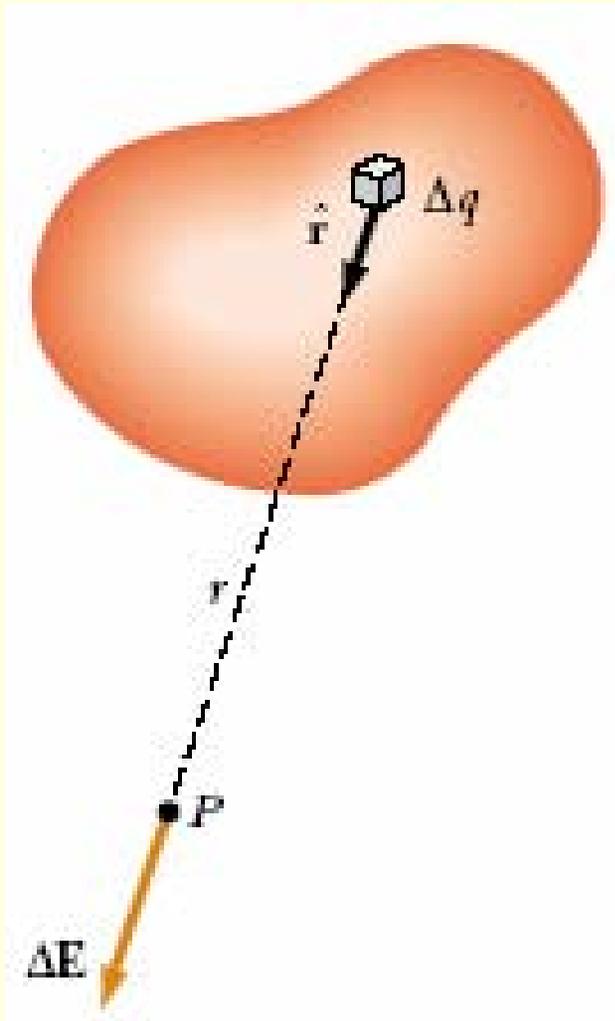


Dipol Listrik. Sebuah dipol listrik didefinisikan sebagai dua buah muatan yang sama besar tetapi berbeda jenis, terpisah oleh jarak yang kecil. Seperti sepasang muatan $+q$ dan $-q$ yang terpisah oleh jarak $2a$.

(a) Untuk dipol seperti pada gambar di samping, tentukan \mathbf{E} di titik P .

(b) Tentukan pula \mathbf{E} untuk titik P yang cukup jauh ($y \gg$).

Medan Listrik dari Distribusi Muatan Kontinyu



- Seringkali terjadi bahwa, dalam sekelompok muatan, jarak antar muatan sangat berdekatan dibandingkan dengan jaraknya ke titik yang di tinjau (titik medan), sehingga sistem muatan tersebut dapat dipandang sebagai sistem distribusi muatan kontinyu.
- Muatan-muatan dapat terdistribusi secara kontinyu pada:
 - Garis
 - Permukaan
 - Volume

Medan Listrik dari Distribusi Muatan Kontinyu (lanjutan)

Prosedur menentukan medan listrik yang dihasilkan oleh distribusi muatan kontinyu:

