

Materi Kuliah Fisika Dasar II
(Pokok Bahasan 1)

MUATAN LISTRIK DAN HUKUM COULOMB

Drs. Ishafit, M.Si.

Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Ahmad Dahlan

- **Muatan Listrik**

Muatan listrik diketahui ada dua jenis, yaitu (dinamai) muatan listrik positif dan muatan listrik negatif. Benda dikatakan bermuatan listrik positif apabila benda itu kekurangan elektron, sedangkan benda yang kelebihan elektron dikatakan bermuatan listrik negatif. Benda dikatakan netral apabila jumlah muatan listrik positif dan negatif yang dikandungnya sama (benda dapat dikatakan tidak bermuatan). Muatan listrik diberi simbol q dan satuan muatan dalam SI adalah coulomb (C).

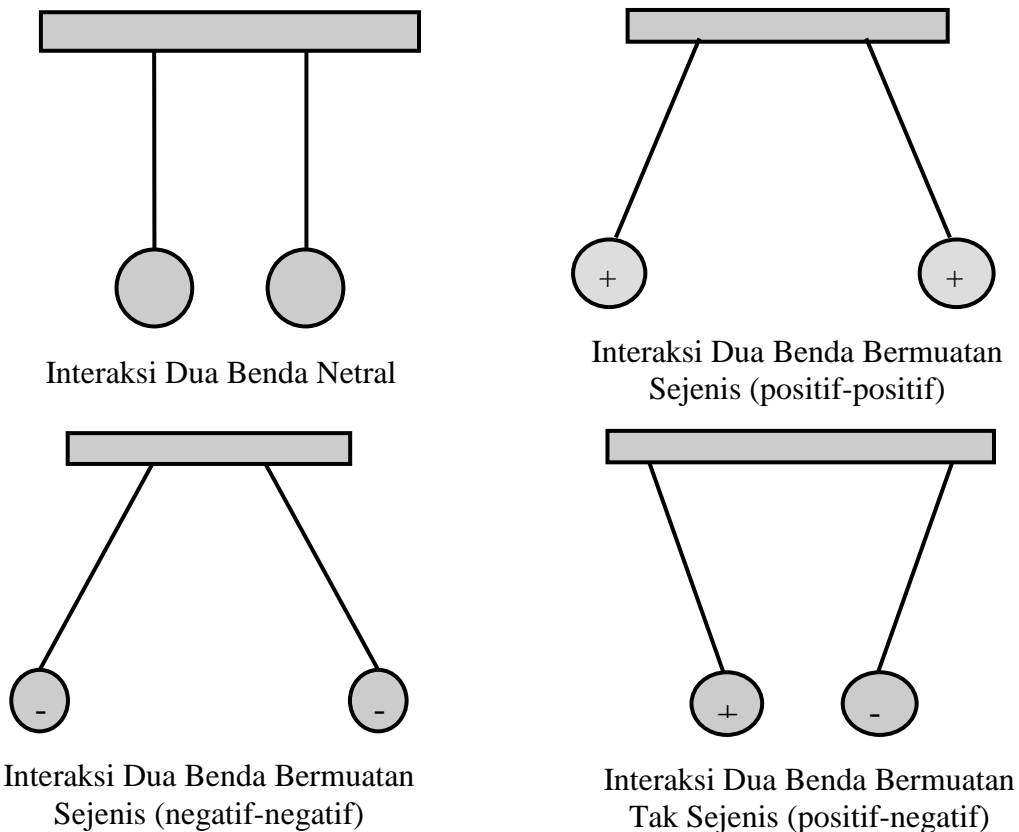
- **Kuantisasi Muatan Listrik**

Dari eksperimen diketahui bahwa muatan yang dikandung suatu benda merupakan kelipatan bulat dari muatan elementer (yang diberi simbol e). Jadi, muatan listrik yang dikandung benda dapat dinyatakan dengan $q=ne$ (dalam hal ini n merupakan bilangan bulat). Besar muatan elementer (muatan elektron atau proton) adalah:

$$e=1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$$

Nilai ini 1 C ekuivalen dengan kuantitas muatan yang dibawa oleh $6,25 \times 10^{18}$ elektron.

