

***Fisika Dasar II***  
***Listrik, Magnet, Gelombang dan***  
***Fisika Modern***

**Pokok Bahasan**  
**Medan listrik & Hukum Gauss**

Abdul Waris  
Rizal Kurniadi  
Novitrian  
Sparisoma Viridi

1

**Representasi dari medan listrik**

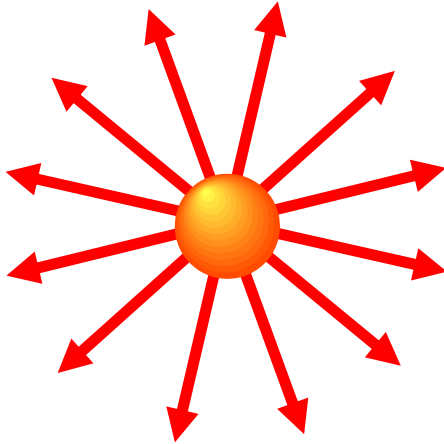
Garis-garis medan listrik

2

# Representasi dari medan listrik

Tidak mungkin untuk merepresentasikan seluruh vektor medan listrik pada semua tempat

Sebagai gantinya dibuat garis-garis yang arahnya menggambarkan arah medan



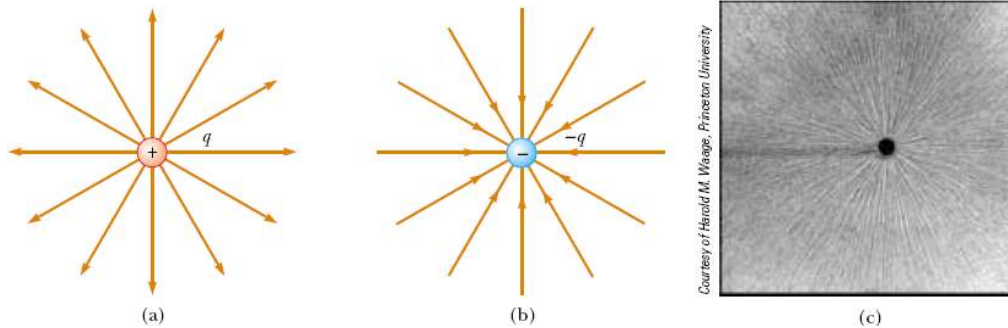
Pada daerah yang cukup jauh dari muatan kerapatan garis berkurang

Semuanya ini dinamakan garis-garis medan listrik

## Pembuatan garis-garis medan listrik

- Garis-garis **berawal** dari muatan positif
- Garis-garis **berakhir** di muatan negatif
- Jumlah garis yang meninggalkan muatan +ve (atau menuju muatan -ve) sebanding dengan besarnya muatan
- Garis-garis medan listrik **tidak dapat** berpotongan

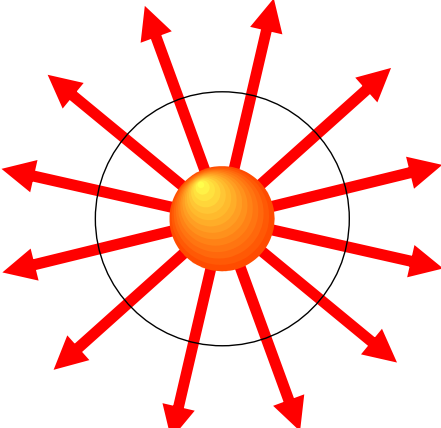
# Contoh garis-garis medan



5

## Garis-garis medan listrik

Definisikan  $\rho \equiv \frac{N_{\text{garis}}}{A} \rightarrow \rho = \frac{N}{4\pi r^2}$



karena  $N_{\text{garis}} \propto Q$

diketahui

Besarnya kerapatan garis medan

$\rho \propto \frac{Q}{4\pi r^2}$

$|\mathbf{E}| = k_e \frac{Q}{|\mathbf{r}|^2}$

$|\mathbf{E}| \propto \rho$

6

# Interpretasi garis-garis medan listrik

- Vektor medan listrik,  $\mathbf{E}$ , adalah tangen terhadap garis-garis medan listrik ([garis singgung](#)) pada masing-masing titik sepanjang garis.
- Banyaknya garis persatuan luas yang melewati permukaan tegak lurus terhadap medan adalah sebanding dengan kuat medan listrik pada daerah tersebut