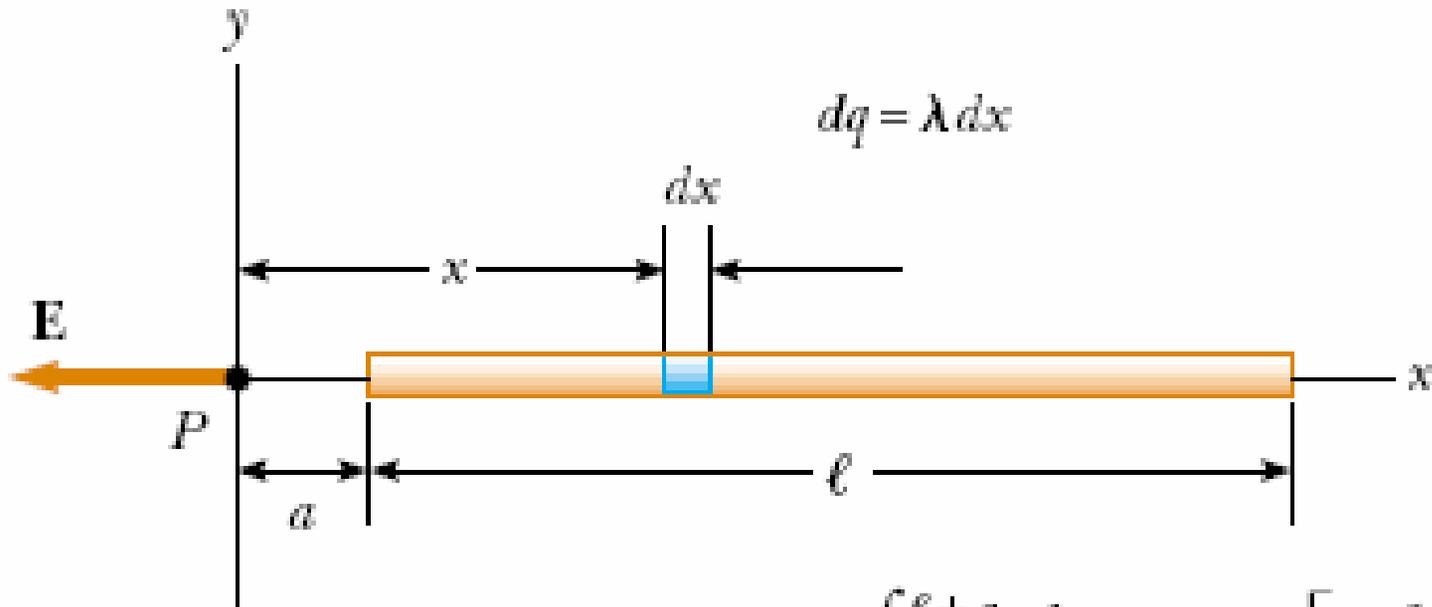
- Membagi distribusi muatan menjadi elemen-elemen muatan kecil (dq)
- Menghitung medan listrik ($d\mathbf{E}$) yang dihasilkan oleh elemen muatan (dq) ini:
$$d\mathbf{E} = k_e \frac{dq}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$
- Menjumlahkan $d\mathbf{E}$ yang dihasilkan oleh semua elemen muatan dq melalui prinsip superposisi:

$$\mathbf{E} = k_e \int \frac{dq}{r^2} \hat{\mathbf{r}}$$

Medan Listrik dari Distribusi Muatan Kontinyu (lanjutan)

- Jika muatan terdistribusi dalam volume, maka elemen muatan: $dq = \rho dV$ dengan dV adalah elemen volume, dan ρ adalah rapat muatan volume.
- Jika muatan terdistribusi pada permukaan, maka elemen muatan: $dq = \sigma dA$ dengan dA adalah elemen luas, dan σ adalah rapat muatan permukaan.
- Jika muatan terdistribusi pada garis, maka elemen muatan: $dq = \lambda dl$ dengan dl adalah elemen panjang, dan λ adalah rapat muatan garis.

