

# BAB 1 HUKUM COULOMB

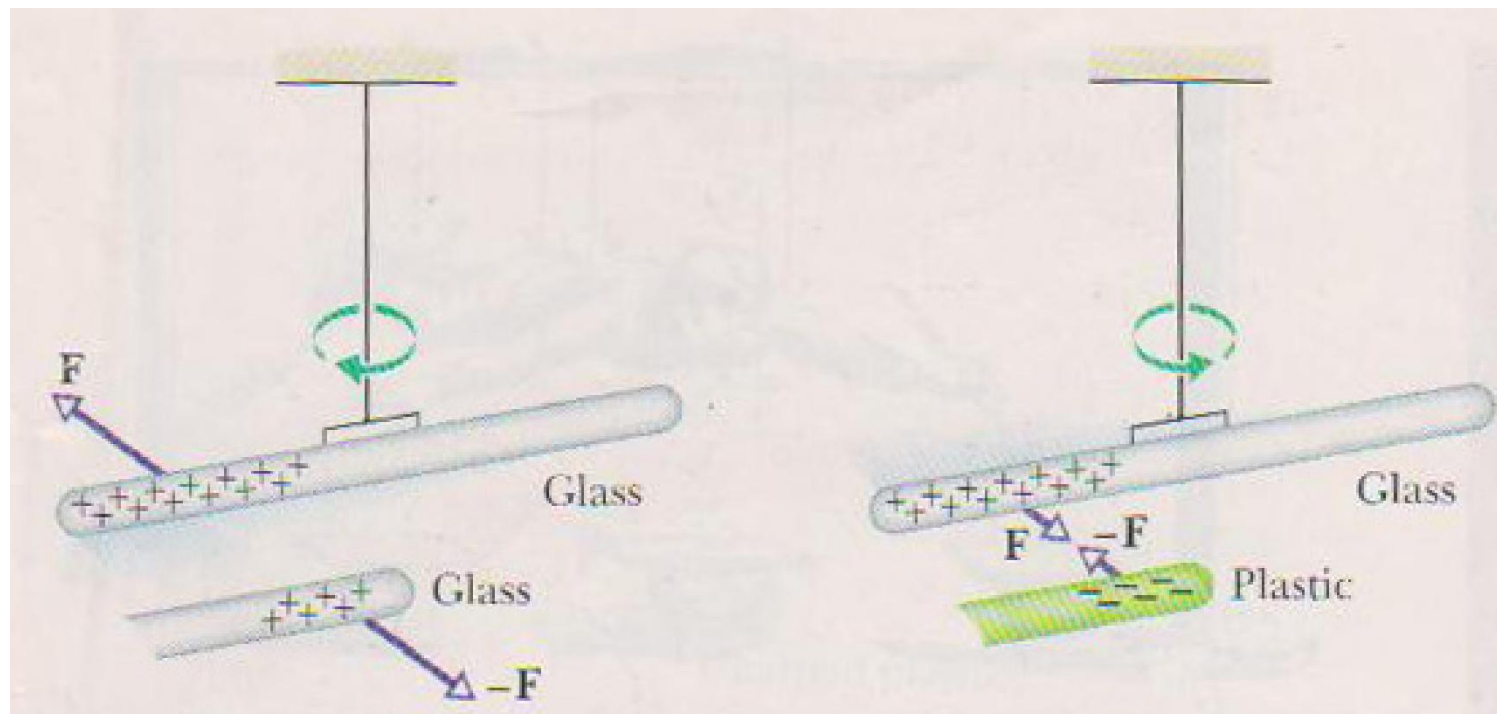
- ❑ SEJARAH ILMU PENGETAHUAN ELEKTROMAGNETIK
- ❑ MUATAN LISTRIK
- ❑ KONDUKTOR DAN ISOLATOR
- ❑ MUATAN TERKUANTISASI
- ❑ GAYA COULOMB

## □ SEJARAH ILMU PENGETAHUAN ELEKTROMAGNETIK

- Listrik dan magnet pertama kali diteliti ilmuwan bangsa Yunani
  - Batu ambar (elektron) bila digosok akan menarik batang jerami (listrik)
  - Beberapa batuan alam dapat menarik besi (magnet)
- 1820, Hans Christian Oersted
  - Kawat dialiri arus listrik dapat menggerakkan jarum kompas → motor
- Michael Faraday
  - Percobaan-percobaan listrik magnet → generator
- Pertengahan abad 19, James Clerk Maxwell
  - Eksperimental → teori (persamaan-persamaan Maxwell )
  - Cahaya adalah gelombang elektromagnetik
- Heinrich Hertz
  - Maxwellian waves = gelombang radio SW

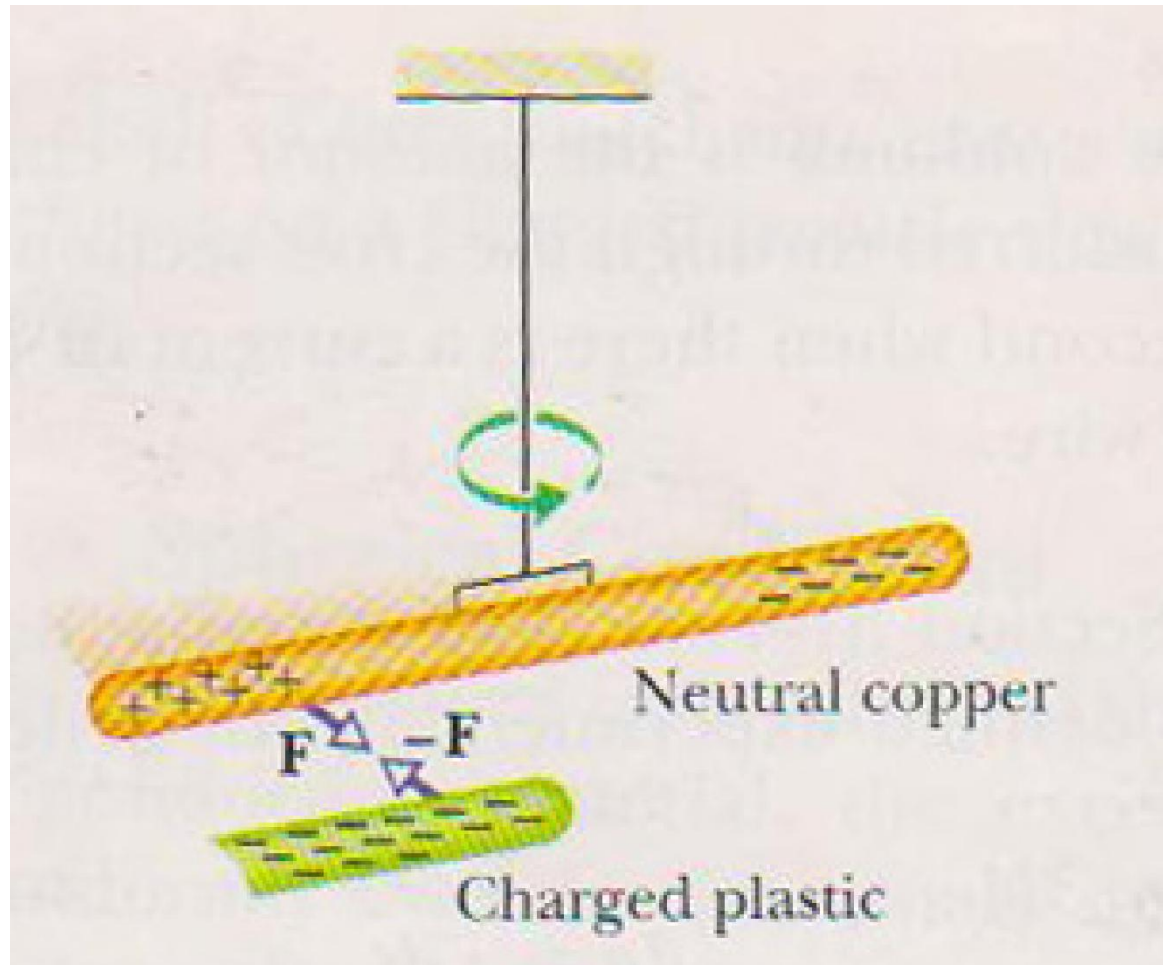
## □ MUATAN LISTRIK

- Batang gelas digosok dengan kain sutra → muatan positif
- Batang plastik digosok dengan bulu binatang → muatan negatif
- Benjamin Franklin memilih jenis muatan
- Muatan sejenis tolak menolak, muatan tak sejenis tarik menarik
  - paint spraying, fly-ash collector, ink-jet printer