7

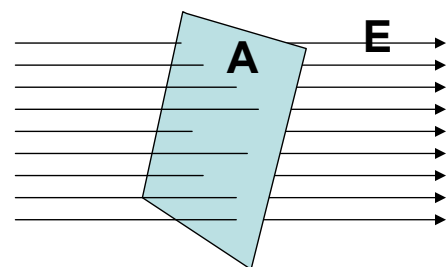
## Fluks Listrik

- Mengukur jumlah garis-garis medan listrik yang melewati suatu permukaan.
- Untuk medan listrik serba sama

$$\Phi = \vec{E} \cdot \vec{A} = E \cdot A \cos \theta$$

- Untuk medan listrik yang tidak homogen

$$\Phi = \int_{\text{surface}} \vec{E} \cdot d\vec{A}$$



8

# Contoh: Fluks Listrik

Hitunglah fluks listrik yang melewati permukaan bola dengan jari-jari 1,0 m dan membawa muatan +1,0  $\mu\text{C}$  di pusatnya.

Medan  $\mathbf{E}$  pada  $r = 1,0$  m adalah:

$$E = k_e \frac{q}{r^2} = (8.99 \times 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2) \frac{(1.0 \times 10^{-6} \text{ C})}{(1.0 \text{ m})^2} = 8,99 \times 10^{-3} \text{ N/C}$$

Luas permukaan bola dengan jari-jari  $r=1,0$  m adalah:

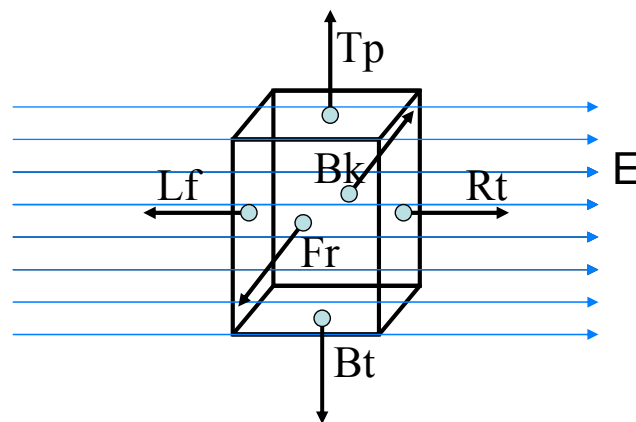
$$A = 4\pi r^2 = 12,6 \text{ m}^2$$

Sehingga fluks listrik yg melewati permukaan bola adalah:

$$\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} = EA = (8.99 \times 10^3 \text{ N/C})(12.6 \text{ m}^2) = 1,13 \times 10^5 \text{ N.m}^2/\text{C}$$

## Fluks listrik pada permukaan tertutup

- Tinjau fluks pada permukaan tertutup berikut



$$\Phi_{total} = \Phi_{Fr} + \Phi_{Bk} + \Phi_{Lf} + \Phi_{Rt} + \Phi_{Tp} + \Phi_{Bt} = 0$$

# Hukum Gauss (Gauss' Law)

- Fluks listrik total yang melewati suatu permukaan tertutup Gauss (*Gaussian surface*) adalah sama dengan muatan listrik total di dalam permukaan tersebut dibagi  $\epsilon_0$ .

$$\Phi_c = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

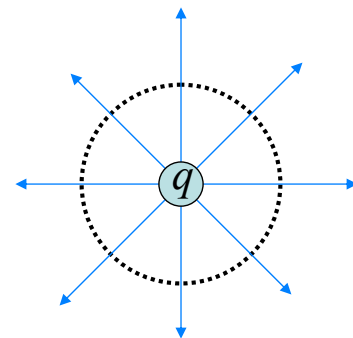
11

## Muatan titik

- Pilih permukaan bola sebagai permukaan gaussian
- Medan listrik selalu tegak lurus permukaan dan kuat medan listrik adalah sama di seluruh permukaan.

$$\Phi = \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

$$\therefore E \cdot 4\pi r^2 = \frac{q}{\epsilon_0}, \text{ atau } E = k_e \frac{q}{r^2}$$