- **Interaksi antara Dua Benda Bermuatan Listrik**



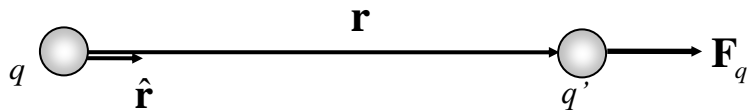
Gambar 1.

Dua benda yang bermuatan listrik sama (keduanya positif atau negatif) saling tolak-menolak, akan tetapi apabila kedua benda bermuatan listrik tidak sejenis (satu positif dan lainnya negatif) saling tarik-menarik.

- **Gaya Interaksi Elektrostatis (Hukum Coulomb)**

Pernyataan kuantitatif tentang gaya interaksi listrik antara dua benda bermuatan listrik pertama kali dinyatakan oleh Charles A. de Coulomb (1736-1806), yaitu:

Interaksi elektrostatis antara dua partikel bermuatan sebanding dengan muatan keduanya dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya, dan arahnya segaris dengan garis hubungan kedua muatan.



Gambar 2.

Misalkan \$q\$ dan \$q'\$ dua muatan listrik berada di dua titik yang terpisah sejauh \$r\$, dan misal \$\mathbf{r}\$ adalah vektor satuan yang arahnya dari \$q\$ menuju \$q'\$ (diandaikan kedua muatan diam), maka rumusan matematis dari hukum Coulomb adalah:

$$\mathbf{F}_{q'} = k \frac{qq'}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \tag{1}$$

dalam hal ini, \$k\$ adalah tetapan kesebandingan yang telah diukur sebesar:

$$k = 9,0 \times 10^9 \text{ Nm}^2 \text{ C}^{-2}$$

Tetapan \$k\$ dihubungkan dengan tetapan lain \$\epsilon_0\$, yaitu:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \tag{2}$$

dengan \$\epsilon_0\$ disebut *permitivitas ruang hampa* yang bernilai:

$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \text{ C}^2 \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

Sehingga \$\mathbf{F}_{q'}\$ menjadi:

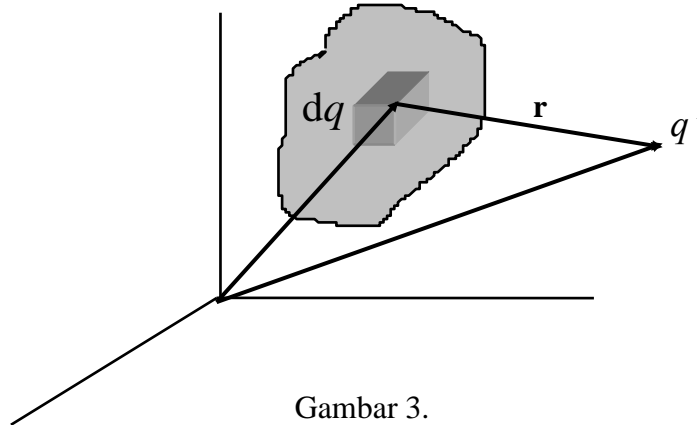
$$\mathbf{F}_{q'} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qq'}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \tag{3}$$

Gaya listrik yang dialami muatan \$q'\$ oleh distribusi muatan diskret (misalnya \$n\$ buah muatan \$q\$) adalah:

$$\mathbf{F}_{q'} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 + \dots + \mathbf{F}_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q_i q'}{r_i^2} \hat{\mathbf{r}}_i \tag{4}$$