## □ KONDUKTOR DAN ISOLATOR

- Pada konduktor : muatan mudah bergerak
- Pada isolator : muatan sulit bergerak



Muatan terinduksi

## □ MUATAN TERKUANTISASI

- Benda terdiri dari molekul-molekul
- Molekul terdiri dari atom-atom
- Atom terdiri dari neutron, proton dan elektron
- Muatan neutron = 0
- Muatan proton =  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Muatan elektron =  $-e = -1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$
- Benda bermuatan  $q = n e$ ,  $n = \text{bilangan bulat}$
- Nomor atom  $Z = \text{jumlah proton/elektron dalam atom}$
- Bilangan Avogadro  $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ atom/mol}$
- Jumlah mol = massa/berat molekul
- $M = \text{berat molekul}$

## Contoh Soal 1.1

Sebuah benda netral yang mempunyai massa sebesar 3,11 gram terbuat dari bahan tembaga ( $Z = 29$ ,  $M = 63,5$  g/mol).

Hitung muatan total positif/negatifnya.

Jawab :

Jumlah atom :

$$N = N_A \frac{m}{M} = 6,02 \times 10^{23} \frac{\text{atom}}{\text{mol}} \frac{3,11 \text{ g}}{63,5 \text{ g/mol}} = 2,95 \times 10^{22} \text{ atom}$$

Muatan total :

$$q = NZe = 2,95 \times 10^{22} (29)(1,6 \times 10^{-19}) = 137 \times 10^3 \text{ C}$$

Ini muatan yang besar sekali. Sebagai perbandingan bila batang plastik digosok dengan bulu binatang hanya menghasilkan muatan sebesar  $10^{-9}$  C

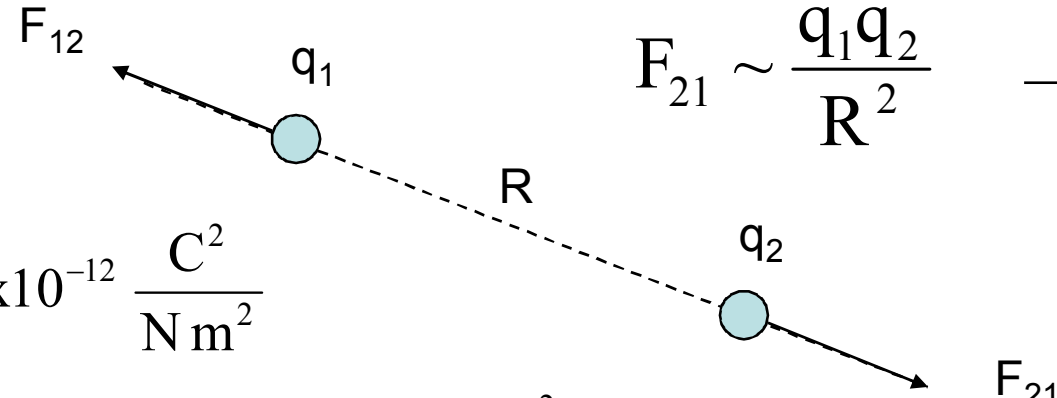
## □ GAYA COULOMB

- Satuan muatan listrik Q [Coulomb]

- Hukum Coulomb : gaya antara dua benda bermuatan

“sebanding dengan kedua muatan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua muatan”

- arah gaya pada garis hubung antara kedua muatan
- muatan sejenis tolak-menolak, muatan tak sejenis tarik menarik
- gaya pada kedua benda sama besar tetapi berlawanan arah



$$F_{21} \sim \frac{q_1 q_2}{R^2} \longrightarrow F_{21} = k \frac{q_1 q_2}{R^2}$$

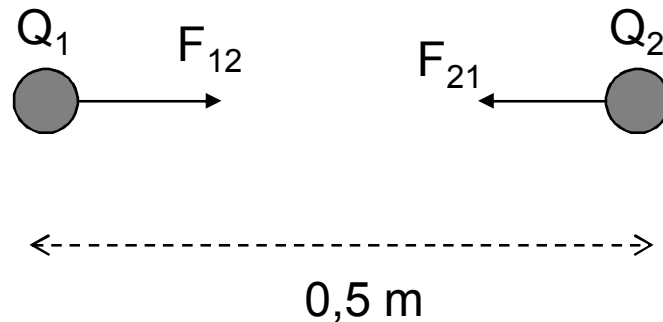
$$\epsilon_0 = 8,85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 8.99 \times 10^9 \approx 9 \times 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

### Contoh Soal 1.2

Dua buah bola konduktor akan tarik menarik dengan gaya sebesar 0,108 N ketika dipisahkan pada jarak 50 cm. Kemudian kedua bola ini dihubungkan dengan sebuah kawat konduktor sehingga terjadi kesetimbangan muatan. Setelah kawat konduktor tersebut dilepaskan ternyata kedua bola tadi akan tolak menolak dengan gaya sebesar 0,036 N. Berapa besarnya muatan dari kedua bola tersebut mula-mula ?

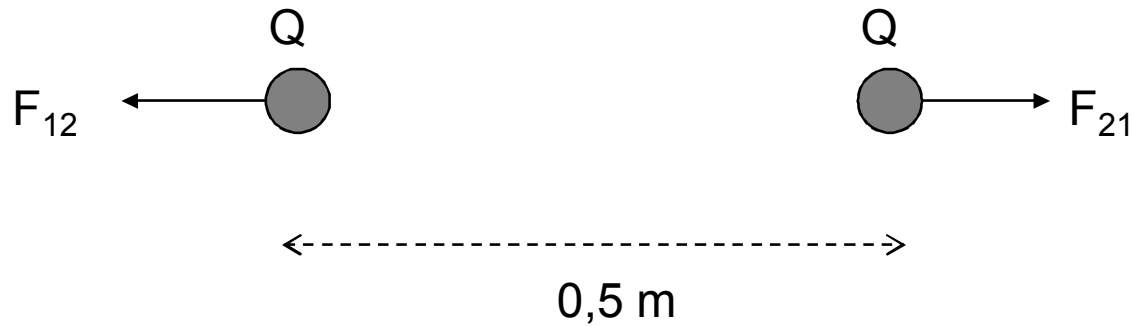
Jawab :



$$F = \frac{9 \times 10^9 Q_1 \times 10^{-6} Q_2 \times 10^{-6}}{0,5^2} = -0,108$$

$$Q_1 Q_2 = \frac{-0,108(0,25)}{9 \times 10^{-3}} = -3$$





$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} \rightarrow F = \frac{9 \times 10^9 Q \times 10^{-6} Q \times 10^{-6}}{0,5^2} = 0,036$$