Medan Listrik pada Sumbu Batang Bermuatan Homogen

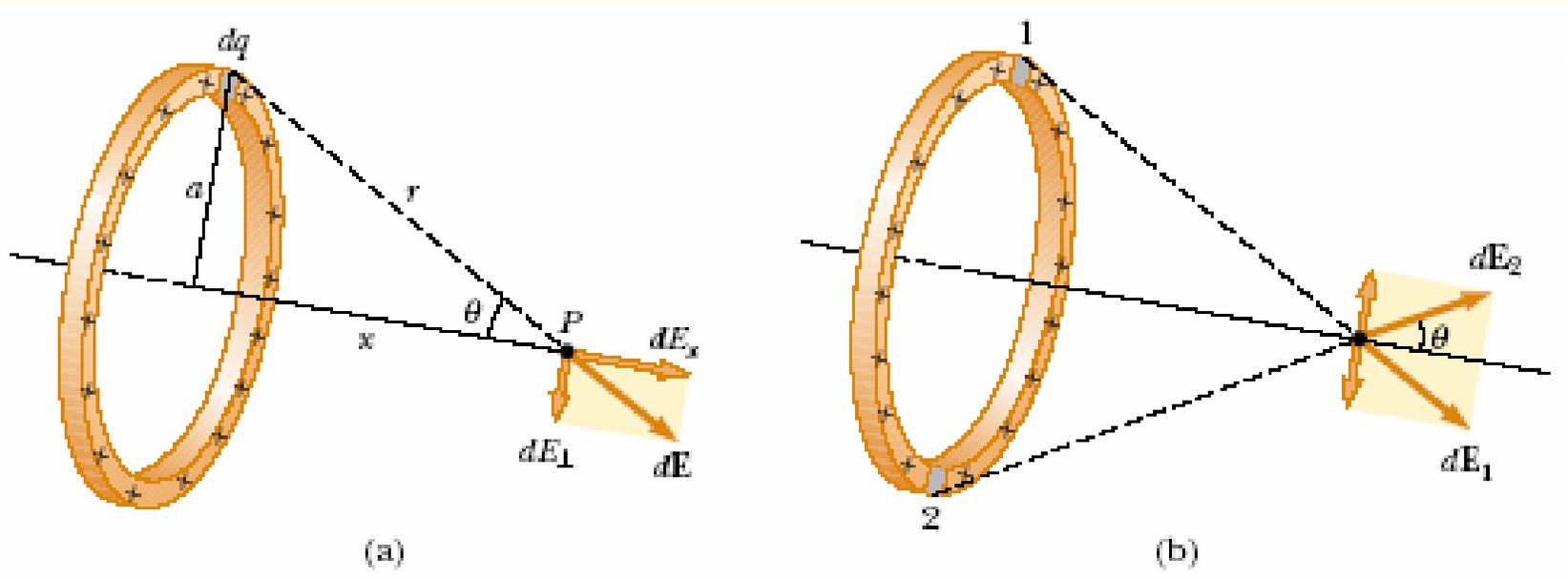


$$dE = k_e \frac{dq}{x^2} = k_e \frac{\lambda dx}{x^2}$$

$$E = k_e \lambda \int_a^{\ell+a} \frac{dx}{x^2} = k_e \lambda \left[-\frac{1}{x} \right]_a^{\ell+a}$$

$$= k_e \lambda \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{\ell+a} \right) = \frac{k_e Q}{a(\ell+a)}$$