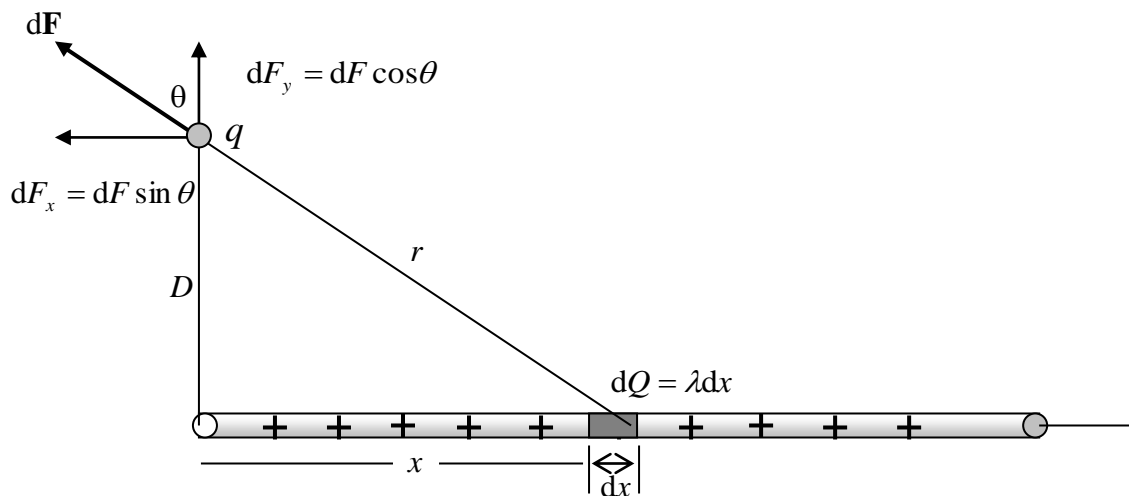
Gaya listrik yang dialami muatan q' oleh distribusi muatan kontinyu adalah:

$$\mathbf{F}_{q'} = \frac{q'}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{dq}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (5)$$



Gambar 3.

1. Gaya Elektrostatis oleh Muatan Positif pada Kawat Semi-Infinite



Gambar 4.

$$d\mathbf{F} = k \frac{q dQ}{r^2} \hat{\mathbf{r}} \quad (6)$$

$$dF_x = -dF \sin \theta = -k \frac{q \lambda dx \sin \theta}{r^2} \quad (7)$$

$$dF_y = dF \cos \theta = k \frac{q \lambda dx \cos \theta}{r^2} \quad (8)$$

$$F_x = -kq\lambda \int_0^\infty \frac{\sin \theta dx}{r^2} \quad (9)$$

$$F_y = kq\lambda \int_0^\infty \frac{\cos \theta dx}{r^2} \quad (10)$$

Dengan menggunakan geometri gambar di atas, maka diperoleh:

$$x = D \tan \theta \quad dx = D \sec^2 \theta d\theta \quad (11)$$

$$r = D \sec \theta \quad r^2 = D^2 \sec^2 \theta \quad (12)$$

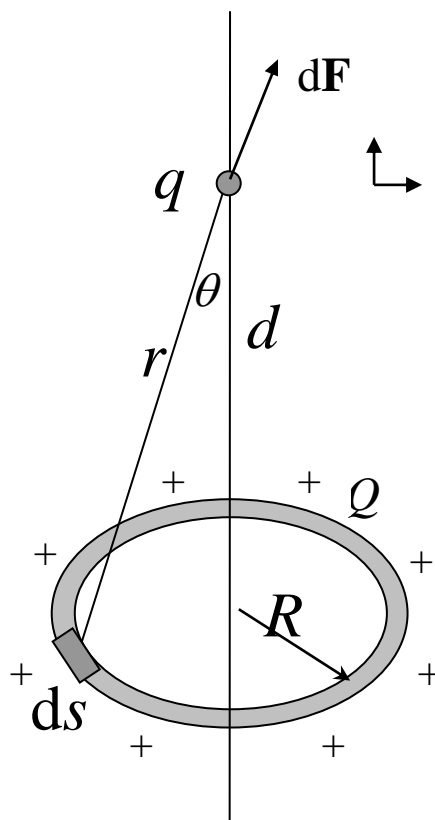
$$F_x = -kq\lambda \int_0^{\pi/2} \frac{\sin \theta D \sec^2 \theta d\theta}{D^2 \sec^2 \theta} = -\frac{kq\lambda}{D} \int_0^{\pi/2} \sin \theta d\theta \quad (13)$$