12

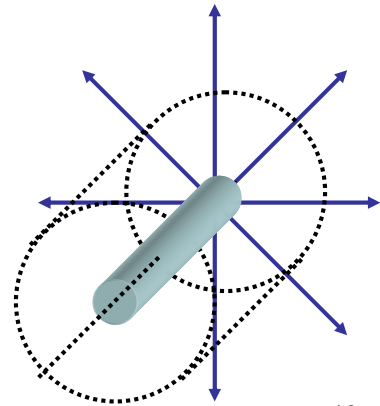
# Muatan garis (kontinu 1-D)

- Pilih silinder sebagai permukaan tertutup Gauss.
- Medan listrik tegak lurus pada dinding silinder dan sejajar pada masing-masing ujung.

$$\Phi = \Phi_{Fr} + \Phi_{Bk} + \Phi_{dinding}$$

$$\therefore E \cdot 2\pi r l = \frac{q}{\epsilon_0}$$

atau  $E = 2k \frac{q}{lr} = 2k \frac{\lambda}{r}$



13

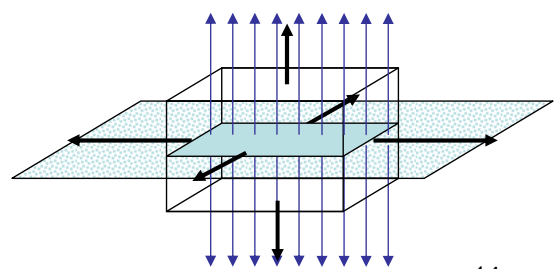
# Lempeng bermuatan (kontinu 2-D)

- Pilih kotak sebagai permukaan Gauss.
- Medan listrik tegak lurus terhadap permukaan atas & bawah, tetapi sejajar terhadap sisi yang lain

$$\Phi = \Phi_{Lf} + \Phi_{Rt} + \Phi_{Fr} + \Phi_{Bk} + \Phi_{Tp} + \Phi_{Bt}$$

$$\therefore EA + EA = \frac{q}{\epsilon_0}$$

atau  $E = \frac{q}{2A\epsilon_0} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$



14

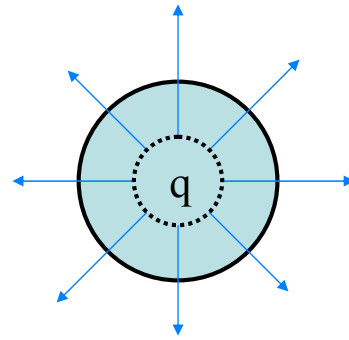
# Muatan Volume (kontinu 3-D)

- Pilih bola sebagai permukaan Gauss.
- Permukaan Gauss bisa juga berada di dalam volume tersebut.

$$\Phi = E \cdot 4\pi r^2$$

$$q_{in} = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$$

$$\therefore E = \frac{\rho}{3\epsilon_0} r$$



15

## Contoh soal: Bola bermuatan

Sebuah bola isolator pejal dengan jari-jari  $a$  dan rapat muatan  $\rho$  membawa muatan total positif  $Q$ .

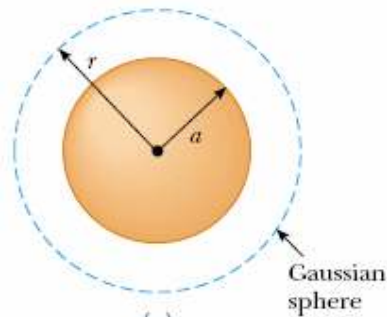
- 1) Tentukan kuat medan listrik pada suatu titik di luar bola
- 2) Tentukan kuat medan listrik pada suatu titik di dalam bola
- 3) Gambarkan kuat medan listrik sebagai fungsi jari-jari,  $r$ .

16



## Contoh soal: Bola bermuatan (lanjutan)

1). Kuat medan listrik di luar bola



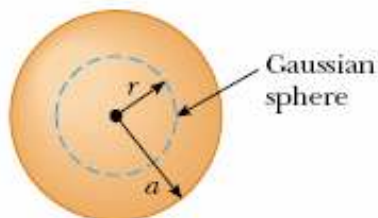
Untuk  $r > a$

$$E = k_e \frac{Q}{r^2}$$

17

## Contoh soal: Bola bermuatan (lanjutan)

2). Kuat medan listrik di dalam bola



Untuk  $r < a$ , misalkan volume permukaan gauss adalah  $V'$ .