Medan Listrik pada Sumbu Cincin Bermuatan Homogen

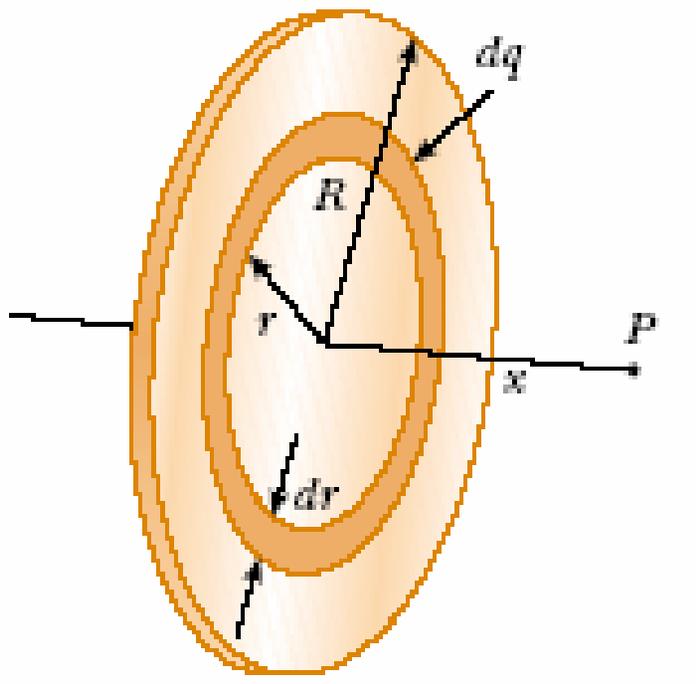


$$dE = k_e \frac{dq}{r^2}$$

$$dE_x = dE \cos \theta = \left(k_e \frac{dq}{r^2} \right) \frac{x}{r} = \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} dq$$

$$E_x = \int \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} dq = \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} \int dq = \frac{k_e x}{(x^2 + a^2)^{3/2}} Q$$

Medan Listrik pada Sumbu Cakram Bermuatan Homogen



$$dq = 2\pi\sigma r dr$$

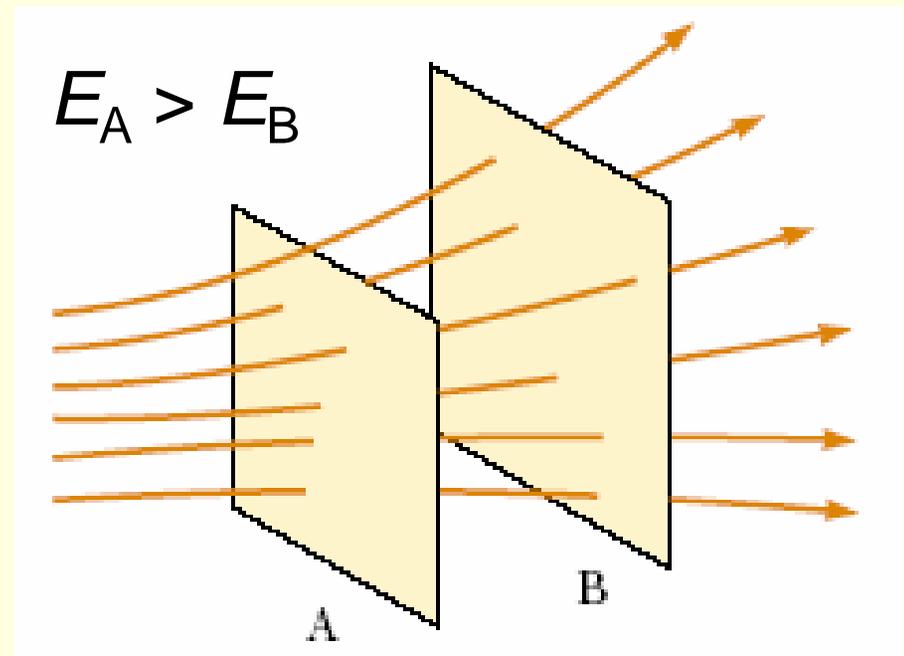
$$dE_x = \frac{k_e x}{(x^2 + r^2)^{3/2}} (2\pi\sigma r dr)$$

$$\begin{aligned} E_x &= k_e x \pi \sigma \int_0^R \frac{2r dr}{(x^2 + r^2)^{3/2}} \\ &= k_e x \pi \sigma \int_0^R (x^2 + r^2)^{-3/2} d(r^2) \\ &= k_e x \pi \sigma \left[\frac{(x^2 + r^2)^{-1/2}}{-1/2} \right]_0^R \\ &= 2\pi k_e \sigma \left(1 - \frac{x}{(x^2 + R^2)^{1/2}} \right) \end{aligned}$$