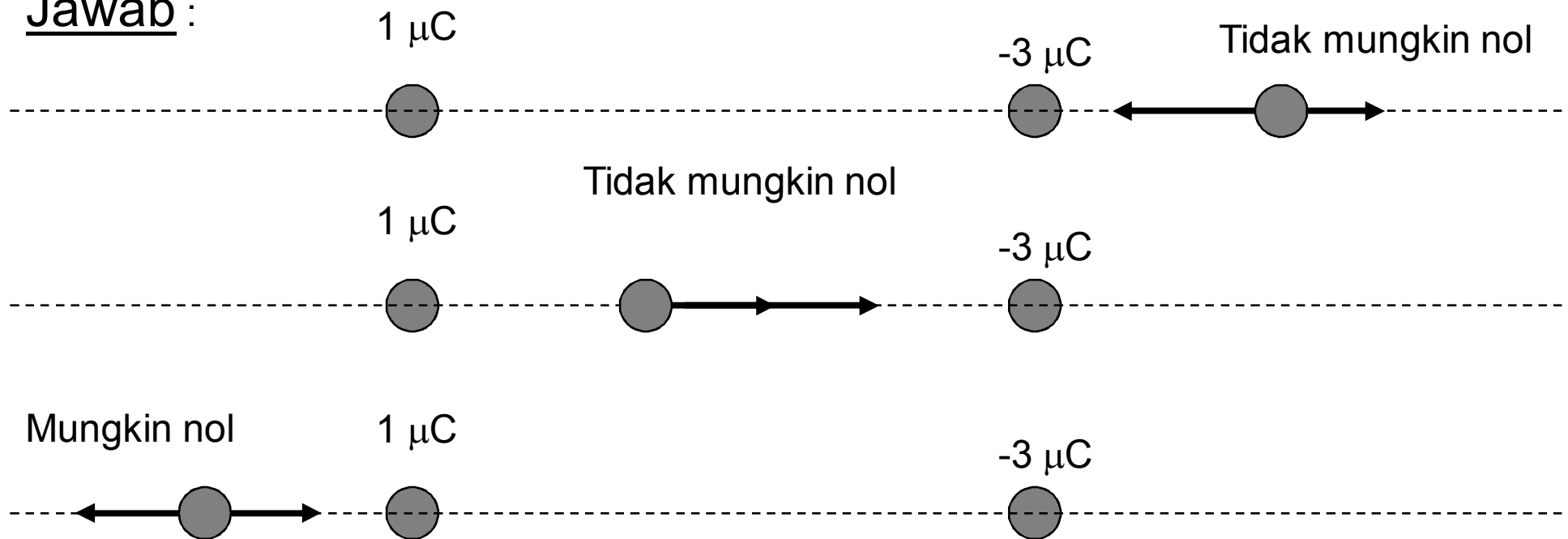
$$Q^2 = \left( \frac{Q_1 + Q_2}{2} \right)^2 = \frac{0,036(0,25)}{9 \times 10^{-3}} = 1 \rightarrow Q_1 + Q_2 = 2$$

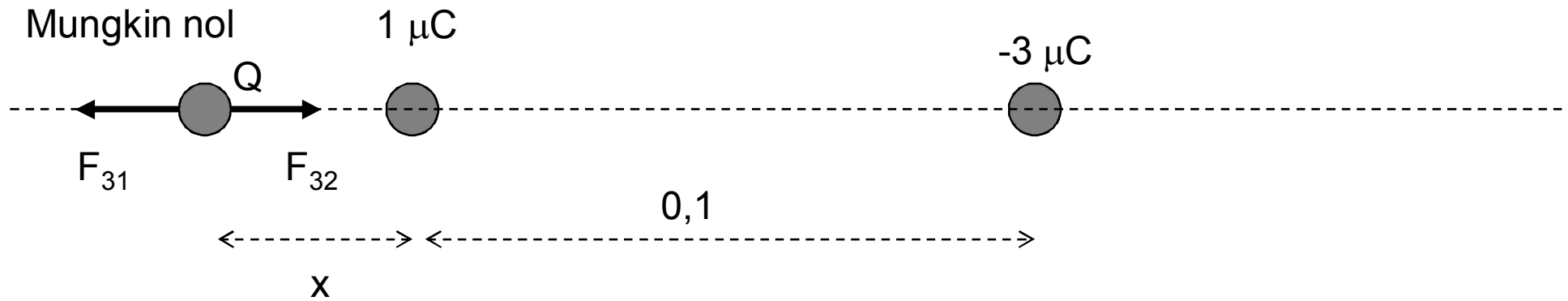
$$Q_1 Q_2 = -3 \quad Q_1 + Q_2 = 2 \rightarrow Q_1 = 3 \mu\text{C} \quad Q_2 = -1 \mu\text{C}$$

### Contoh Soal 1.3

Dua buah muatan yang dipegang tetap yang masing-masing besarnya adalah  $+1\ \mu\text{C}$  dan  $-3\ \mu\text{C}$  dipisahkan oleh jarak sebesar 10 cm. Dimana sebuah muatan ketiga harus diletakkan agar gaya yang bekerja padanya akibat kedua muatan tadi adalah nol ?

Jawab :





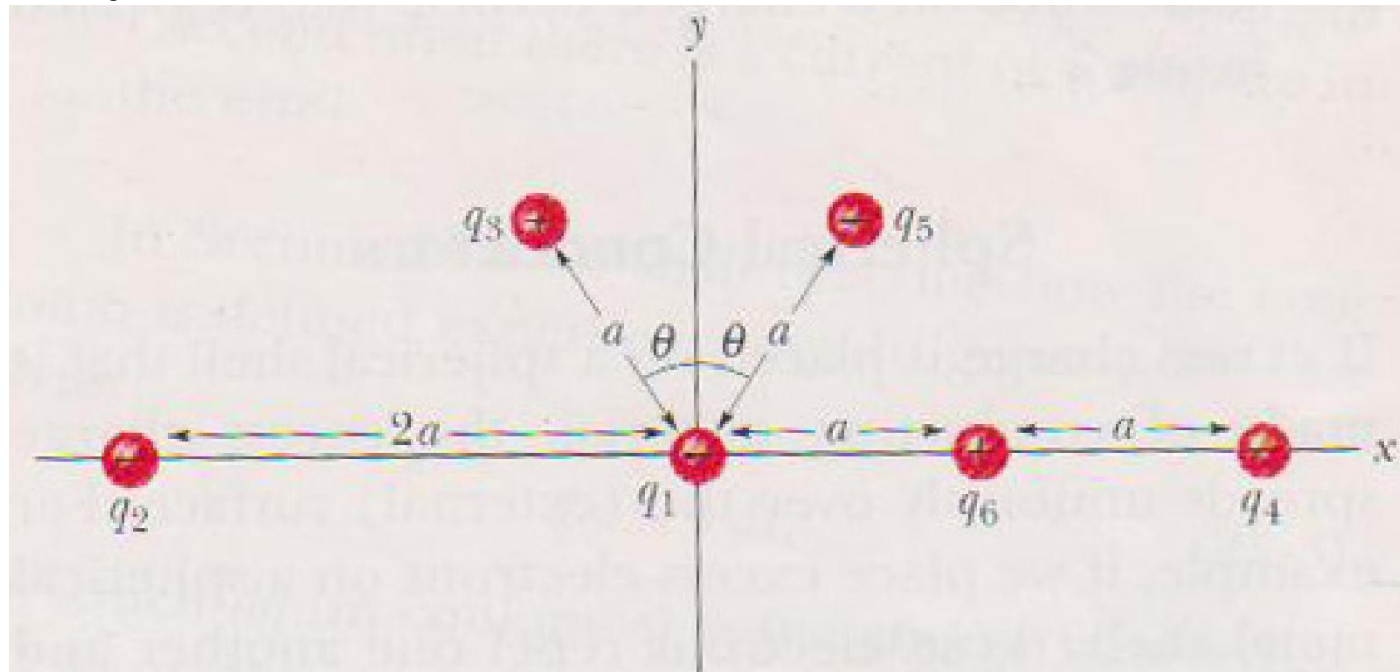
$$F_{31} + F_{32} = \frac{kQQ_1}{R_1^2} + \frac{kQQ_2}{R^2} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{1}{x^2} + \frac{-3}{(x + 0,1)^2} = 0$$

$$\frac{3}{(x + 0,1)^2} = \frac{1}{x^2} \quad \rightarrow \quad \frac{(x + 0,1)^2}{x^2} = 3 \quad \rightarrow \quad \frac{x + 0,1}{x} = \sqrt{3} = 1,732$$

$$x + 0,1 = 1,732x \quad \rightarrow \quad x = \frac{0,1}{0,732} = 0,137 \text{ m} = 13,7 \text{ cm}$$

### Contoh Soal 1.4

Enam buah partikel yang bermuatan sama sebesar  $q = 3 \mu\text{C}$  ( $q_2$  dan  $q_6$  bermuatan positif sedangkan lainnya bermuatan negatif) disusun seperti terlihat pada gambar di bawah ini dengan  $a = 2 \text{ cm}$  dan  $\theta = 30^\circ$ . Tentukan gaya pada muatan  $q_1$  akibat muatan-muatan lainnya.