Muatan dalam  $V'$  ( $q_{in}$ ) lebih kecil dari muatan total  $Q$ .

$$q_{in} = \rho V' = \rho \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \right)$$

$$\oint E dA = E \oint dA = E(4\pi r^2) = \frac{q_{in}}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{q_{in}}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\rho \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \right)}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} r$$

Karena  $\rho = Q/(4/3\pi a^3)$ , maka

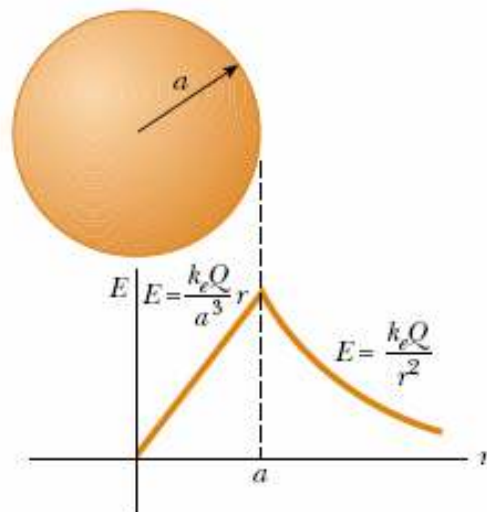
$$E = \frac{Qr}{4\pi\epsilon_0 a^3} = k_e \frac{Q}{a^3} r$$

untuk  $r < a$

18

## Contoh soal: Bola bermuatan (lanjutan)

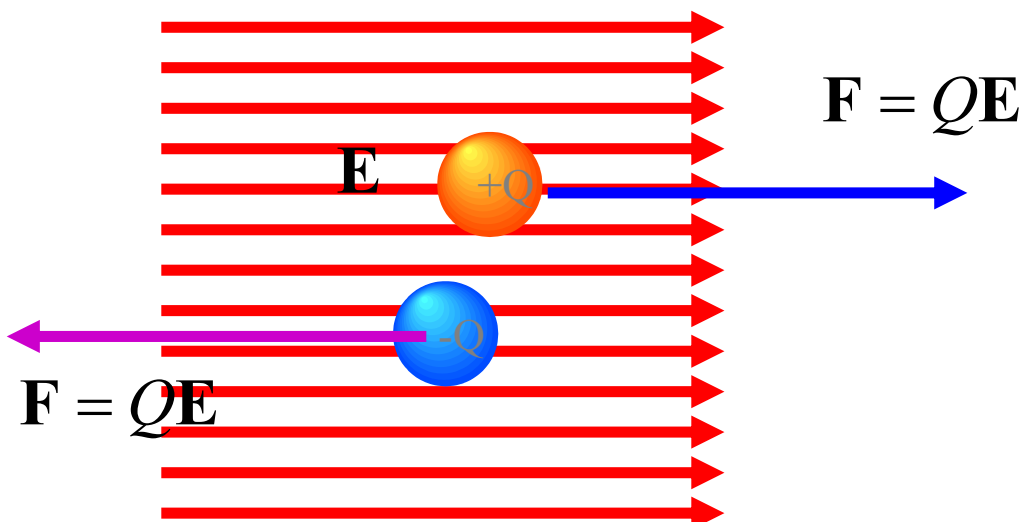
### 3). Grafik Kuat medan listrik



19

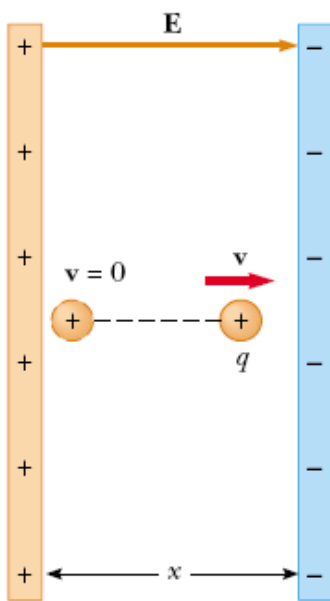
## Partikel bermuatan dalam medan listrik