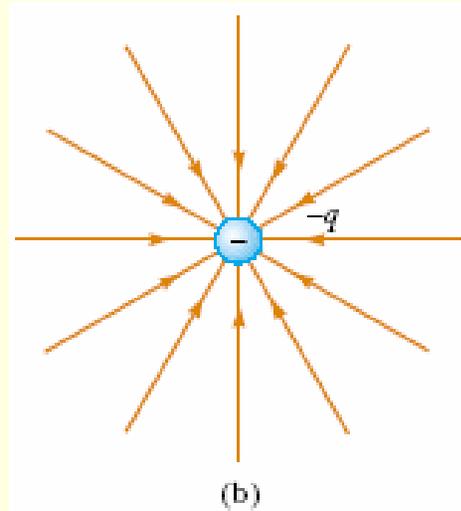
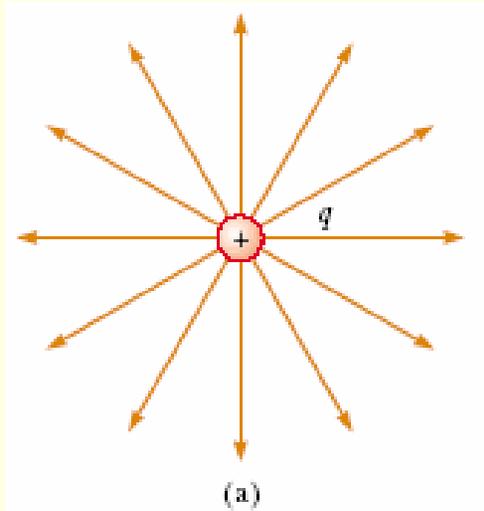
Garis-Garis Medan Listrik

Garis-garis medan listrik (diperkenalkan oleh Faraday) merupakan garis-garis khayal yang digunakan untuk memvisualisasikan pola medan listrik di dalam ruang:

1. Vektor \mathbf{E} menyinggung garis medan listrik di setiap titik di dalam ruang. Arah garis medan listrik sama dengan arah medan listrik \mathbf{E} .
2. Rapat garis medan di suatu tempat sebanding dengan besar medan listrik di tempat tersebut.



Garis-Garis Medan Listrik Muatan Titik



Garis-garis medan listrik untuk :