$$F_x = -\frac{kq\lambda}{D} \quad (14)$$

$$F_y = \frac{kq\lambda}{D} \int_0^{\pi/2} \cos \theta d\theta = \frac{kq\lambda}{D} \quad (15)$$

$$\mathbf{F} = \frac{kq\lambda}{D} (-\hat{\mathbf{i}} + \hat{\mathbf{j}}) = \sqrt{2} \frac{kq\lambda}{D} \angle 135^\circ \quad \blacksquare \quad (16)$$

2. Gaya Elektrostatis oleh Cincin Bermuatan Kontinyu



Gambar 5.

$$dQ = \frac{Qds}{2\pi R} \quad (17)$$

$$dF = k \frac{qdQ}{r^2} \quad (18)$$

$$F = kq \int \frac{dQ \cos\theta}{r^2} = \frac{kqQ}{2\pi R} \int \frac{ds \cos\theta}{r^2} \quad (19)$$

$$F = \frac{kqQd}{2\pi R(R^2 + d^2)^{3/2}} \int ds \quad (20)$$

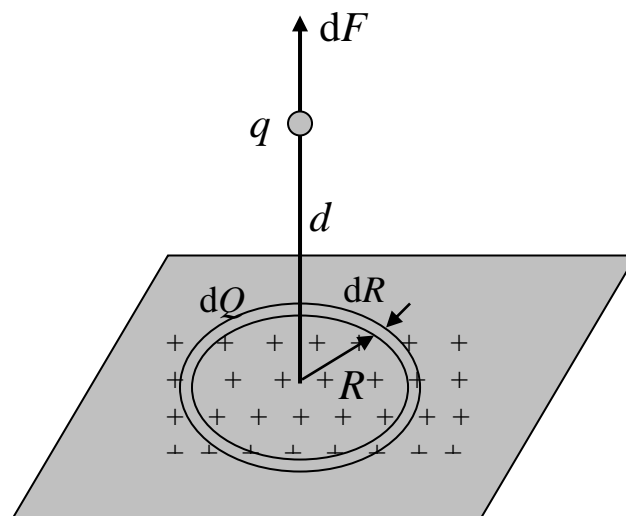
$$\int ds = 2\pi R \quad (21)$$

$$F = \frac{kqQd}{(R^2 + d^2)^{3/2}} \quad \text{atau} \quad \mathbf{F} = \frac{kqQd}{(R^2 + d^2)^{3/2}} \hat{\mathbf{j}} \quad (22)$$

Jika $d \gg R$ (q terletak sangat jauh dari cincin) maka diperoleh gaya elektrostatis didekati oleh persamaan:

$$F = \frac{kqQ}{d^2} \quad (23)$$

3. Gaya Listrik pada Muatan q oleh Muatan Berdistribusi Bidang



Gambar 6.

$$dF = \frac{kqd \, dQ}{(R^2 + d^2)^{3/2}} \quad (24)$$

$$F = \int dF = \int \frac{kqd \, dQ}{(R^2 + d^2)^{3/2}} \quad (25)$$

$$dQ = \sigma dS = 2\pi\sigma R \, dR \quad (26)$$

Gaya yang bekerja pada muatan q mempunyai besar:

$$F = \int_0^\infty \frac{kqd \, 2\pi R \, dR}{(R^2 + d^2)^{3/2}} = \pi k \sigma q d \int_0^\infty \frac{2R \, dR}{(R^2 + d^2)^{3/2}} \quad (27)$$