Jawab :

$$\mathbf{F}_1 = \mathbf{F}_{12} + \mathbf{F}_{13} + \mathbf{F}_{14} + \mathbf{F}_{15} + \mathbf{F}_{16}$$

Jawab :

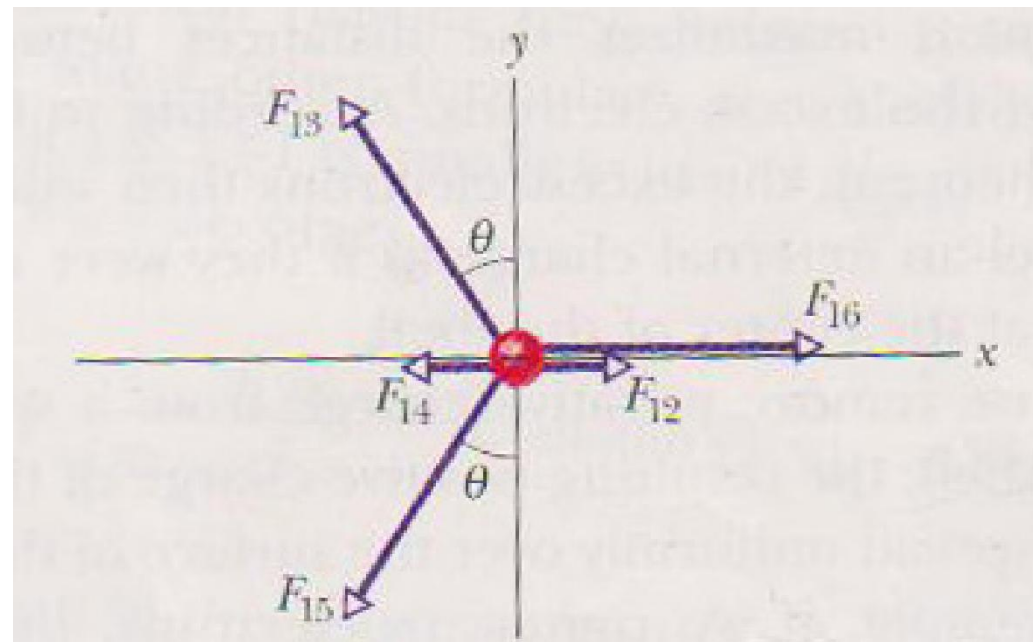
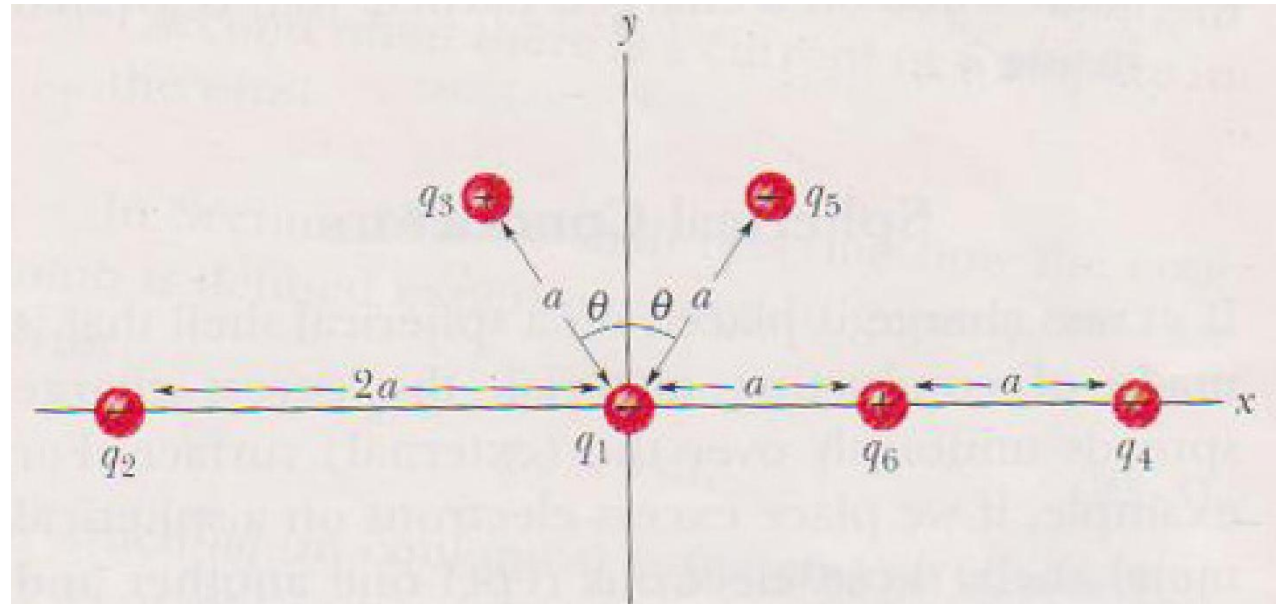
$$F_{12} = F_{14} = k \frac{q_1 q_2}{(2a)^2} = k \frac{q^2}{4a^2}$$

$$F_{13} = F_{14} = F_{16} = k \frac{q^2}{a^2}$$

Karena arahnya berlawanan, maka  $F_{12}$  dan  $F_{14}$  saling menghilangkan

Komponen dalam arah y dari  $F_{13}$  dan  $F_{15}$  arahnya juga berlawanan sehingga saling meniadakan

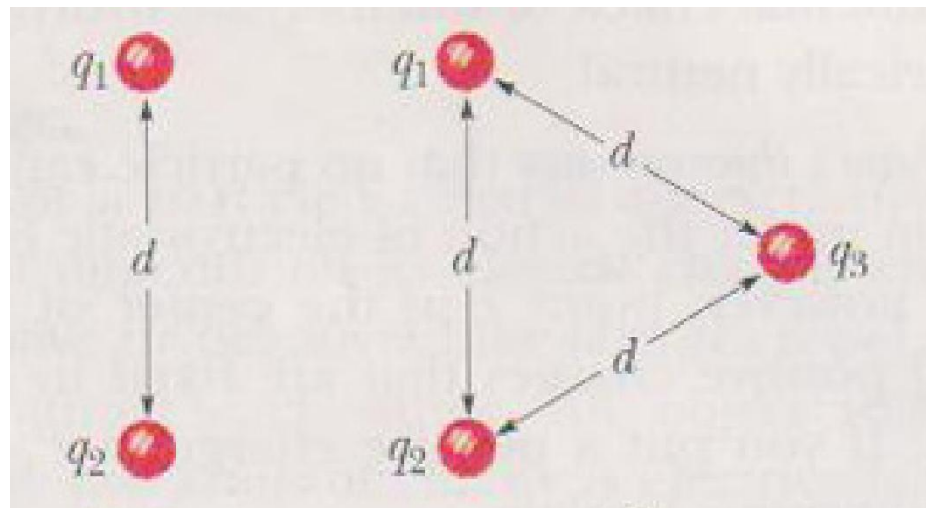
$$\begin{aligned} F_1 &= F_{16} - 2F_{13} \sin \theta \\ &= k \frac{q^2}{a^2} - 2k \frac{q^2}{a^2} \sin 30^\circ = 0 \end{aligned}$$



## Contoh Soal 1.5

Pada gambar di bawah (kiri) ini ditunjukkan dua muatan,  $q_1$  dan  $q_2$  yang dipegang tetap pada jarak  $d$ .

- Bila  $q_1 = q_2 = 20 \mu\text{C}$  dan  $d = 1,5 \text{ m}$  berapa besar gaya elektrostatis yang bekerja pada muatan  $q_1$ ?
- Sebuah muatan ketiga  $q_3 = 20 \mu\text{C}$  ditempatkan seperti terlihat pada gambar (kanan). Berapa besar dan arah gaya elektrostatis yang bekerja pada muatan  $q_1$  sekarang ?