Penggunaan medan untuk menentukan gaya



20

## Muatan positif yang dipercepat



- Sebuah muatan positif  $q$  dengan massa  $m$  dilepaskan dari keadaan diam dalam suatu medan listrik  $E$  homogen yang diarahkan sepanjang sumbu- $x$  positif. Deskripsikan gerak muatan  $q$  tersebut.

$$x_f = x_i + v_i t + \frac{1}{2} a t^2$$

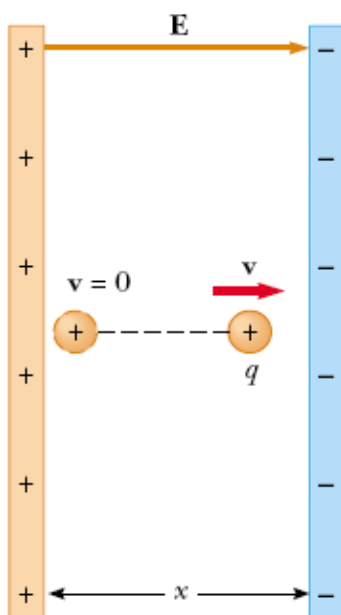
$$v_f = v_i + a t$$

$$v_f^2 = v_i^2 + 2a(x_f - x_i)$$

- Ingat kuliah Fisika Dasar I (Mekanika)

21

## Muatan positif yang dipercepat (lanjutan)



- Pilih posisi awal pada  $x_i = 0$  dan asumsikan kecepatan awal  $v_i = 0$

$$x_f = \frac{1}{2} a t^2 = \frac{qE}{2m} t^2 \quad v_f = a t = \frac{qE}{m} t$$

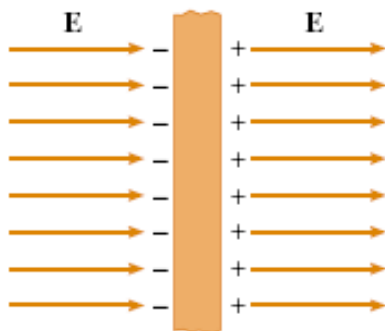
$$v_f^2 = 2a x_f = \left( \frac{2qE}{m} \right) x_f$$

- Energi kinetik setelah partikel bergerak sejauh  $\Delta x = x_f - x_i$  adalah

$$K = \frac{1}{2} m v_f^2 = \frac{1}{2} m \left( \frac{2qE}{m} \right) \Delta x = qE \Delta x \quad 22$$

# Konduktor

- Medan listrik di dalam konduktor adalah nol
- Setiap kelebihan muatan harus selalu berada di permukaan
- Medan listrik keluar meninggalkan permukaan dalam arah tegak lurus permukaan.
- Di dekat permukaan

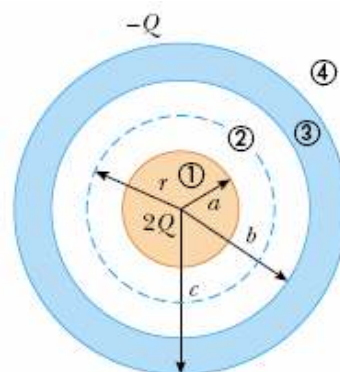


$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$$

23

## Contoh soal

- Sebuah bola konduktor pejal dengan jejari  $a$  membawa muatan positif  $2Q$ . Sebuah bola konduktor berongga dengan jejari dalam  $b$  dan jejari luar  $c$  diletakkan sepusat dengan dengan bola pejal dan membawa muatan  $-Q$ . Dengan hukum gauss tentukan medan listrik di daerah 1, 2, 3 dan 4 (lihat gambar)



24

# Konduktor ...

- Untuk daerah 1 ( $r < a$ ), medan listrik didalam konduktor adalah nol.
- Untuk daerah 2 ( $a < r < b$ ), medan listrik adalah:

$$E_2 A = E_2 (4\pi r^2) = \frac{q_{in}}{\epsilon_0} = \frac{2Q}{\epsilon_0}$$

$$E_2 = \frac{2k_e Q}{r^2}$$

- Untuk daerah 3 ( $b < r < c$ ) medan listrik adalah nol
- Untuk daerah 4 ( $r > c$ )

$$E_4 = \frac{k_e Q}{r^2}$$