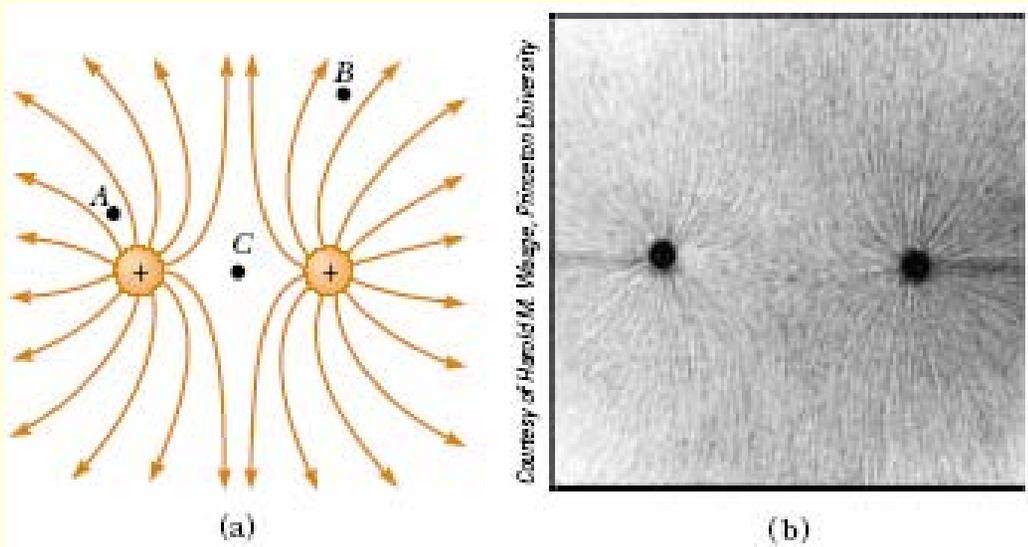
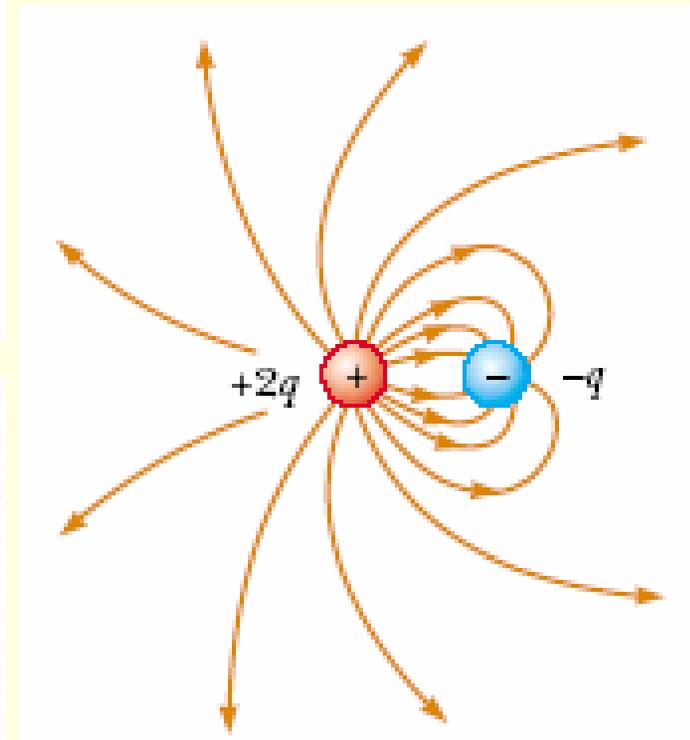
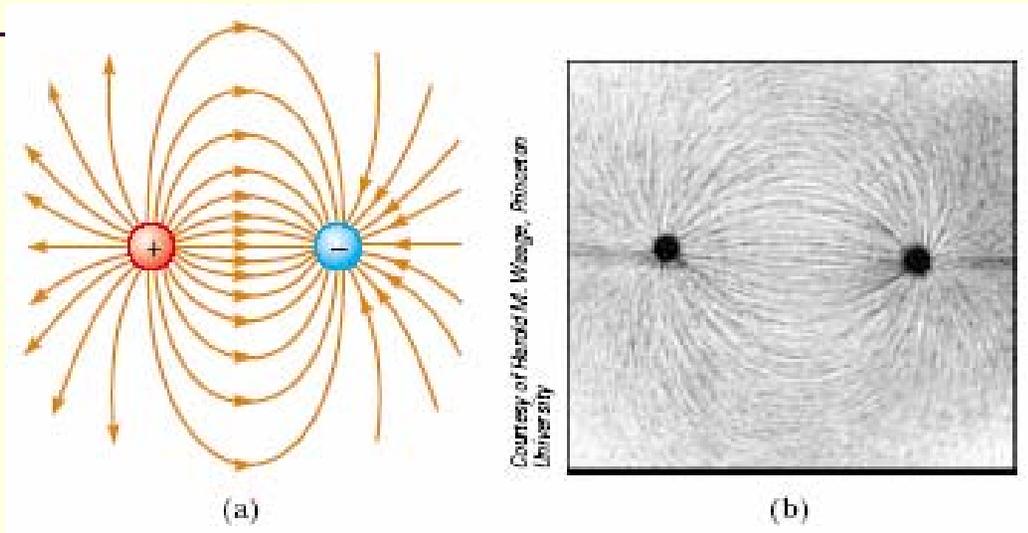
(a) muatan positif,

(b) muatan negatif

Aturan menggambar garis-garis medan listrik:

- The lines must begin on a positive charge and terminate on a negative charge. In the case of an excess of one type of charge, some lines will begin or end infinitely far away.
- The number of lines drawn leaving a positive charge or approaching a negative charge is proportional to the magnitude of the charge.
- No two field lines can cross.