Jawab :

$$F_{12} = \frac{kq_1q_2}{d^2}$$
$$= \frac{(9 \times 10^9)(20 \times 10^{-6})(20 \times 10^{-6})}{1,5^2}$$

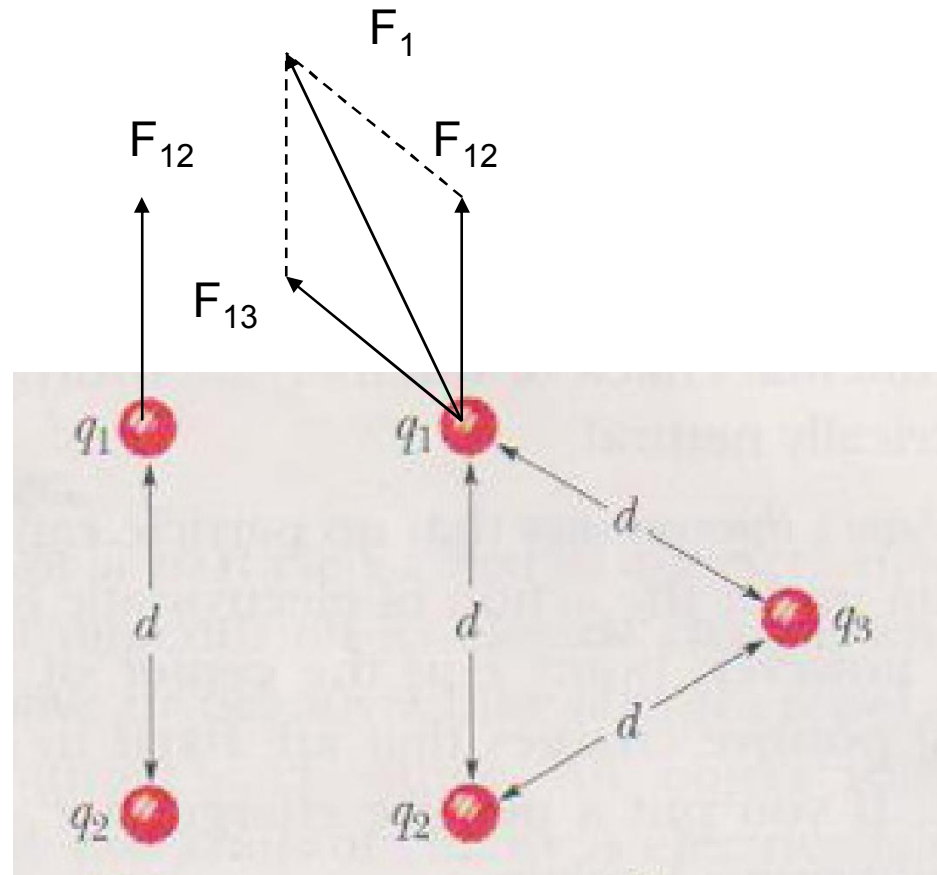
$$= 1,6 \text{ N}$$

$$F_{13} = \frac{kq_1q_3}{d^2}$$
$$= \frac{(9 \times 10^9)(20 \times 10^{-6})(20 \times 10^{-6})}{1,5^2}$$

$$= 1,6 \text{ N}$$

$$F_1^2 = F_{12}^2 + F_{13}^2 + 2F_{12}F_{13} \cos 60^\circ$$
$$= 1,6^2 + 1,6^2 + 2(1,6)(1,6)(0,5)$$
$$= 3(1,6)^2$$

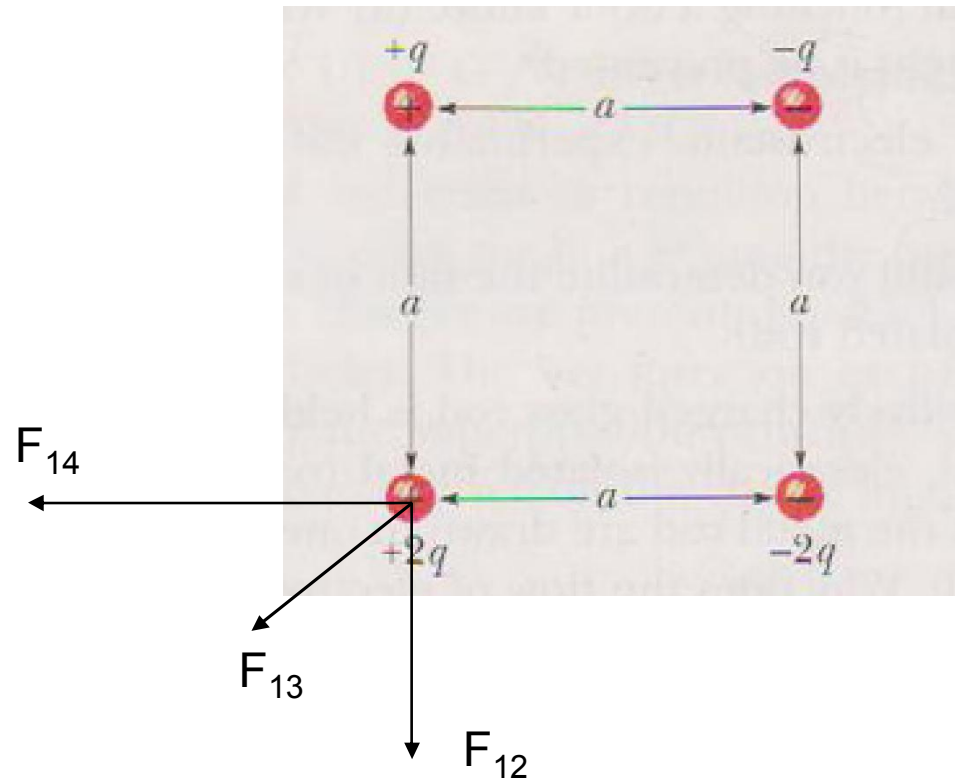
$$F_1 = \sqrt{3(1,6)^2} = 2,771 \text{ N} \quad \alpha = 120^\circ$$



## Contoh Soal 1.6

Pada gambar di bawah ini, bila  $q = 1,0 \times 10^{-7} \text{ C}$  dan  $a = 5 \text{ cm}$ ,

- Hitung komponen horisontal dan vertikal dari gaya elektrostatis yang bekerja pada muatan di kiri bawah
- Tentukan besar dan arah gaya tersebut





Jawab :

$$F_{12} = \frac{k(q)(2q)}{a^2} = \frac{2kq^2}{a^2} = \frac{2(9 \times 10^9)(10^{-7})^2}{(0,05)^2} = 0,036$$

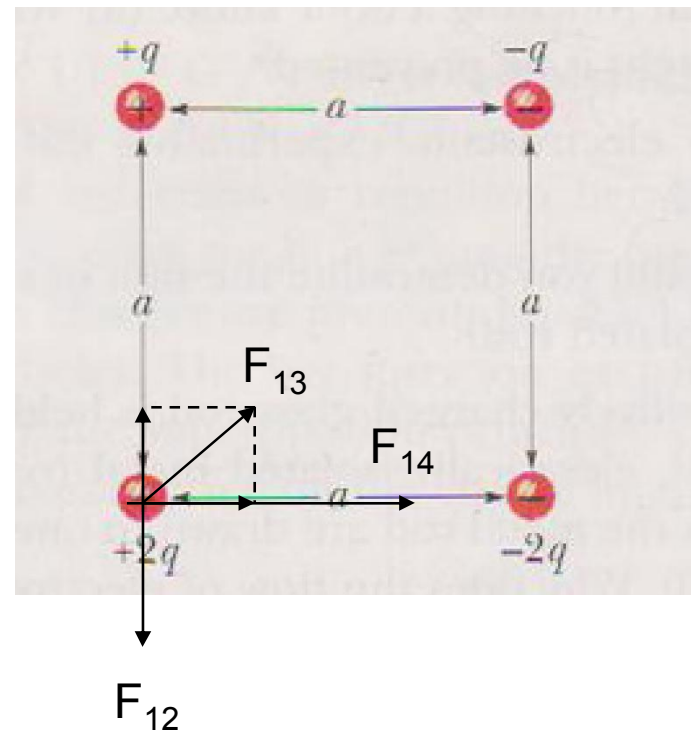
$$F_{13} = \frac{k(q)(2q)}{(a\sqrt{2})^2} = \frac{kq^2}{a^2} = 0,018 \quad F_{14} = \frac{k(2q)(2q)}{a^2} = \frac{4kq^2}{a^2} = 0,072$$