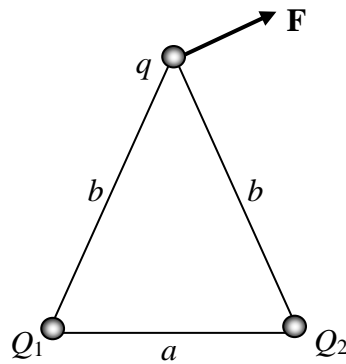
Integral ini dihitung dengan substitusi $u = R^2 + d^2$ dan $du = 2R \, dR$ sehingga kita dapatkan:

$$\int_0^\infty \frac{2R \, dR}{(R^2 + d^2)^{3/2}} = \int_{d^2}^\infty \frac{du}{u^{3/2}} = \frac{u^{-1/2}}{-1/2} \Big|_{u=d^2}^{u=\infty} = \frac{2}{d} \quad (28)$$

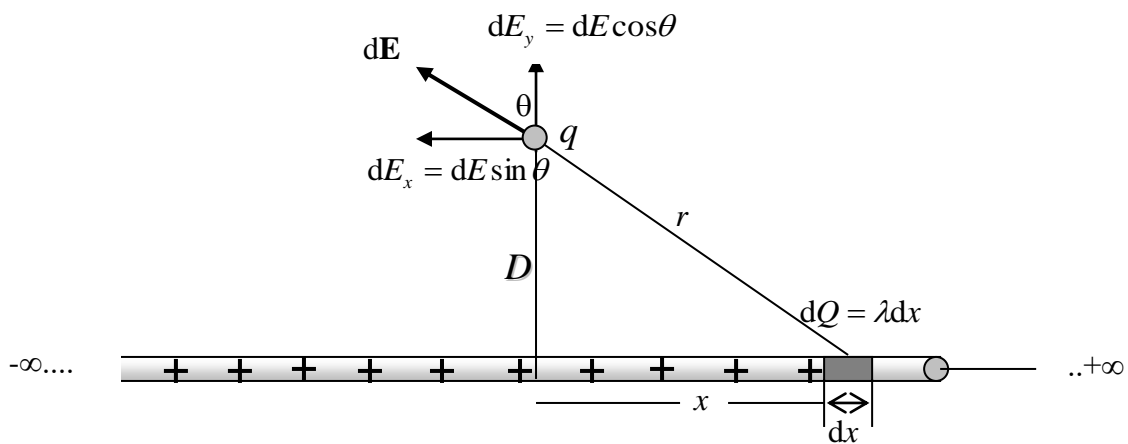
$$F = \pi k \sigma q d \left(\frac{2}{d} \right) = 2\pi k \sigma q = \frac{\sigma q}{2\epsilon_0} \quad (29)$$

Soal:

1. Muatan $Q_1=40 \mu\text{C}$ dan $Q_2=-50 \mu\text{C}$ terletak dalam bidang x - y pada $\mathbf{r} = (8\hat{i} + 16\hat{j}) \text{ cm}$ dan $\mathbf{r} = 20\hat{i} \text{ cm}$.
 - (a) Gambarkan sistem muatan ini dalam bidang x - y !
 - (b) Tuliskan vektor \mathbf{r} dari Q_1 ke Q_2 , dan vektor satuannya $\hat{\mathbf{r}}$!
 - (c) Tuliskan persamaan gaya elektrostatis (dalam tata tulis vektor) yang berkerja pada Q_1 oleh kerena muatan Q_2 , dan hitunglah gaya elektrostatis tersebut !
2. Gaya total yang \mathbf{F} bekerja pada muatan q diperoleh dari muatan Q_1 dan Q_2 , dengan konfigurasi muatan seperti terlihat pada gambar. Besarnya gaya tersebut adalah $5,5 \text{ N} \angle 25^\circ$. Jika $q=16 \mu\text{C}$, $a=0,20 \text{ cm}$, dan $b=0,40 \text{ cm}$, tentukan besar muatan Q_1 dan Q_2 .



3. Tentukan gaya elektrostatis yang berkerja pada muatan q oleh muatan positif yang terdistribusi kontinu pada kawat panjang tidak berhingga.



Referensi:

Stanford, A. L. and Tanner, J. M., 1985, *Physics for Students of Science and Engineering*, Academic Press, Inc., Orlando, Florida.