Garis-Garis Medan Listrik Sepasang Muatan Titik



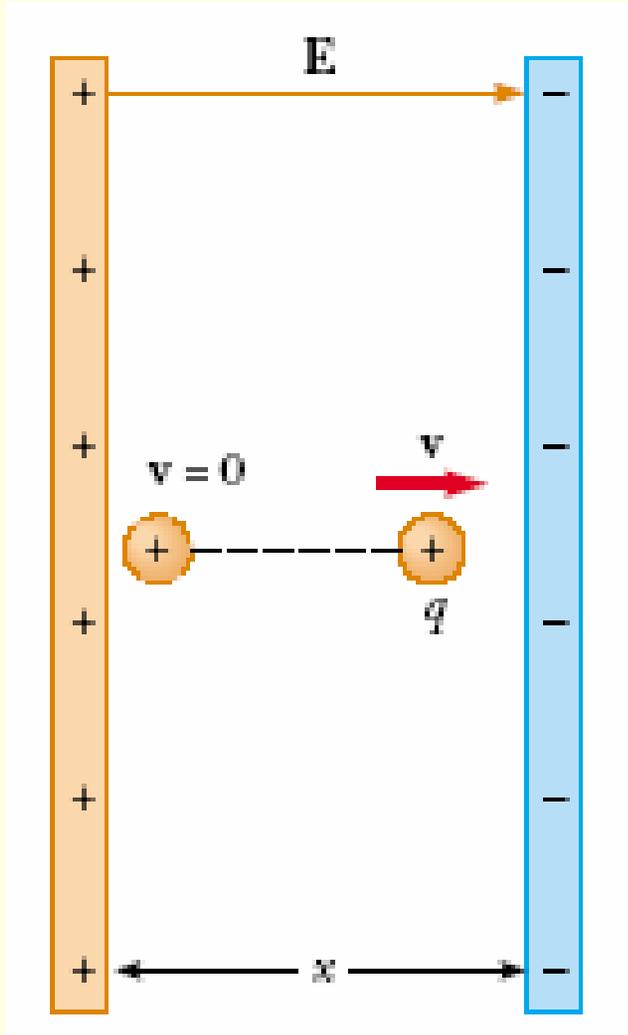
Gerak Partikel Bermuatan di Dalam Medan Listrik Homogen

- Bila partikel bermuatan q dan bermassa m berada di dalam medan listrik \mathbf{E} , maka partikel mengalami gaya listrik $\mathbf{F}_e = q\mathbf{E}$.
- Jika hanya gaya ini yang bekerja pada partikel, maka gaya ini merupakan gaya netto dan menyebabkan partikel mengalami percepatan (hk Newton) :

$$\mathbf{F}_e = q\mathbf{E} = m\mathbf{a}$$

- Jadi, percepatan partikel adalah $\mathbf{a} = \frac{q\mathbf{E}}{m}$
- Jika \mathbf{E} homogen, maka \mathbf{a} konstan.
- Jika q positif, maka \mathbf{a} searah dengan \mathbf{E} .
- Jika q negatif, maka \mathbf{a} berlawanan arah dengan \mathbf{E} .