$$F_x = F_{14} + F_{13} \cos 45^\circ$$
$$= 0,072 + 0,018(0,707) = 0,085$$

$$F_y = F_{13} \sin 45^\circ - F_{12}$$
$$= 0,018(0,707) - 0,018 = -0,023$$

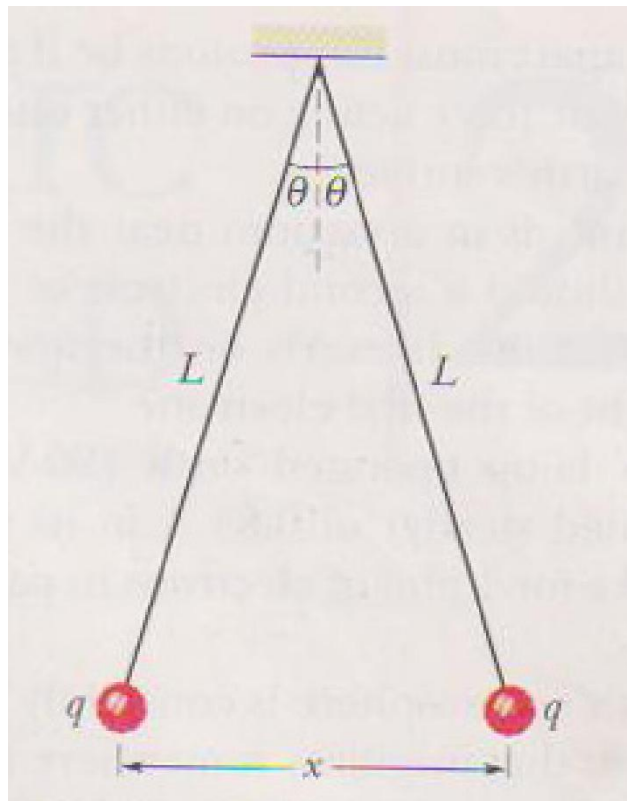
$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$
$$= \sqrt{(0,085)^2 + (-0,023)^2} = 0,088$$

$$\alpha = \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{-0,023}{0,085} \right) = -15^\circ$$



### Contoh Soal 1.7

Dua buah benda bermuatan sejenis sebesar  $q$  dan bermassa sama sebesar 10 gram diikatkan masing-masing pada seutas benang sutra sepanjang  $L = 120$  cm. Ujung bebas dari kedua benang sutra ini disatukan dan digantungkan pada sebuah statip. Oleh karena muatannya sejenis, maka kedua benda tersebut akan tolak menolak yang akhirnya diam dan berjarak  $x = 5$  cm satu sama lain. Tentukan besarnya muatan  $q$ .



Jawab:

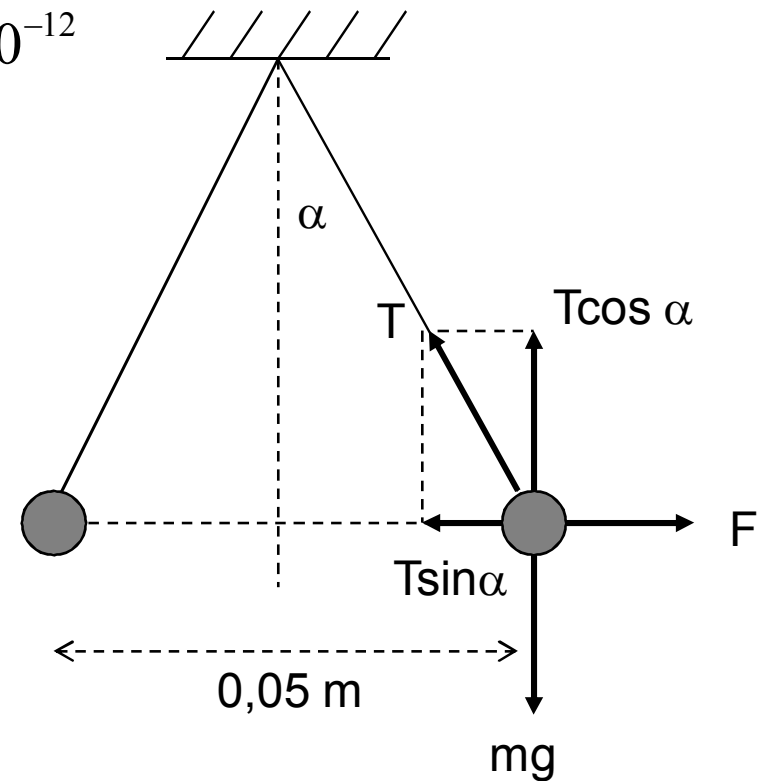
$$T \sin \alpha = F \quad T \cos \alpha = mg \quad \sin \alpha = \frac{2,5}{120} = 0,021 \ll 1 \rightarrow \operatorname{tg} \alpha \approx \sin \alpha \approx \alpha$$

$$\frac{T \sin \alpha}{T \cos \alpha} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{F}{mg} = \frac{kQ^2}{mgR^2}$$

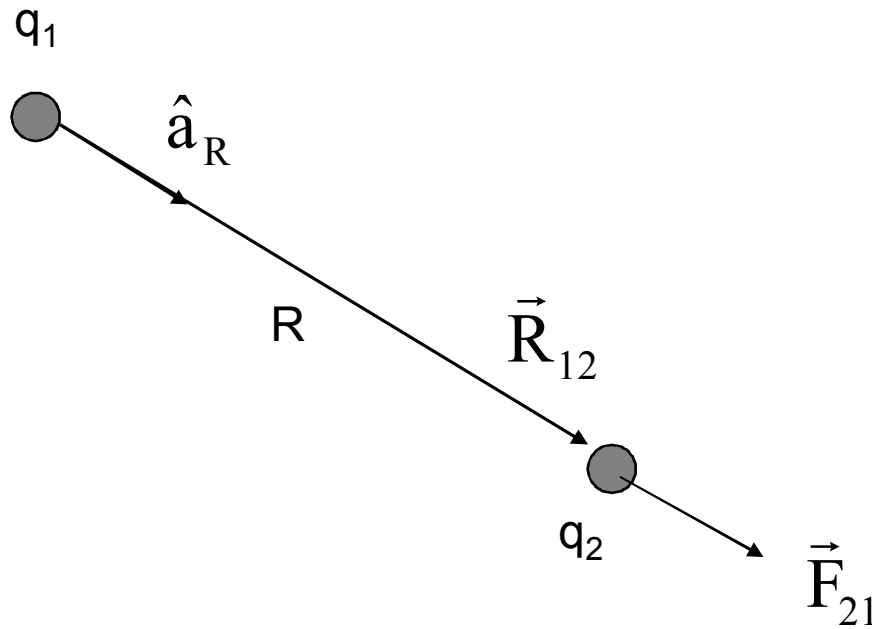
$$Q^2 = \frac{mgR^2 \operatorname{tg} \alpha}{k}$$

$$= \frac{10 \times 10^{-3} (9,8) (0,05)^2 (2,5)}{(9 \times 10^9) (12)} = 0,057 \times 10^{-12}$$

$$Q = \sqrt{0,057 \times 10^{-12}} = 0,238 \mu\text{C}$$



- Hukum Coulomb dalam notasi vektor

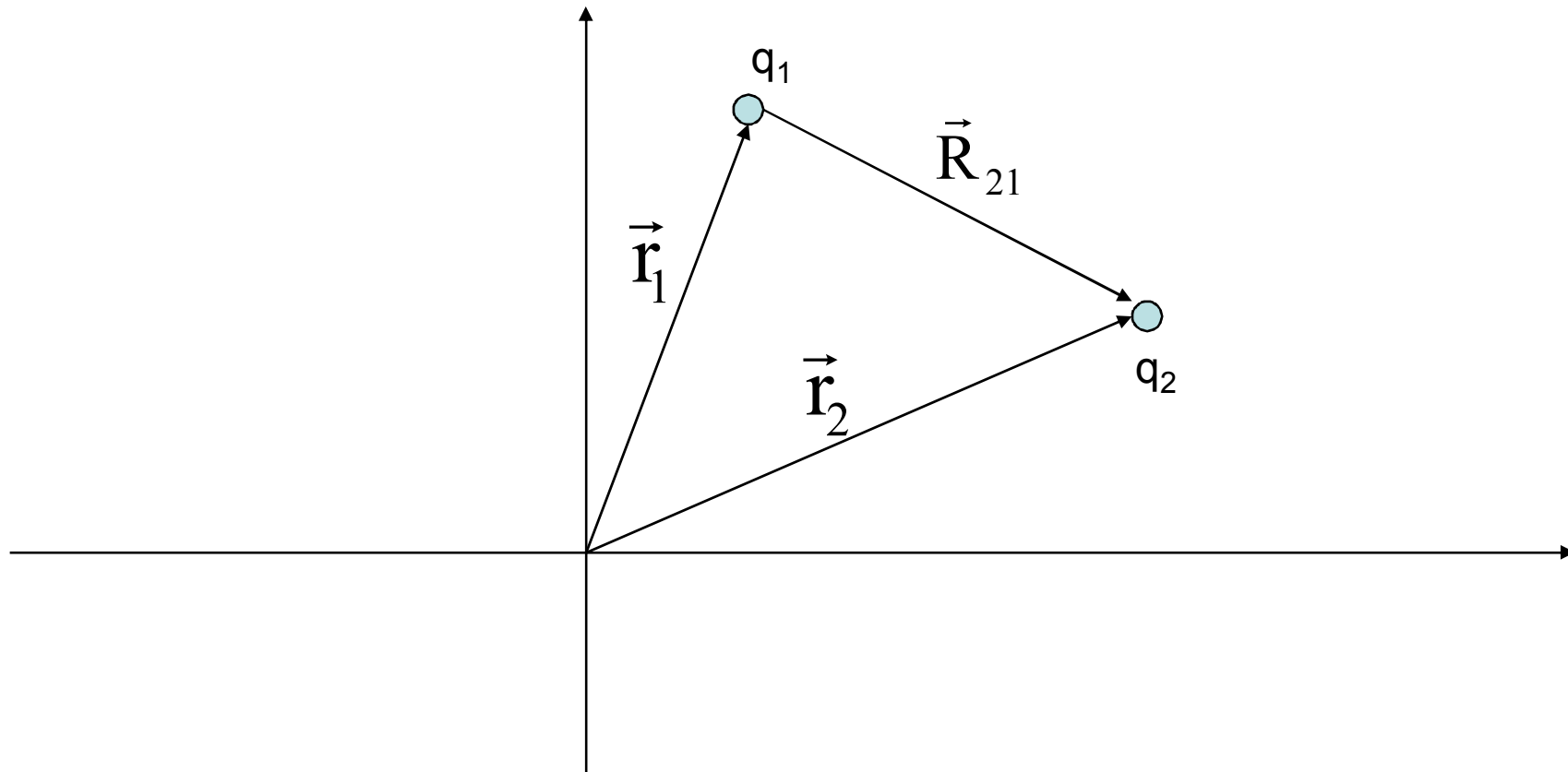


$$R = \left| \vec{R}_{21} \right|$$

$$\vec{a}_R = \frac{\vec{R}_{21}}{\left| \vec{R}_{21} \right|}$$

$$\vec{F}_{21} = \frac{kq_1q_2}{R^2} \hat{a}_R$$

$$\vec{F}_{21} = \frac{kq_1q_2}{\left| \vec{R}_{21} \right|^2} \frac{\vec{R}_{21}}{\left| \vec{R}_{21} \right|} = \frac{kq_1q_2}{\left| \vec{R}_{21} \right|^3} \vec{R}_{21}$$



Penjumlahan vektor :

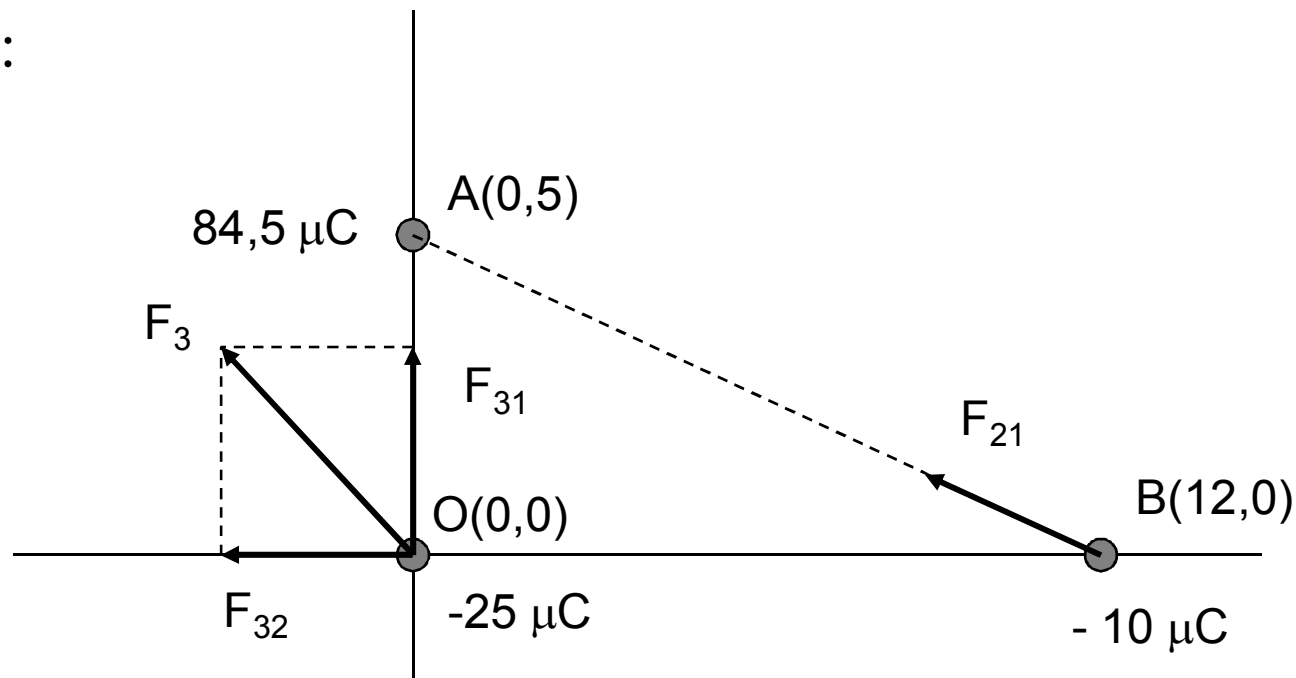
$$\vec{r}_1 + \vec{R}_{21} = \vec{r}_2 \quad \rightarrow \quad \vec{R}_{21} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1$$

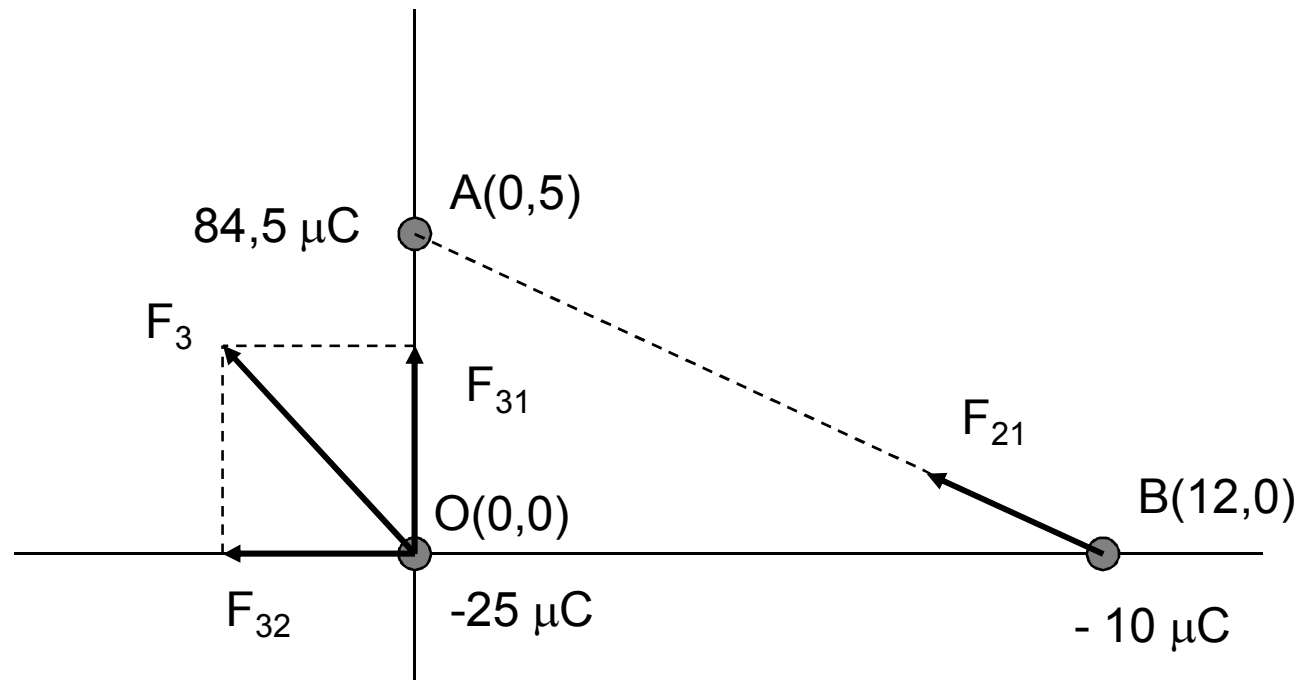
### Contoh Soal 1.8

Muatan  $Q_1$  berada di titik  $A(0,5)$  sedangkan muatan  $Q_2$  di titik  $B(12,0)$ , kedua muatan tersebut besarnya masing-masing adalah  $Q_1 = 84,5 \mu\text{C}$  dan  $Q_2 = -10 \mu\text{C}$ .