Contoh 3



Sebuah muatan titik positif q bermassa m dilepaskan dari keadaan diam di dalam medan E homogen dengan arah sumbu x positif (lihat gambar). Tentukanlah:

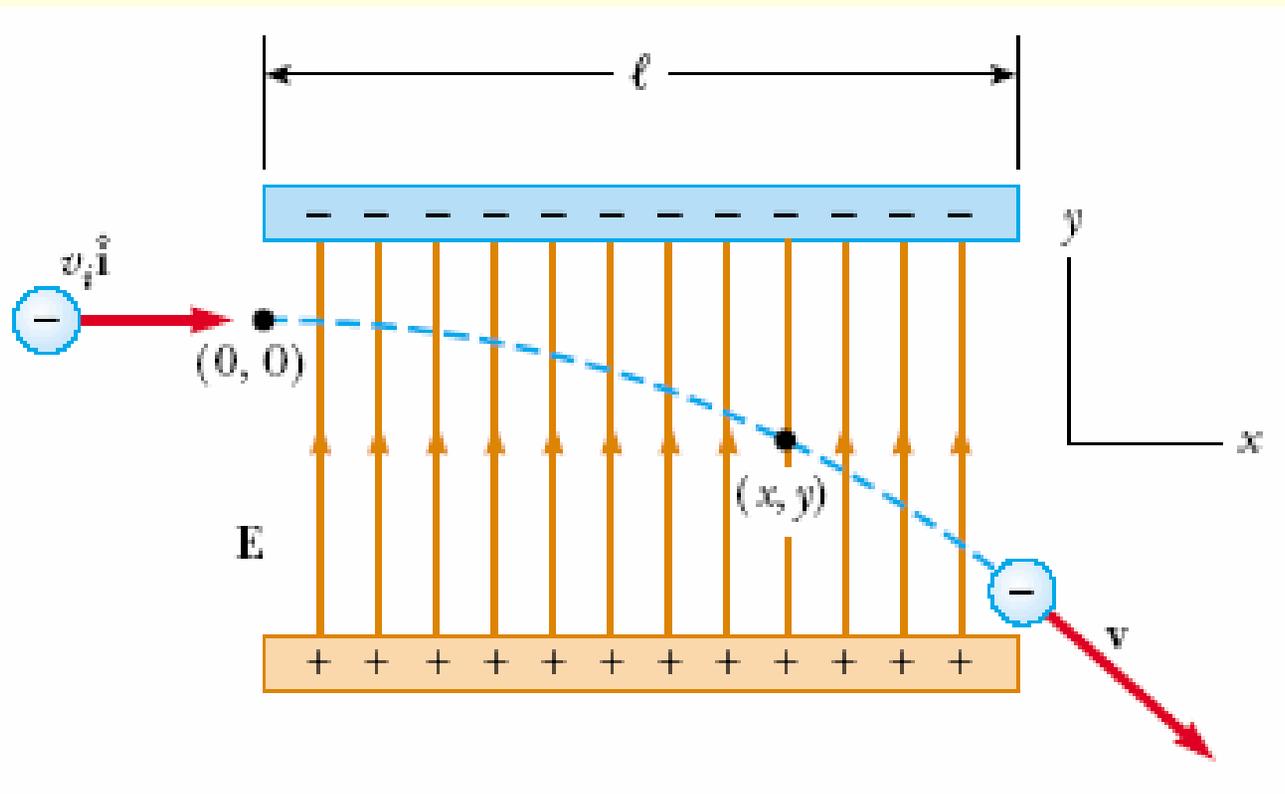
(a) posisi

(b) Kelajuan

partikel pada saat t sembarang.

Contoh 4

Sebuah elektron bergerak dengan kecepatan $v_0 \hat{\mathbf{i}}$ memasuki medan listrik homogen $\mathbf{E} = E \hat{\mathbf{j}}$ pada saat $t = 0$



seperti pada gambar.
Tentukan:
 $x(t)$
dan
 $y(t)$.

Contoh Aplikasi: CRT

CRT (*cathode ray tube*) atau tabung sinar katoda seperti yang digunakan pada televisi dan osiloskop merupakan aplikasi dari pemahaman kita tentang gerak partikel bermuatan di dalam medan listrik dan medan magnetik.