- Hitung gaya yang dialami oleh muatan  $Q_2$  akibat muatan  $Q_1$ .
- Bila terdapat muatan  $Q_3$  sebesar  $-25 \mu\text{C}$  di titik asal  $O(0,0)$  hitung vektor gaya total yang bekerja padanya
- Tentukan besar dan arah dari gaya total tersebut

Jawab :



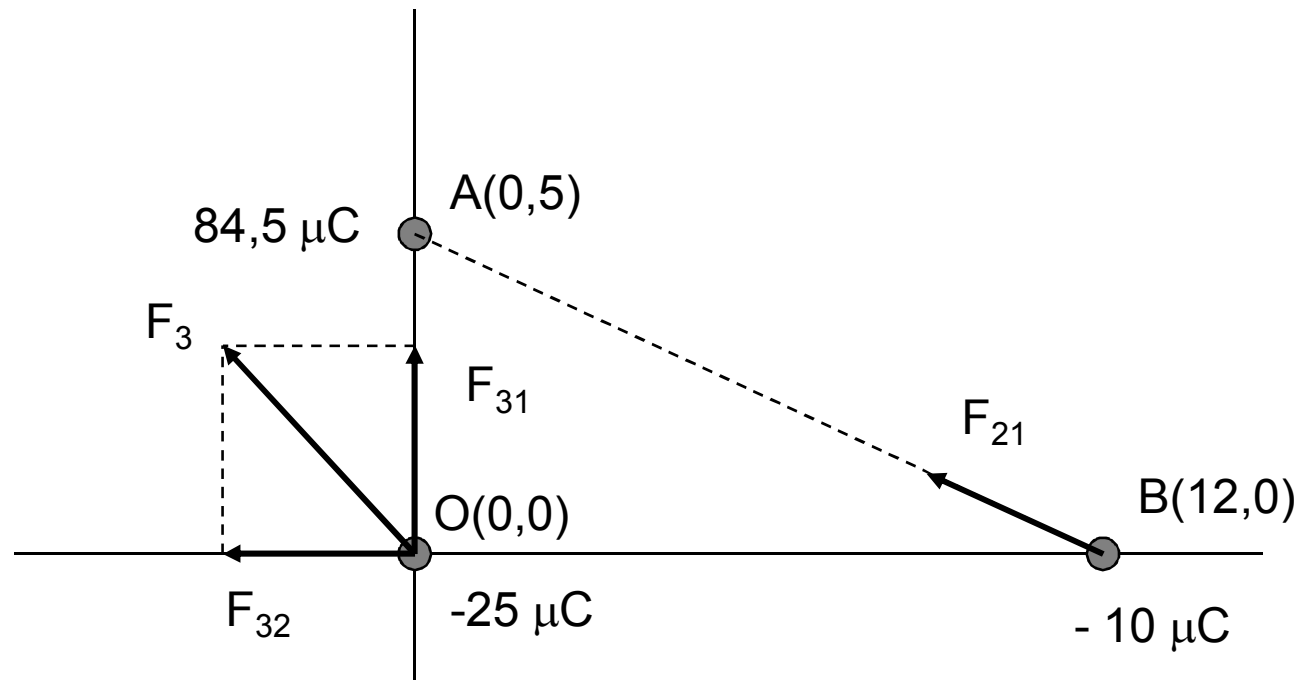


a).

$$\vec{R}_{21} = (12 - 0)\vec{i} + (0 - 5)\vec{j} = 12\vec{i} - 5\vec{j} \quad \rightarrow \quad |\vec{R}_{21}| = \sqrt{12^2 + 5^2} = 13$$

$$\vec{F}_{21} = \frac{kQ_1Q_2}{|\vec{R}_{21}|^3} \vec{R}_{21} = \frac{(9 \times 10^9)(84,5 \times 10^{-6})(-10 \times 10^{-6})}{13^2} (12\vec{i} - 5\vec{j})$$

$$= (-540\vec{i} + 225\vec{j}) \times 10^{-3} \text{ N}$$



b).

$$\vec{R}_{31} = (0-0)\vec{i} + (0-5)\vec{j} = -5\vec{j} \rightarrow |\vec{R}_{31}| = \sqrt{0^2 + (-5)^2} = 5$$

$$\vec{F}_{31} = \frac{kQ_1Q_3}{|\vec{R}_{31}|^3} \vec{R}_{31} = \frac{(9 \times 10^9)(84,5 \times 10^{-6})(-25 \times 10^{-6})}{5^3} (-5\vec{j}) = 760,5 \times 10^{-3} \vec{j}$$

$$\vec{R}_{32} = (0-12)\vec{i} + (0-0)\vec{j} = -12\vec{i} \rightarrow |\vec{R}_{32}| = \sqrt{0^2 + (-12)^2} = 12$$

$$\vec{F}_{32} = \frac{kQ_2Q_3}{|\vec{R}_{32}|^3} \vec{R}_{32} = \frac{(9 \times 10^9)(-10 \times 10^{-6})(-25 \times 10^{-6})}{12^3} (-12\vec{i}) = -15,625 \times 10^{-3} \vec{i}$$

$$\vec{F}_3 = \vec{F}_{31} + \vec{F}_{32} = (-15,625 \vec{i} + 760,5 \vec{j}) \times 10^{-3} \text{ N}$$



c).

$$\vec{F}_3 = (-15,625 \vec{i} + 760,5 \vec{j}) \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$|\vec{F}_3| = \sqrt{(-15,625)^2 + (760,5)^2} \times 10^{-3} = 760,661 \times 10^{-3} \text{ N}$$

$$\theta = \text{tg}^{-1}\left(\frac{760,5}{-15,625}\right) = -88,8^\circ + 180 = 91,2^\circ$$

## Soal Latihan 1.1

Gaya yang bekerja pada dua buah benda bermuatan positif yang dipisahkan oleh jarak 2,0 m adalah 1,0 N. Bila jumlah kedua muatan adalah  $5,0 \times 10^{-5}$  C, tentukan besar muatan dari kedua benda tersebut [ $3,85 \times 10^{-5}$  C dan  $1,15 \times 10^{-5}$  C]

## Soal Latihan 1.2

Tiga buah muatan terletak pada garis lurus seperti terlihat pada gambar di bawah ini. Muatan  $q_1$  dan  $q_2$  dipegang tetap sedangkan muatan  $q_3$  bebas bergerak. Agar supaya muatan  $q_3$  juga tidak bergerak, tentukan hubungan antara muatan  $q_1$  dan  $q_2$ .

$$[q_1 = -4q_2]$$



### Soal Latihan 1.3

Dua buah muatan bebas yang masing-masing besarnya adalah  $+9 \mu\text{C}$  dan  $+36 \mu\text{C}$  dipisahkan oleh jarak  $30 \text{ cm}$ . Tentukan letak, besar dan jenis dari sebuah muatan ketiga agar sistem tiga muatan ini berada dalam kesetimbangan. [ $10 \text{ cm}$ ,  $-4 \mu\text{C}$ ]

### Soal Latihan 1.4

Muatan  $Q_1 = 100 \mu\text{C}$  terletak di titik  $A(2,3)$ , muatan  $Q_2 = 10985 \mu\text{C}$  terletak di titik  $B(7,15)$  dan muatan  $Q_3 = 500 \mu\text{C}$  terletak di titik  $C(6,0)$ . Tentukan besar dan arah gaya Coulomb yang bekerja pada muatan  $Q_1$ . [ $56,5 \text{ N}$   $230^\circ$ ]